سال یازدهم/ شماره ۴۰

هیدروژئومورفولوژی

علمی

۴۰ سال یازدهم / شماره۴۰

پائیز ۱۴۰۳

دانشکده برنامه ریزی و علوم محیطی

نشریه هیدروژئومورفولوژی

پائیز ۱۴۰۳

شماره استاندارد بین المللی(شاپا):2383-3254


بسم الله الرحمن الرحيم

- **صاحب امتیاز:** دانشگاه تبریز
- **مدیر مسئول:** دکتر بهروز ساری صراف
- **سردبیردکتر:** داود مختاری
- **دبیر فنی :** دکتر داود مختاری
- **اعضای هیات تحریریه بین المللی:** دکتر احسان چیچک(دانشگاه آنکارا- ترکیه)، دکتر حسین گوکچه کوش(دانشگاه خاور نزدیک- قبرس)
- **هیات تحریریه:** دکترمریم بیاتی خطیبی(دانشگاه تبریز)، دکتر سید رضا حسین زاده(دانشگاه فردوسی مشهد)، دکتر شهرام روستایی(دانشگاه تبریز)، دکتر بهروز ساری صراف(دانشگاه تبریز)، دکتر عباس صمدی(دانشگاه ارومیه)، دکتر احمد فاخری فرد(دانشگاه تبریز)، دکتر منیژه قهرودی تالی(دانشگاه شهید بهشتی تهران)، دکتر فریبا کرمی(دانشگاه تبریز)، دکتر احمد گلچین(دانشگاه زنجان)، دکتر داود مختاری(دانشگاه تبریز)، دکتر مجید منتصری(دانشگاه ارومیه)، دکتر رسول میر عباسی(دانشگاه شهر کرد)، دکتر وحید نورانی(دانشگاه تبریز)، دکتر سعداله ولایتی(دانشگاه فردوسی مشهد)، دکتر مسعود گودرزی(پژوهشکده حفاظت خاک و آبخیزداری، تهران، ایران)، دکترمحمد رضا غریب رضا(پژوهشکده حفاظت خاک و آبخیزداری، تهران، ایران)، دکتر علیرضا ایلدرمی(دانشگاه ملایر).

دوره 11، شماره 40، پائیز 1403

دبیر اجرایی: پروین حیدرزادگان

مدیر داخلی: پروین حیدرزادگان

ویراستار فنی: دکتر داود مختاری

صفحه آرا: پروین حیدرزادگان

صاحب امتیاز: دانشگاه تبریز

ناشر: دانشگاه تبریز

نشانی دفتر نشریه: تبریز- بلوار ۲۹ بهمن- دانشگاه تبریز- دانشکده برنامه ریزی وعلوم محیطی- بقیه ۴- شماره اتاق ۵۱۲

کد پستی: ۵۱۶۶۶۱۶۴۷۱

تلفن: ۰۴۱ -۳۳۳۹۲۲۹۶

رایانامه دانشگاهی:hyd@tabrizu.ac.ir

رایانامه پشتیبان نشریه: hydro.geomor@gmail.com

شاپای چاپی: ۲۳۸۳-۳۲۵۴

شاپای الکترونیکی:۲۶۷۶-۴۵۷۱

هیدروژئومورفولوژی

نشریه‌ی **هیدروژئومورفولوژی** بر اساس نامه‌ی شماره‌ی ۳/۱۸/۲۸۷۵۲ مورخ ۱۳۹۶/۰۲/۱۷ کمیسیون بررسی نشریات علمی وزارت علوم، تحقیقات و فناوری، از شماره‌ی پاییز ۱۳۹۵، درجه‌ی **علمی** دریافت کرده بر اساس پایگاه استنادی جهان اسلام به درجه‌ی Q1 ارتقا یافته است.

مقاله های منتشره بیانگر نظرات نویسندگان است؛ نشریه در ویرایش مطالب آزاد است.

هیدروژئومورفولوژی در پایگاه های استنادی علوم جهان اسلام(ISC), AGRIS, DOAJ, ACADEMIA و...نمایه شده است.

هیدروژئومورفولوژی تحت قانون کپی رایت (Creative Commons(CC BY- NC 4.0 می باشد.

این نشریه با احترام به قوانین اخلاق در نشریات تابع قوانین کمیتهٔ اخلاق در انتشار((COPE) می باشد و از آیین نامه اجرایی قانون پیشگیری و مقابله با تقلب در آثار علمی پیروی می نماید. برای جلوگیری از تقلب توسط نرم افزار سمیم نور مشابهت یابی می شود. میزان مشابهت قابل قبول نشریه ۱۶ در صد است.

هیدروژئومورفولوژی، دوره۱۱، شماره ۴۰، ۱۴۰۳

شاپای الکترونیکی: ۴۵۷۱-۲۶۷۶

فهرست مطالب

- بررسی کارایی مدل های الگوریتم جنگل تصادفی (RTC)، حداکثر احتمال (MLC) و ماشین بردار پشتیبانی (SVM) در تشخیص تغییرات پهنه آبی دریاچه نئور و تاثیر این تغییرات در دمای سطح زمین با استفاده از مدل LST در بازه زمانی ۲۰۰۲ تا ۲۰۲۲..... ۱
- ارزیابی تطبیقی مدل هیدرولوژیکی نیمه توزیعی با مدل یکپارچه در جهت شبیه سازی رواناب حوضه گمناب چای..... ۲۲
- ارزیابی تغییرات مورفولوژیکی رودخانه هراز در اثر فشارهای انسانی در محدوده شهر آمل، مازندران..... ۴۰
- بررسی تغذیه آبهای زیرزمینی و مسـّاحی مکان های تغذیه با استفاده از سیستم های تصمیم گیری فضایی یکپارچه مبتنی بر GIS ، مطالعه موردی : از منطقه کویته پاکستان..... ۵۸
- برآورد فرسایش کنار رودخانه‌ای و تعیین عوامل موثر در بازه پل‌الماس-گیلانده رودخانه بالخلوچای اردبیل ۸۷
- ارزیابی مکانی و پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش حوضه آبریز زمکان با استفاده از ماشین‌بردار پشتیبان و رگرسیون لجستیک..... ۱۰۲
- تحلیل فضایی لیتولوژی در وقوع زمین‌لغزش‌های حوضه الموت شرقی مطالعه موردی حوضه معلم‌کلایه ۱۲۴
- ارزیابی گره های سیل گیر شبکه زهکشی شهر همدان با استفاده از مدل SWMM ۱۴۳

پژوهشی

عنوان مقاله (عنوان مقاله تا حد امکان سلیس وکوتاه باشد) BNazanin(14)

نویسنده اول،[1] نویسنده دوم،[2] نویسنده،[3] بعداز پذیرش گرفتن BNazanin(10)

۱ – سمت، گروه آموزشی، نام دانشکده(نام بخشی از سازمان یا موسسه)، نام دانشگاه، شهر، کشور، ایمیل. (B Nazanin 9) بعداز پذیرش گرفتن
۲– سمت، گروه آموزشی، نام دانشکده(نام بخشی از سازمان یا موسسه)، نام دانشگاه، شهر، کشور، ایمیل.
۳– سمت، گروه آموزشی، نام دانشکده(نام بخشی از سازمان یا موسسه)، نام دانشگاه، شهر، کشور، ایمیل (درج کد ارکید همه نویسندگان در مقاله الزامی است).

چکیده

- چکیده فارسی:۳۰۰-۲۵۰ کلمه(شامل طرح مسأله، معرفی منطقه مورد مطالعه،روش شناسی تحقیق، نتایج اصلی و کلید واژه)

کلیدواژه‌ها

کلیدواژه اول، کلیدواژه دوم، کلیدواژه سوم، ...(حد اکثر ۶ کلید واژه)

تاریخ دریافت: ۱۴۰۰/۰۰/۰۰
تاریخ پذیرش: ۱۴۰۰/۰۰/۰۰
تاریخ انتشار: ۱۴۰۰/۰۰/۰۰

*نویسنده مسئول
رایانامه: .....

ارجاع به این مقاله: نام خانوادگی نویسنده اول، نام نویسنده اول؛ نام خانوادگی نویسنده دوم، ؛ نام خانوادگی نویسنده سوم و... (بعداز گرفتن پذیرش) (۱۴۰۰). عنوان مقاله. هیدروژئومورفولوژی، دوره (شماره): صفحه شروع – صفحه پایان.

شناسه دیجیتال مقاله (Calibri(9)

Copyright: ©2025 by the authors
Publisher: University of Tabriz

- مقدمه: شامل طرح مسأله و بیان اهداف، بررسی پیشینه موضوعی البته نه بصورت معرفی کار محقق دیگر بلکه بصورت موضوع محور باشد، محدوده و قلمرو پژوهش وبیان رسالت اصلی تحقیق.

- مواد و روش: شامل فنون وگردآوری داده ها ی روش شناسی و دلیل انتخاب روش مورد نظر وتعریف روابط، مفاهیم وفنون.

- یافته ها و بحث : ارائه یافته ها، تجزیه و تحلیل و تفسیر آنها.

- نتیجه گیری: .شامل یافته های اصلی پژوهش و نتایج کلی وذکر کاربرد نتایج از کار پژوهشی است و در این قسمت نباید به خلاصه نویسی پرداخته شود.

- منابع : به ترتیب حروف الفبایی باشد و شروع با نویسندگان داخلی صورت گیرد.

- چکیده مبسوط انگلیسی که بایدحاوی بندهای زیر به صورت مجزا باشدعنوان هاB Times12) و متن(Regular Times12)عنوان لاتین مقاله (T B 12 Times) ،نام و نام خانوادگی نویسندگان (Times10)،)رتبه علمی و تخصص، دانشگاه، شهر، کشور Times(9)

راهنمای نگارش مقاله:

۱-مقاله باید حاصل کار پژوهشی و علمی نویسنده و یا نویسندگان باشد و قبلا در نشریهٔ دیگری اعم از داخلی یا خارجی، یا مجموعه مقالات سمینارها و مجامع علمی چاپ نشده یا همزمان برای نشریه دیگری ارسال نشده باشد(نویسنده مسئول باید تعهدنامه ای مبنی بر عدم ارسال و چاپ مقاله در نشریه دیگر را پر و امضا نموده و همراه مقاله به نشریه ارسال نماید.)

۲ -زبان رسمی نشریه، فارسی است اما مقالات به زبان انگلیسی نیز قابل بررسی خواهد بود.

۳ -مقاله باید دارای انشایی روان و از نظر دستور زبان و آیین نگارش خالی از اشکال باشد.

۴ -حداکثر حجم مقاله شامل متن، شکل ها و جدول ها حداکثر۱۶ صفحه باشد.

۵ -مقاله ارسالی باید دارای ساختار زیر باشد(نمونه در همین صفحه قابل دسترس است.

الف(عنوان تا حد امکان سلیس وکوتاه باشد.

ب(نام و نام خانوادگی، دانشکده، دانشگاه، شهر، کشور(ایمیل نویسندگان)

پ(چکیده فارسی:۳۰۰-۲۵۰ کلمه(شامل طرح مسأله، معرفی منطقه مورد مطالعه،روش شناسی تحقیق، نتایج اصلی و کلمات کلیدی(۴-۶ کلمه.)

ت(مقدمه: شامل طرح مسأله و بیان اهداف، بررسی پیشینه موضوعی البته نه بصورت معرفی کار محقق دیگر بلکه بصورت موضوع محور باشد، محدوده و قلمرو پژوهش وبیان رسالت اصلی تحقیق.

ث(مواد و روش: شامل فنون وگردآوری داده ها ی روش شناسی و دلیل انتخاب روش مورد نظر وتعریف روابط، مفاهیم وفنون.

ج(یافته ها و بحث : ارائه یافته ها، تجزیه و تحلیل و تفسیر آنها.

چ(نتیجه گیری: .شامل یافته های اصلی پژوهش و نتایج کلی وذکر کاربرد نتایج از کار پژوهشی است و در این قسمت نباید به خلاصه نویسی پرداخته شود.

ح(منابع : به ترتیب حروف الفبایی باشد و شروع با نویسندگان داخلی صورت گیرد.

خ(چکیده مبسوط انگلیسی که بایدحاوی بندهای زیر به صورت مجزا باشدعنوان هاB Times12) و

متن(Regular Times12)عنوان لاتین مقاله (T B 12 Times) ،نام و نام خانوادگی نویسندگان (Times10)،رتبه علمی و تخصص، دانشگاه، شهر، کشور (9)Times

-Title
- Introduction
- Methodology
- Results and Discussion
-(Conclusions)
- Key words
- References

همراه با برگردان انگلیسی مشخصات نویسندگان " نام و نام خانوادگی، رتبه علمی و تخصص، دانشگاه، شهر، کشور و ایمیل نویسنده مسئول.

۶ -مشخصات نویسنده / نویسندگان نباید در هیچ قسمت دیگری از مقاله ذکر شود.

۷- نام نویسندگان خارجی ، اصطلاحات خارجی با معادل های دقیق و رسا در زبان فارسی و نام کامل واژه و عبارت های اختصاری به کار رفته در متن به لاتین، زیرنویس ارجاع شوند.

۸ -حروفچینی مقاله باید در برنامه Word ۲۰۰۷ و بالاتر و با رعایت حاشیه ۳ سانتیمتر از هر طرف، فاصله میان سطور به صورت single باشد. لازم است در متن فارسی از قلم Nazanin.B ۱۳ و در متن لاتین از قلم تایمز ۱۱ استفاده شود. عنوان مقاله با قلمTimesr۱۲ ، تیترهای اصلی با قلم ۱۲(،Bold Nazanin.B، تیترهای فرعی با قلم ۱۱ Nazanin Bold توضیحات فارسی اشکال و جداول با قلم)۱۰ Nazanin.B) ، توضیحات لاتین اشکال وجداول، (New Times Bold9)، منابع با قلم Times) (New12 نوشته شود.

ب(روابط بکار گرفته شده با قلم ۱۱ Nazanin.B و به صورت (۱)نوشته شود. از نوشتن کلمه ی رابطه پیش از شماره ی آن خود داری گردد .

پ(بین متن و شکل و جدول و همچنین رابطه بکار گرفته شده و یا بین متن و تیتر پایین ،یک سطر فاصله در نظر گرفته شود. (پاورقی ها صفحه محور باشند، برای هر صفحه مجددا از ۱ شروع شود.)

۹- منابع مورد استناد در داخل متن با ذکر نام خانوادگی نویسنده، سال انتشار و شماره صفحه داخل پرانتز آورده شود: (گنجی، .(۱۳۷۶: اسامی محققان و نویسندگان خارجی باید به فارسی نوشته شوند مانند(اسمیت و همکاران ۱ ،۲۲۲۷ ص ۳۳) و به انگلیسی زیر نویس شوند.

جدول ۱ -نوع، اندازه، و وضعیت فونت ها در قسمت های مختلف مقاله

موقعیت استفاده	اندازه	نوع قلم
عنوان مقاله	۱۴	B Nazanin
نام نویسندگان	۱۱	B Nazanin
وابستگی سازمانی نویسندگان	۹	B Nazanin
متن چکیده وکلمات کلیدی	۱۱	B Nazanin
عنوان های اصلی	۱۲	B Nazanin(Bold)
عنوان های فرعی	۱۱	B Nazanin(Bold)
زیر نویس شکل ها وجداول(فارسی)	۱۰	B Nazanin(Bold)
زیرنویس شکل ها وجداول(انگلیسی)	۹	Times
متن مقاله	۱۳	B Nazanin
روابط به کار گرفته شده	۱۱	B Nazanin
واژه ها ومنابع انگلیسی داخل متن مقاله	۱۱	Times
چکیده مبسوط ومنابع انگلیسی انتهای مقاله	۱۱	Times

تذکر: اول حروف در عنوان لاتین اشکال وجداول بزرگ نوشته شوند.

روش استناد دهی APA است .منابع فارسی هم باید به انگلیسی برگردانده شود .قلم منابع (۱۱) New Times است .منابع به ترتیب حروف الفبایی خواهد بود.

-مقاالت در نشریات:

-Author, A. (Publication Year). Article title. Periodical Title, Volume(Issue), pp-pp.

Nevin, A., Smith, B.,Yu,J.,& Amadi,A.(1990). The changing of teacher education special education. Teacher Education and Special Education: The Journal of the Teacher Education Division of the Council for Exceptional Children, 13(4), 147-148.

-مقالات در نشریات آنلاین:

Jameson, J. (2013). E-Leadership in higher education: The fifth “age” of educational technology research. British Journal of Educational Technology, 44(6), 889-915. Doi: 10.1111/bjet.12103.

برای کتاب ها:

-Author, A.(Year of Publication).Title of work. Publisher City, State: Publisher. -Finney, J. (1970). Time and again. New York, NY: Simon and Schuster. -Zahedi,M.,&.Khatibi,M.(2015).Hydrology.Tehran,Samt .

-ویرگول ها و نقطه ها باید طبق فرمت و نمونه ارایه شده باشد.

مسئولیت علمی مقاله بر عهده نویسنده مسئول است . در مورد مقاله هایی که توسط دانشجویان کارشناسی ارشد و دکتری با همکاری استادان راهنما تهیه می شود، باید با مسئولیت علمی استاد راهنما به مجله ارسال شود ؛ در غیر این صورت، در هیات تحریریه نشریه قابل طرح نخواهد بود. نشریه از پذیرش مقاله دانشجویان کارشناسی ارشد و دکتری بدون حضور استاد راهنما معذور می باشد.

۱۱- -مقاله در چهار فایل جداگانه به شرح زیر ارسال شود :نمونه این فایل ها در همین صفحه آورده شده است.

الف) فایل اول ،حاوی مقاله اصلی درمحیط Word با مشخصات نویسندگان (شامل رتبه علمی و نام مؤسسه یا محل اشتغال نویسنده یا نویسندگان به فارسی و انگلیسی و نشانی کامل نویسندۀ عهده دارمکاتبات: شامل نشانی پستی، شماره تلفن،شماره دورنگار و نشانی پیام نگار (پست الکترونیکی) به فارسی و انگلیسی)، از ذکر مشخصات فوق در سایر صفحه های مقاله باید خودداری شود.

ب(فایل دوم، در محیط Word حاوی مقاله اصلی بدون مشخصات نویسندگان باشد

پ(فایل سوم، شامل چکیده مبسوط انگلیسی با مشخصات نویسندگان باشد .

ت(فایل چهارم، شامل چکیده مبسوط انگلیسی بدون مشخصات نویسندگان باشد.

۱۲- شماره تمام نقشه ها، جداول، در داخل متن و قسمت متن مربوطه آورده شوند و تمامی نقشه ها و نمودارها تحت عنوان شکل نوشته شود و شماره گذاری آنها بطور پیوسته صورت گیرد .شماره اشکال و جداول باید داخل پارانتز و به صورت ، شکل(۱): و یا جدول (۲): نوشته شود.

۱۳-کیفیت اشکال ،جداول و تصاویر باید خوب باشد .

۱۴ -تمامی معادلات ،روابط و فرمول ها بطور پیوسته شماره گذاری شوند.

۱۵ – فرمت نشریه در تمامی قسمت ها اکیدا رعایت شود.

۱۶ – ارسال مقالات صرفا از طریق سایت اینترنتی نشریه انجام میپذیرد . نام فایل¬های ارسالی حتما با حروف انگلیسی نوشته شوند.

۱۷–نویسنده مسئول مقاله حتما باید عضو هیات علمی باشد و مقاله توسط وی به مجله ارسال شود در غیر این صورت مقاله قابل بررسی نخواهدبود.

۱۸-در مقاله حداقل دو ارجاع به نشریه هیدروژئومورفولوژی آورده شود.

۱۹-فصلنامه حق رد یا قبول و نیز ویراستاری مقالات را برای خود محفوظ میدارد و از بازگرداندن مقالات دریافتی معذور است .

۲۰-هر مقاله به سه داور ارسال می شود جواب داوری ۲ نفر ملا ک پذیرش یا عدم پذیرش مقاله توسط نشریه می باشد.

۲۱-هزینه داوری و چاپ مقاله در مجله ۷۰۰۰۰۰۰ریال به شرح ذیل می باشد: - مبلغ ۱۰۰۰۰۰۰ ریال همزمان با ارسال مقاله به نشریه فیش آن نیز باید ضمیمه شود. – مبلغ ۶۰۰۰۰۰۰ریال هنگام صدور گواهی پذیرش مقاله.

This Page is

intentionally left

blank

Hydrogeomorphology **Vol. 11, No. 40, 2024**

Research Paper

The effectiveness of Random Tree Algorithm (RTC), Maximum Likelihood (MLC), and Support Vector Machine (SVM) models in detecting changes in the water area of Lake Neor and the effects of these changes on the surface temperature using the LST model in the 2002-2022 period

Mehdi Feyzolahpour[1]*

1. Assistant Professor, Department of Geography, Zanjan University, Zangan, Iran.

feyzolahpour@znu.ac.ir

Keywords

Random Tree, Maximum likelihood, Support vector Machine, LST, Neor Lake, Northwest of Iran.

Received: 2023/09/08

Accepted: 2023/12/25

Published: 2024/10/21

A B S T R A C T

Changes in land cover and land use due to human activities have left adverse effects on the environment. The eastern regions of Ardabil province are a clear example of this phenomenon. The purpose of this research is to analyze spatial and temporal changes in land cover and land use and its effects on the temperature of the surface of the earth in Lake Neor. To estimate land use and land cover, random forest models (RTC), maximum likelihood model (MLC) and support vector machine (SVM) were used and the efficiency of each was estimated by the Kappa coefficient and it was observed that the SVM model has the highest Kappa coefficient (0.87) Bands 6, 5 and 10 of Landsat 8 were also used to extract the LST index, and it was observed that the western part of the lake faced an increase in the temperature of the earth's surface. During the time period of 2002, 2013 and 2022, significant changes were observed in the water area of Neor Lake and its nearby vegetation. Barren lands had the largest extent in all studied periods. Vegetation has increased by 1.04 square kilometers based on SVM model. The surface area of the lake was estimated as 3.19 square kilometers based on the MLC model in 2002. The area of the water zone in the MLC model has decreased by 1.56 square kilometers between 2002 and 2022, and this decrease is 0.67 and 0.69 square kilometers for the RTC and SVM models, respectively.

* Corrresponding Author: Mehdi Feyzolahpour E-mail: feyzolahpour@znu.ac.ir

How cite to this article: Feyzolahpour, Mehdi. (2024). Paper Title Investigating the effectiveness of Random Tree Algorithm (RTC), Maximum Likelihood (MLC) and Support Vector Machine (SVM) models in detecting the changes in the water area of Lake Neor and the effect of these changes on the surface temperature using the LST model in the period from 2002 to 2022. *Hydrogeomorphology*, 11(40):1 –21.

DOI: 10.22034/hyd.2024.18681

Copyright: © 2024 by the authors. Publisher: University of Tabriz

Introduction

The use of classification methods is one of the widely used cases of using remote sensing data. Each classification method achieves different results. The maximum likelihood method and minimum distance are among the most common classification methods. A major weakness of these methods is that it is difficult to distinguish a complication that has a small spectral effect difference compared to other complications. These problems have led to the creation of newer methods. The artificial neural network, support vector machine algorithm, random forest, and maximum likelihood are some of the methods presented nowadays.. One of the most widely used methods in the separation of satellite images is the Support Vector Machine (SVM) method presented by Vapnik (1992). In this method, the classification of data is linear, and the line with the largest margin is used to divide the data. Accordingly, this research investigates the changes that occurred in the surrounding environment of Lake Neor using three methods, namely the SVM algorithm, maximum likelihood classification, and random tree, and the efficiency of each was evaluated using the Kappa coefficient. Moreover, temperature changes were identified using the LST index in the 2002-2022 period.

Methodology

In this research, the Maximum Likelihood (MLC), Random Tree (RTC), and SVM methods were used to investigate changes in both the water area of Neor Lake and in the cover and use of its surrounding environment. To investigate the use of the LST index, the Landsat 5 satellite images on July 14, 2002, and Landsat 8 on July 28, 2013, and July 13, 2022, were downloaded from the US Geological Survey website. Seven bands of each image were combined and trained in the calculations of learning algorithms. Through the trained values, the area was divided into three uses: water area, vegetation, and wasteland, and analyzed in the relevant algorithms to obtain the output map.

Results and Discussion

In the RTC random forest model, the area of the water zone in 2002 was equal to 3.53 km^2,which was reduced to 2.86 km^2 in 2022. The area of vegetation increased from 2.29 km^2 in 2002 to 3.85 km^2 in 2022. The area of barren lands was accompanied by a slight decrease and reached from 12.61 km^2 in 2002 to 11.71 km^2 in 2022. This type of land use occupies the largest area in the study area. Using SVM as the last learning algorithm in this research, the area of the blue zone in 2002 was estimated to be about 3.5 km^2, which is very similar to the values obtained by the random forest model in the same year. In 2022, this type of land use has an area equal to 2.81 km^2, which is only 0.05 km^2 different from the value obtained with the random forest model. The vegetation of this area was equal to 2.42 and 3.46 km^2 in 2002 and 2022, respectively. Finally, the last type of land use, which is devoted to barren land, has the largest area and shows the least change from 12.5 km^2 in 2002 to 12.15 km^2, which shows a very slight decrease. Based on each index, the estimated surface temperature values indicated that the minimum and maximum temperature values were 14.24 and 39.92 °C, respectively, on July 14, 2002, which was the lowest temperature recorded on the surface of the lake. On July 28, 2013, the minimum and maximum temperatures were 17.42 and 40.9 °C, and the minimum temperature showed an increase of 3.18 °C compared to 2002. It can be seen that the western part of Neor Lake has faced an increase in temperature.

Conclusions

Various methods have been proposed to investigate land use and land cover changes, including SVM, random forest, and maximum likelihood models. Therefore, the above methods were used in this research to estimate the trend of land use changes in the area of Lake Neor for the years 2002, 2013, and 2022. The results showed significantly similar values estimated by the SVM and random forest models. For example, the amount of water area in 2002 in the SVM model was equal to 3.5 km^2, which was estimated to be equal to 3.53 km^2 in the random forest model, with a difference of only 0.03 km^2, while the model estimated the maximum probability of this amount to be about 3.19 km^2. The water area decreased and the vegetation increased in all models, and the largest increase was observed on the southern shore of the lake. Barren lands with the largest area have seen the least changes. The results show that the surface of the Neor Lake is decreasing in the southwest and northeast parts.

بررسی کارایی مدل های الگوریتم جنگل تصادفی (RTC)، حداکثر احتمال (MLC) و ماشین بردار پشتیبانی (SVM) در تشخیص تغییرات پهنه آبی دریاچه نئور و تاثیر این تغییرات در دمای سطح زمین با استفاده از مدل LST در بازه زمانی ۲۰۰۲ تا ۲۰۲۲

مهدی فیض اله پور[1]*

۱- استادیار گروه جغرافیا، دانشگاه زنجان، زنجان، ایران feyzolahpour@znu.ac.ir

کلیدواژه‌ها

جنگل تصادفی، حداکثر احتمال، ماشین بردار پشتیبانی، LST، دریاچه نئور، شمال غرب ایران.

تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۰۶/۱۷

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۰۹/۰۴

تاریخ انتشار: ۱۴۰۳/۰۷/30

چکیده

تغییرات پوشش و کاربری زمین در اثر فعالیت های انسانی تاثیرات نامطلوبی بر محیط زیست بر جای گذاشته است. مناطق شرقی استان اردبیل نمونه بارز این پدیده به شمار می آید. هدف از این تحقیق تجزیه و تحلیل تغییرات مکانی و زمانی در پوشش و کاربری زمین و اثرات آن بر دمای سطح زمین در دریاچه نئور می باشد. برای برآورد کاربری و پوشش زمین از مدل های جنگل تصادفی (RTC)، مدل حداکثر احتمال (MLC) و ماشین بردار پشتیبانی(SVM) استفاده شده و کارایی هر کدام توسط ضریب کاپا برآورد گردیده و مشاهده شد که مدل SVM از بیشترین میزان ضریب کاپا (۰/۸۷) برخوردار است. برای استخراج شاخص LST نیز از باندهای ۶ لندست ۵ و ۱۰ لندست ۸ بهره گرفته شده و مشاهده شد که بخش غربی دریاچه با افزایش دمای سطح زمین مواجه گردیده است. در طول دوره زمانی ۲۰۰۲، ۲۰۱۳ و ۲۰۲۲ تغییرات قابل توجهی در پهنه آبی دریاچه نئور و پوشش های گیاهی مجاور آن مشاهده شد. زمین های بایر بیشترین وسعت را در تمام دوره های مورد مطالعه داشته است. پوشش گیاهی بر اساس مدل SVM حدود ۱/۰۴ کیلومتر مربع افزایش یافته است. مساحت سطح دریاچه بر اساس مدل MLC در سال ۲۰۰۲ معادل ۳/۱۹ کیلومتر مربع برآورد گردید. مساحت پهنه آبی در مدل MLC در بازه زمانی ۲۰۰۲ تا ۲۰۲۲ حدود ۱/۵۶ کیلومتر مربع کاهش یافته و این میزان کاهش برای مدل های RTC و SVM به ترتیب معادل ۰/۶۷ و ۰/۶۹ کیلومتر مربع می باشد.

* نویسنده مسئول: مهدی فیض اله پور

رایانامه: feyzolahpour@znu.ac.ir

ارجاع به این مقاله: مهدی فیض اله پور، (۱۴۰۲). بررسی کارایی مدل های الگوریتم جنگل تصادفی (RTC)، حداکثر احتمال (MLC) و ماشین بردار پشتیبانی (SVM) در تشخیص تغییرات پهنه آبی دریاچه نئور و تاثیر این تغییرات در دمای سطح زمین با استفاده از مدل LST در بازه زمانی ۲۰۰۲ تا ۲۰۲۲. *هیدروژئومورفولوژی*، ۱۱ (40): 21 – 1.

DOI: 10.22034/hyd.2024.18681

Copyright: ©2024 by the authors. Publisher: University of Tabriz

مقدمه

تغییر کاربری اراضی به معنای تغییر یک بخش از زمین برای اهداف مشخص بوده و ناشی از فعالیت های انسانی می باشد در حالیکه تغییر پوشش زمین، ویژگی های سطح زمین را توصیف می کند(پاتل[1] و همکاران، ۲۰۱۹: ۶). تغییرات مداوم محیطی و اثرات نامطلوب مرتبط با آن، در حال تبدیل شدن به بحرانی مهم در سطح جهانی می باشد(لی[2] و همکاران، ۲۰۲۰: ۱۳۴). تغییر LULC توسط ترکیبی از علل مختلف ایجاد می شود. عامل اول مربوط به فعالیت های انسانی بوده و عامل دوم در ارتباط با مسائل اجتماعی، اقتصادی و سیاسی می باشد. فعالیت های انسانی، نیروهای محرک اصلی تغییرات فضایی در مقیاس های مختلف به شمار می آیند(دامتیا[3] و همکاران، ۲۰۲۰: ۶۸.، هاسن[4] و همکاران، ۲۰۱۷: ۱۲۲.، بوکایی[5] و همکاران، ۲۰۱۶: ۹۹.، هگازی[6] و همکاران، ۲۰۱۵: ۱۲۲). تغییرات کاربری و پوشش زمین اثرات منفی را در مقیاس محلی تا جهانی به همراه داشته است. لی[7] و همکاران (۲۰۲۰) تاثیرات آن را بر محیط زیست جهانی، تغییر اقلیم و توسعه پایدار گزارش کرده اند. هاسن[8] و اسان (۲۰۱۷) در تحقیقات خود چنین عنوان کردند که مشکلات مرتبط با فرسایش خاک، وخامت کیفی خاک و کمبود آب با تغییرات LULC در ارتباط هستند. تاثیرات این عامل بر اکوسیستم ها و تنوع زیستی و تخریب سکونتگاه ها توسط دینکا[9] و چاکا (۲۰۱۹) و پاتل[10] و همکاران(۲۰۱۹) گزارش شده است. تغییر پوشش و کاربری زمین باعث تخریب زمین و شبکه های آبراهه ای شده و بر دمای سطح زمین تاثیر می گذارد(دامتیا و همکاران، ۲۰۲۰: ۶۶.، بلای[11] و همکاران، ۲۰۱۹: ۳۳.، کیکان[12] و همکاران، ۲۰۱۶: ۲۴.، پال و زیال[13] ۲۰۱۷: ۱۳۰). از این رو، تشخیص تغییر کاربری و پوشش زمین و نیروهای محرک آن برای حفاظت از محیط زیست، مدیریت منابع، برنامه ریزی کاربری زمین، توسعه اجتماعی و اقتصادی و توسعه پایدار حائز اهمیت می باشد(آلمو[14] و همکاران، ۲۰۱۹: ۸۲). دمای سطح زمین (LST) اشاره به دمای تابشی پوسته سطح زمین دارد. این شاخص، یک پارامتر مهم در توصیف ریز اقلیم و انتقال تشعشع اتمسفر به شمار می آید(راجندریان و مانی[15] ۲۰۱۵: ۲۱). شاخص LST ارتباط قابل توجهی نیز با عوامل هیدرولوژیکی، تغییرات آب و هوایی، تنوع زیستی، ارزیابی رطوبت خاک و اراضی زراعی، ارزیابی بلایای طبیعی و تغییرات کاربری اراضی دارا می باشد(راجانی و وارادراجان[16] ۲۰۲۱: ۶۱۲). نظارت بر تغییرات مکانی و زمانی پوشش و کاربری زمین و دمای سطح زمین با استفاده از فناوریهای سنجش از دور در حال تبدیل شدن به یک موضوع تحقیقاتی مهم در سطح جهانی است(آلمو[17] و همکاران، ۲۰۱۹: ۸۱).

استفاده از روش های طبقه بندی یکی از موارد پر کاربرد استفاده از داده های سنجش از دور می باشد. هر روش طبقه بندی به نتایج متفاوتی دست می یابد(گایو[18] و همکاران، ۲۰۱۲: ۵۳۶). روش حداکثر احتمال و کمترین فاصله از متداول ترین روش های طبقه بندی به شمار می روند. بزرگترین ضعف این روش ها در این است که اگر یک عارضه از اختلاف اثر طیفی کمی نسبت به سایر عوارض برخوردار باشد تفکیک آن با مشکل همراه است(هاردو ۱۹۸۲: ۳۴). این مشکلات باعث ایجاد روش های جدیدتری شده است. امروزه روش هایی مانند روش شبکه عصبی مصنوعی، الگوریتم ماشین بردار پشتیبانی، جنگل تصادفی و حداکثر احتمال ارائه شده اند. هر الگوریتم طبقه بندی روش های مخصوص خود را داشته و به نتایج متفاوتی دست می یابد. یکی از پر کاربردترین روش ها در تفکیک تصاویر ماهواره ای روش ماشین بردار پشتیبانی یا SVM می باشد. این روش در سال ۱۹۹۲ به وسیله واپنیک ارائه گردید(واپنیک[19] ۱۹۹۵: ۲۳). در این روش طبقه بندی داده ها به صورت خطی بوده و در تقسیم داده ها از خطی استفاده می شود که دارای بیشترین حاشیه می باشد. در صورتی که داده ها را نتوان به صورت خطی از یکدیگر جدا نمود از توابع کرنل بهره گرفته می شود. این روش در مواردی مانند زمین شناسی، کشاورزی و تعیین کاربری اراضی به کار گرفته شده است(مونتراکیس[20] و همکاران، ۲۰۱۱: ۸۲.، عابدی و همکاران، ۲۰۱۲.،

1 Patel et al
2 Li et al
3 Damtea et al
4 Hassen et al
5 Bokaie et al
6 Hegazy
7 Li et al,
8 Hassen et al
9 Dinka et al
10 Patel et al
11 Belay
12 Kikon
13 Pal and Ziaul
14 Alemu
15 Rajendran and Mani
16 Rajani and Varadarajan
17 Alemu
18 Geo
19 Vapnik
20 Mountrakis

گرانیان[1] و همکاران، ۲۰۱۶: ۳۳). استفاده از این روش در تحلیل تصاویر ماهواره ای به سرعت در حال افزایش است(جیانگ[2] و همکاران، ۲۰۱۱: ۳۱۷.، هوانگ[3] و همکاران، ۲۰۰۲: ۷۳۰.، کمپول[4] و همکاران، ۲۰۱۰: ۵۹۲.، اوومن[5] و همکاران، ۲۰۰۸: ۴۱۳).

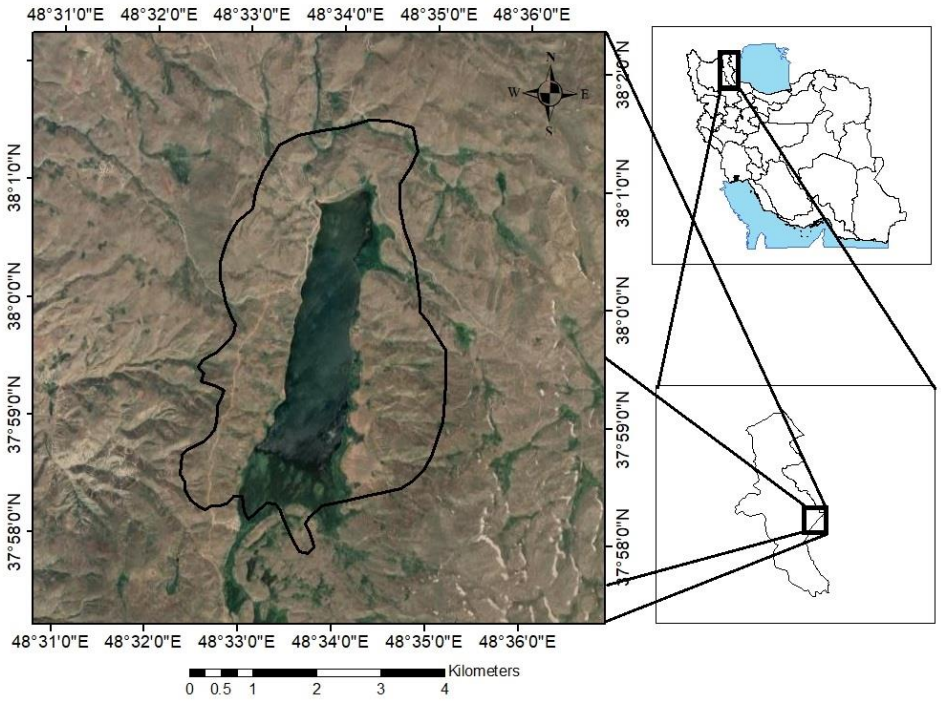
در ایران تحقیقات مختلفی در زمینه استفاده از روش های الگوریتم یادگیری انجام شده است. اسلمی و همکاران (۱۳۹۴) برای بررسی پوشش و کاربری زمین از روش های ماشین بردار پشتیبانی و شبکه عصبی مصنوعی استفاده کردند. بررسی ها نشان داد که هر دو روش از میزان صحت قابل قبولی برخوردار هستند. شنایی و زارعی (۱۳۹۵) از روش حداکثر احتمال، ماشین بردار پشتیبانی و شبکه عصبی مصنوعی برای تهیه نقشه کاربری اراضی استفاده نمودند. نتایج نشان داد که مدل های فوق به نحوی از درصد صحت قابل قبول برخوردار هستند. جهانبخشی و همکاران (۱۳۹۷) قابلیت های مدل حداکثر احتمال، جنگل تصادفی و ماشین بردار پشتیبانی را در زمینه کاربری اراضی مورد بررسی قرار دادند. نتایج نشان داد که مدل ماشین بردار پشتیبانی نسبت به سایر مدل ها به نتایج بهتری دست یافته است. عبدلی و همکاران (۱۳۹۹) روش ماشین بردار پشتیبانی را با مدل شبکه عصبی مصنوعی مقایسه کرده و مشاهده کردند که مدل ماشین بردار پشتیبانی با برخورداری از ضریب کاپای بالاتر به نتایج بهتری دست یافته است.

با توجه به موارد اشاره شده، در این تحقیق برای بررسی تغییرات رخ داده در محیط پیرامونی دریاچه نئور از سه روش الگوریتم ماشین بردار پشتیبانی، طبقه بندی حداکثر احتمال و درخت تصادفی استفاده شده و کارایی هر کدام با استفاده از ضریب کاپا مورد بررسی قرار گرفته و با بهره گیری از شاخص LST تغییرات دمایی در بازه زمانی ۲۰۰۲ تا ۲۰۲۲ مورد شناسایی قرار گرفت.

مواد و روش ها

دریاچه نئور در عرض شمالی ۳۷ درجه و ۵۵ دقیقه و ۳۰ ثانیه تا ۳۸ درجه و یک دقیقه و طول شرقی ۴۸ درجه و ۳۲ دقیقه تا ۴۸ درجه و ۳۶ دقیقه و ۳۰ ثانیه در فاصله ۴۸ کیلومتری جنوب شرقی شهر اردبیل واقع شده است. ارتفاع این دریاچه از سطح دریا معادل ۲۴۸۰ متر بوده و در ارتفاعات باغروداغ قرار گرفته است. مساحت این دریاچه بین ۲۱۰ تا ۲۴۰ هکتار در نوسان بوده است. آب این دریاچه شیرین بوده و عمق متوسط آن ۳ متر می باشد.

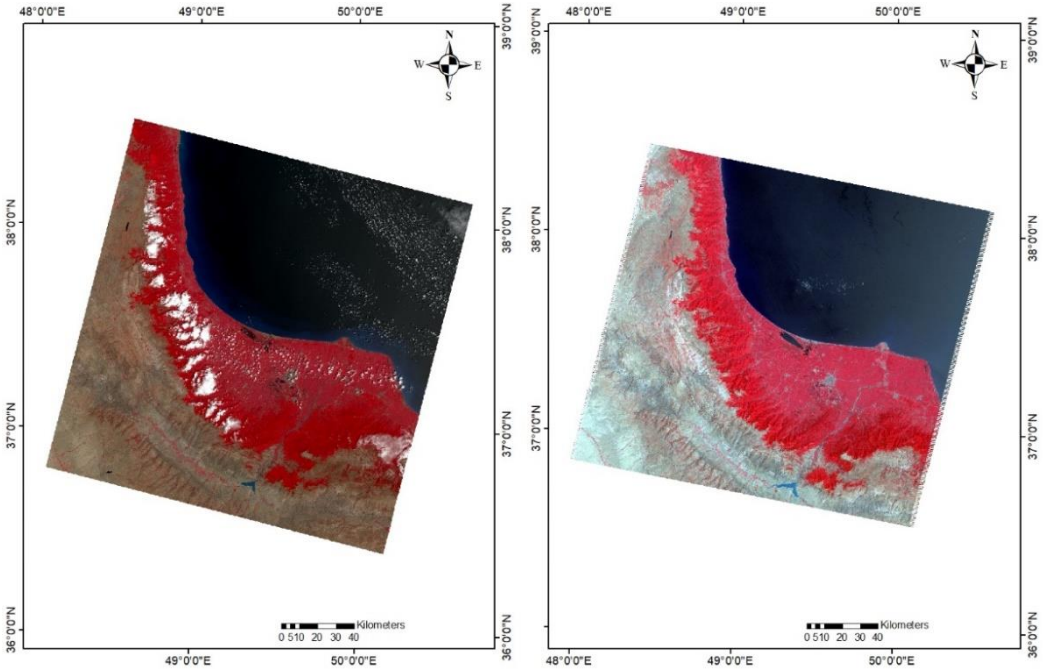
1 Granian
2 Jiange
3 Huange
4 Campvalls
5 Oommen

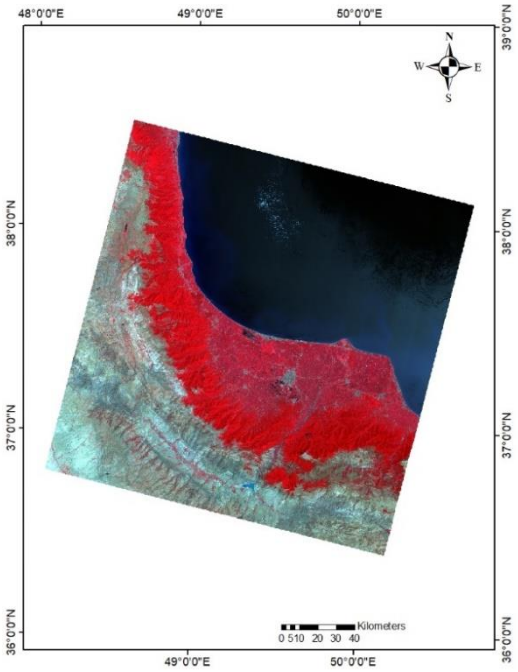


شکل (۱): موقعیت منطقه مورد مطالعه در محدوده دریاچه نئور

Figure (1): Location of the studied area in the Neor Lake area

در این تحقیق برای بررسی تغییرات پهنه آبی دریاچه نئور و تغییر پوشش و کاربری محیط پیرامونی آن از سه روش حداکثر احتمال (MLC)، درخت تصادفی (RTC) و ماشین بردار پشتیبانی (SVM) استفاده شده و تاثیر این تغییرات بر دمای سطح زمین با استفاده از شاخص LST مورد بررسی قرار گرفت. به این منظور تصاویر روزهای ۱۴ جولای ۲۰۰۲ ماهواره لندست ۵ و روزهای ۲۸ جولای ۲۰۱۳ و ۱۳ جولای ۲۰۲۲ ماهواره لندست ۸ از سایت سازمان زمین شناسی آمریکا دانلود گردید. در محاسبات مربوط به الگوریتم های یادگیری، ۷ باند هر تصویر با یکدیگر ترکیب شده و اموزش داده شدند.





شکل (۲): تصاویر رنگی کاذب حاصل از ترکیب باندهای ۷ گانه در سالهای ۲۰۰۲، ۲۰۱۳ و ۲۰۲۲

Figure (2): False color images resulting from the combination of 7 bands in the years 2002, 2013 and 2022

از طریق مقادیر آموزش داده شده منطقه به سه کاربری پهنه آبی، پوشش گیاهی و زمین بایر تقسیم شده و در الگوریتم های مربوطه مورد تحلیل قرار گرفته و نقشه خروجی به دست آمد. باندهای مورد استفاده در جدول زیر نمایش داده شده است. مدل های مورد استفاده در این تحقیق در ادامه مورد تشریح قرار گرفتند.

جدول (۱): خصوصیات باندهای استفاده شده از ماهواره های لندست ۵ و ۸

Table (1): Characteristics of the bands used by Landsat 5 and 8 satellites

سنجنده	تاریخ تصویربرداری	باند	توان تفکیک	طول موج
TM لندست ۵	۲۰۰۲/۰۷/۱۴	باند ۱	۳۰ متر	آبی
		باند ۲	۳۰ متر	سبز
		باند ۳	۳۰ متر	قرمز
		باند ۴	۳۰ متر	مادون قرمز نزدیک
		باند ۵	۳۰ متر	مادون قرمز موج کوتاه
		باند ۶	۱۲۰ متر	حرارتی
		باند ۷	۳۰ متر	مادون قرمز موج کوتاه
OLI لندست ۸	۲۰۱۳/۰۷/۲۸	باند ۱	۳۰ متر	گرد و غبار، ساحل
	۲۰۲۲/۰۷/۱۳	باند ۲	۳۰ متر	آبی
		باند ۳	۳۰ متر	سبز
		باند ۴	۳۰ متر	قرمز
		باند ۵	۳۰ متر	مادون قرمز نزدیک
		باند ۶	۳۰ متر	مادون قرمز موج کوتاه
		باند ۷	۳۰ متر	مادون قرمز موج کوتاه
		باند	۱۰۰ متر	حرارتی

مدل SVM یک سیستم یادگیری تحت نظارت بوده و بر اساس پیشرفت های اخیر در نظریه یادگیری آماری استوار است (کریستیانی و شاو، ۲۰۰۰: ۷۱). کورتز[1] و واپینک (۱۹۹۵) مدل SVM را برای طبقه بندی های باینری توسعه دادند. برخی از تحقیقات بر روی توابع ریاضی مدل SVM متمرکز شده اند. این مدل طبقات را به سطوح تصمیم گیری تقسیم کرده و مرز بین طبقات را به حداکثر می رساند. بردارهای پشتیبانی از عناصر مهم مجموعه آموزشی به شمار می آیند(بوسر[2] و همکاران، ۱۹۹۲: ۱۴۹.، فودی[3] و همکاران، ۲۰۰۷: ۱۷۳۸). برای اجرای SVM، داده های آموزشی مورد نیاز است. این داده ها فرایند جداسازی طبقات را بهینه سازی می کنند(فودی و ماتر[4]، ۲۰۰۶: ۱۸۴). با استفاده از یک تابع پایه شعاعی (RBF)، پراکنش طبقات با محدوده های غیرخطی را می توان در یک محدوده جدا شده خطی ترسیم نمود(هوانگ و همکاران، ۲۰۰۲: ۷۳۲). آموزش SVM با RBF مستلزم تنظیم دو پارامتر است. یکی از این پارامترها، پارامتر منظم سازی است که تعادل بین به حداکثر رسانی حساسیت حواشی و به حداقل رساندن خطای آموزشی را برقرار کرده و کنترل می کند.

پارامتر تنظیم کننده کوچک تمایل به تاکید بر حواشی و نادیده گرفتن نقاط پرت در داده های آموزشی دارد. پارامتر منظم سازی بزرگ ممکن است با داده های آموزشی بیشتری مطابقت داشته باشد. شرح جامع پارامترهای SVM را می توان درنوشته های کریستیانی و شاو[5] (۲۰۰۰) و بورگز[6] (۱۹۹۸) مشاهده نمود. طبقه بندی SVM شامل چهار نوع خطی، چند جمله ای، RBF و سیگموئید می باشد. نوع RBF در بیشتر موارد به خوبی عمل می کند. ساختار ریاضی این چهار نوع درمعادلات زیر نشان داده شده است.

(۱) خطی (۱) $k(x_i, x_j) = x_i^t, x_j$

(۲) چند جمله ای (۲) $k(x_i, x_j) = \left(\gamma x_i^t x_j + r\right)^d, \gamma > 0$

(۳) نوع RBF (۳) $k(x_i, x_j) = exp(-\gamma \|x_i - x_j{}^2\|, \gamma > 0)$

(۴) نوع سیگموئید (۴) $k(x_i, x_j) = \tan h\ \left(\gamma x_i^t x_j + r\right)$

در این معادلات، xi بردار پشتیبانی i ها ، xj نقاط آموزش داده شده برای j ها، t پارامتر هموارسازی، k تابع مرکزی، II شاخص اقلیدسی، γ پهنای هسته در توابع هسته مدل ها به جز مدل خطی، d نسبت درجه چند جمله ای در توابع هسته، r نسبت بایاس در توابع هسته ای مدل های چند جمله ای و سیگموئید بوده و γ ، d و r پارامترهای کنترل شده توسط کاربر می باشد زیرا تعریف صحیح آنها بطور قابل توجهی باعث افزایش دقت SVM می شود.

روش حداکثر احتمال MLC یک روش مبتنی بر طبقه بندی نظارت شده است که از تئوری بایاس ریشه گرفته و احتمال وابستگی یک پیکسل را به یک طبقه معین نشان می دهد. به این منظور از معادله زیر بهره گرفته می شود:

$$P(iW) = \frac{P(Wi)P(i)}{P(W)} \quad (۵)$$

در این معادله $P(Wi)$ و $P(i)$ تابع احتمالاتی و احتمال وقوع i در منطقه مورد مطالعه بوده و P(W) احتمال مشاهده W می باشد. برای محاسبه P(W) از معادله زیر استفاده می شود.

$$P(W) = \sum_{i=1}^{M} P(Wi)P(i) \quad (۶)$$

در این معادله M، تعداد طبقات را نشان داده و فاکتور P(W) ضریب ثابتی است که برای نرمال سازی مورد استفاده قرار می گیرد. بر اساس رابطه زیر، پیکسل x در طبقه i واقع می شود.

$$x \in i\ if\ P(iW) > P(JW) f\ or\ all\ J \neq 1 \quad (۷)$$

1 Cortes et al
2 Boser
3 Foody
4 Foody and Mathur
5 Cristianini, N & Shawe-Taylor
6 Burges

در این مدل چنین فرض می شود که توزیع داده ها در طبقات از توزیع گوسی چند متغیره پیروی می کند. هر پیکسل به طبقاتی با بیشترین احتال اختصاص یافته و اگر مقادیر احتمالیی در زیر آستانه تعیین شده توسط کاربر قرار گیرد به عنوان پیکسل فاقد طبقه در نظر گرفته می شود. روند کلی مدل حداکثر احتمال به این شکل است که در ابتدا تعداد انواع کاربری ها و پوشش ها در منطقه مورد مطالعه تعییه شده و سپس برای هر یک از طبقات مورد نظر، پیکسل های آموزشی در نظر گرفته می شود. از این پیکسل ها برای تخمین میانگین و ماتریس کوواریانس هر طبقه استفاده می شود. در نهایت هر پیکسل در انواع مختلف کاربری ها جای می گیرد.

مدل درخت تصمیم به آسانی قابل اجرا می باشد لیکن مقادیر واریانس به دست آمده بالا بوده و لذا از صحت قابل قبولی برخوردار نیستند. برای غلبه بر این مشکل انواع مختلفی از درخت تصمیم تولید می شود که در آن زیرمجموعه های مختلفی در همان مجموعه آموزشی با روش های مختلفی آموزش داده می شوند(بریمان[1] ۲۰۰۱: ۱۲۶). مدل جنگل تصادفی یک نوع الگوریتم یادگیری مبتنی بر ماشین است که بر اساس روش درختان تصمیم گیری استوار است. این روش به نوعی از الگوریتم های ماشین تعلق دارد که در آن طبقه بندی ها به صورت مجموعه ای انجام می گیرند. در این حالت از پیش بینی ها ی چندین مدل پایه مستقل، میانگین گرفته شده و پیش بینی انجام می گیرد. ساختار این مدل به عنوان یک روش طبقه بندی و رگرسیون چند متغیره به شکل کاملا موفقی به اجرا در آمده است (دنیل[2]و همکاران، ۲۰۱۴: ۱۴). روش جنگل تصادفی، اغتشاشات تصادفی را در فرایند یادگیری مورد استفاده قرار می دهد تا بدین وسیله مدل های مختلفی تولید شده و از فرایند پیش بینی ها برای پیش بینی مجموعه ها استفاده نماید(لوپه[3] ۲۰۱۴: ۷۶). مدل درخت تصادفی بر خلاف مدل ماشین بردار پشتیبانی SVM، ترکیبی از متغیرها را مدیریت می کند. در مدل SVM قبل از فرایند آموزش و طبقه بندی، اقدام به نرمال سازی داده ها می شود در حالی که مدل درخت تصادفی نسبت به محدوده داده ها از حساسیت کمتری برخوردار است. با این وجود، در مجموعه های آموزشی کوچکتر، مدل ماشین بردار پشتیبانی عملکرد بهتری داشته است.

بررسی دمای سطح زمین برای درک چرخه انرژی و تبادل آب با محیط امری حیاتی می باشد. تجزیه و تحلیل LST با استفاده از داده های حرارتی ماهواره ای مستلزم روش های مختلفی از جمله تراز رادیومتری سنجنده، تصحیح بازتاب سطح و هوا و تغییرات LULC می باشد. برای محاسبه LST از باند ۱۰ ماهواره لندست ۸ استفاده می شود. مراحل محاسبه LST بر اساس روش تاکور و همکاران[4](۲۰۲۰) و کافی و همکاران[5](۲۰۲۱) در زیر شرح داده شده است. به این منظور در ابتدا مقادیر تابش طیفی در بالای اتمسفر محاسبه می گردد. معادله زیر برای این منظور در نظر گرفته شده است.

$$L\lambda = AL + ML * Qcal \qquad (۸)$$

در این معادله $L\lambda$ تابش طیفی در بالای اتمسفر، ML فاکتور درجه بندی شده ترکیبی تابشی برای باند ۱۰ و Qcal تعداد دیجیتالی باند ۱۰ می باشد. سپس مقادیر تابش طیفی $L\lambda$ به مقادیر درجه روشنایی ماهواره (TB) تبدیل می گردد.

$$TB = \frac{\Sigma(K2)}{\left(ln\left(\frac{K1}{L\lambda+1}\right)\right)} \qquad (۹)$$

در این معادله TB درجه روشنایی بوده و K1 و K2 ضریب حرارتی ثابت برای باند ۱۰ می باشد. نسبت پوشش گیاهی (PV) و انتشار سطحی (E) نیز بر اساس معادلات زیر محاسبه می شود.

$$PV = \left[\frac{(NDVI-NDVI_{min})}{(NDVI_{max}-NDVI_{min})}\right]^2 \qquad (۱۰)$$

[1] Breiman
[2] Denil
[3] Louppe
[4] Thakur et al
[5] Kafy

$$E = (0.004.PV) + 0.986 \quad (۱۱)$$

در نهایت، مقادیر درجه روشنایی به مقادیر LST تبدیل می گردد:

$$LST = \left[\frac{TB}{1+\left(\frac{\lambda.TB}{a}\right)lnE}\right] \quad (۱۲)$$

در این معادله λ طول موج تابش ساطع شده، a ضریب ثابت ۱۴۳۸۸ برای ماهواره لندست ۸، h ضریب ثابت پلانک، c سرعت نور و k ضریب بولتزمن می باشد.

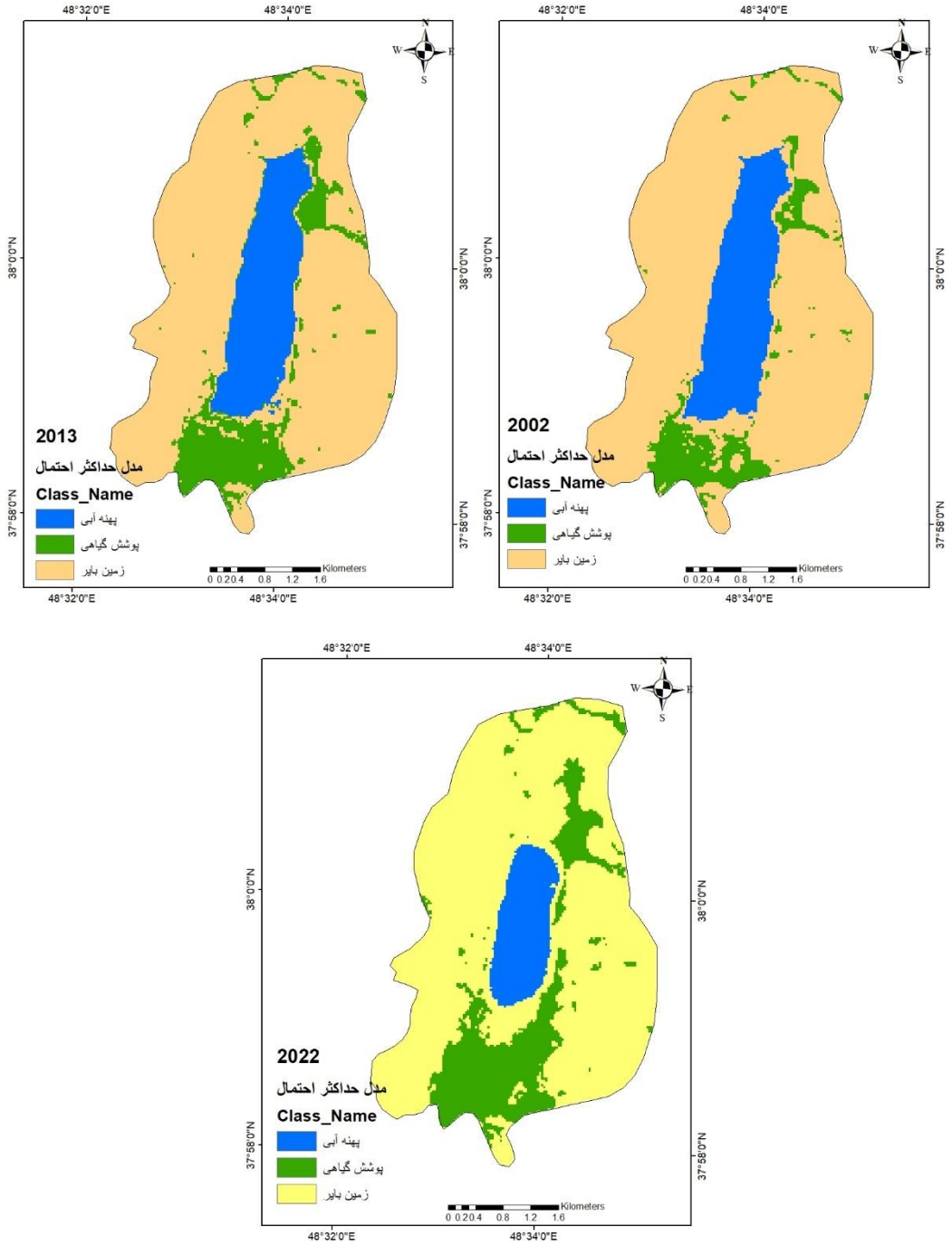
دقت طبقه بندی برای سه تکنیک RTC، MLC و SVM با استفاده از ضریب کاپا مورد ارزیابی قرار گرفت. این ضریب با گنجاندن تمام مقادیر خارج از حد مورب در محاسبات، تمایل شاخص دقت کلی را به تخمین بیش از حد مقادیر، کنترل می کند. در این ضریب تفاوت های آماری در ماتریس خطاهای مختلف مورد آزمایش قرار می گیرد. ضریب کاپا در بین صفر تا ۱ قرار دارد. برای محاسبه ضریب کاپا از معادله زیر استفاده می شود.

$$k = \frac{N\sum_{i=1}^{r} x_{ii} - \sum_{i=1}^{r}(x_{i+}+x_{+i})}{N^2 - \sum_{i=1}^{r}(x_{i+}+x_{+i})} \quad (۱۳)$$

در این معادله، N، x_{ii}، x_{i+}، x_{+i}، به ترتیب تعداد کل نمونه ها، مقادیر دارای چولگی، دقت کاربر و دقت تولید کننده هستند.

یافته ها و بحث

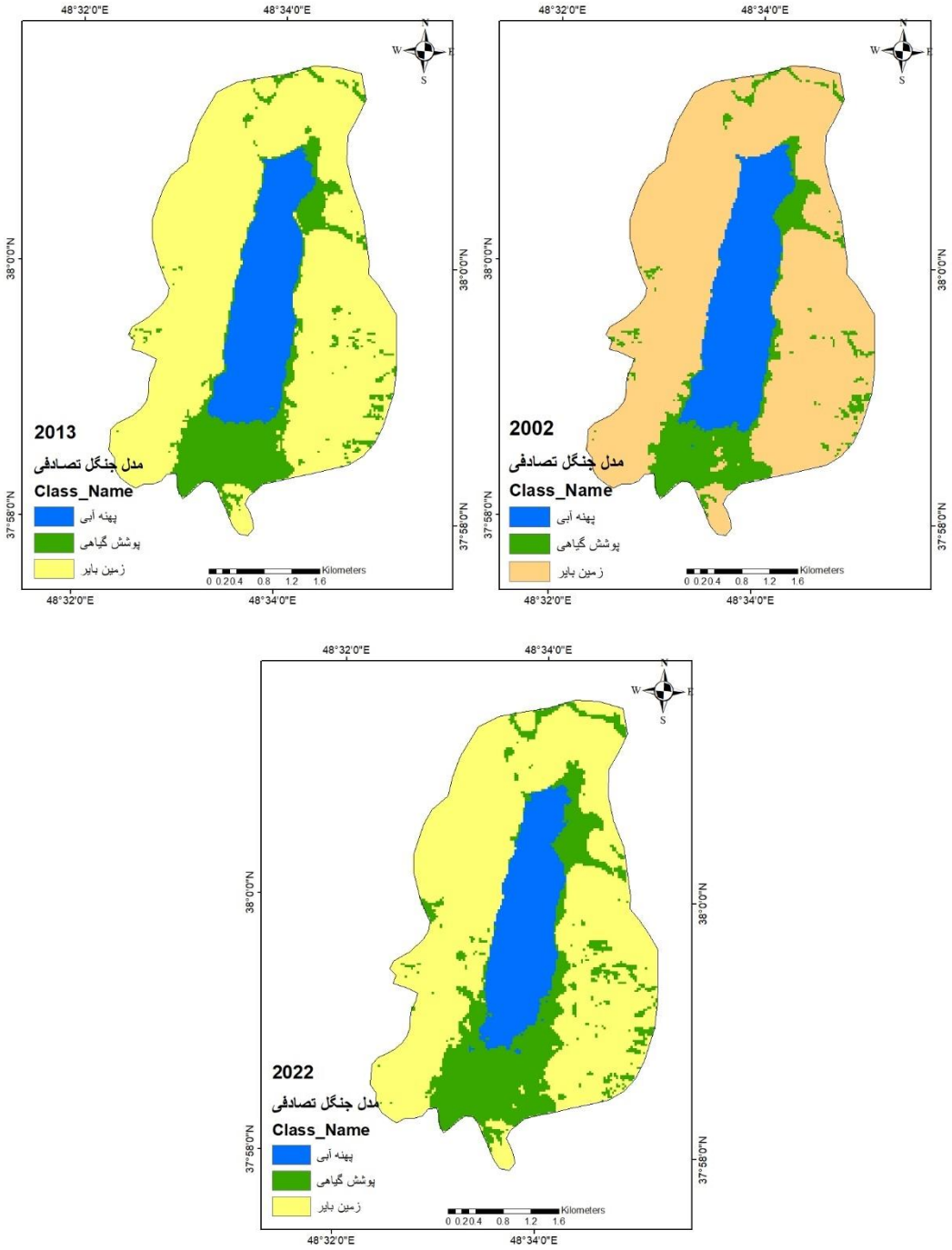
دریاچه ها و تالاب ها در شرایط کنونی از فعالیت های انسانی و تغییر اقلیم تاثیر پذیرفته اند. حتی نواحی که از تنش آبی کمتری برخوردارند نیز از این پدیده ها متاثر شده اند. دریاچه نئور واقع در شرق استان اردبیل نیز از این تغییرات در امان نمانده است به منظور بررسی این تغییرات و تاثیر آن در پهنه آبی دریاچه و در کنار آن تاثیرپذیری دمای سطح زمین از این فرایندها از مدل های ماشین بردار پشتیبانی، جنگل تصادفی و حداکثر احتمال استفاده شده و کارایی هر کدام در شناسایی ماربری و پوشش زمین مورد بررسی قرار گرفته است. این فرایند برای سالهای ۲۰۰۲، ۲۰۱۳ و ۲۰۲۲ اعمال گردیده است. در مدل MLC مساحت پهنه آبی برای سال ۲۰۰۲ معادل ۳/۱۹ کیلومتر مربع بوده و این میزان در سال ۲۰۲۲ به ۱/۶۳ کیلومتر مربع رسیده است. به عبارتی مساحت این پهنه از ۱۷/۳ درصد در سال ۲۰۰۲ به ۸/۸۴ درصد در سال ۲۰۲۲ کاهش یافته است. مساحت پوشش گیاهی در این مدل از ۱/۵۸ کیلومتر مربع در سال ۲۰۰۲ به ۳/۲۵ کیلومتر مربع افزایش یافته است. به عبارتی مساحت این نوع کاربری از ۸/۵۷ درصد در سال ۲۰۰۲ به ۱۷/۶۳ درصد در سال ۲۰۲۲ رسیده و افزایش قابل توجهی را نشان می دهد. این افزایش در نواحی جنوبی و شمال شرقی دریاچه نئور رخ داده و در زمین های خشک شده این دریاچه به وقوع پیوسته است. در این بین زمین های بایر با کمترین تغییرات مواجه شده اند. با این وجود بیشترین مساحت در محدوده مورد مطالعه اختصاص به این نوع کاربری داشته است. به طوری که از ۱۳/۶۵ کیلومتر مربع در سال ۲۰۰۲ به ۱۳/۵۵ کیلومتر در سال ۲۰۲۲ رسیده است.



شکل (۳): مقادیر برآورد شده توسط مدل حداکثر احتمال در بازه زمانی ۲۰۰۲ تا ۲۰۲۲

Figure (3): Values estimated by the maximum likelihood model in the period from 2002 to 2022

در مدل جنگل تصادفی RTC مساحت پهنه آبی در سال ۲۰۰۲ معادل ۳/۵۳ کیلومتر مربع بوده که در سال ۲۰۲۲ این میزان به ۲/۸۶ کیلومتر مربع کاهش یافته بود. مساحت پوشش گیاهی با افزایش همراه بوده و از ۲/۲۹ کیلومتر مربع در سال ۲۰۰۲ به ۳/۸۵ کیلومتر مربع در سال ۲۰۲۲ رسیده است. مساحت زمین های بایر از کاهش جزئی همراه بوده و از ۱۲/۶۱ کیلومتر مربع در سال ۲۰۰۲ به ۱۱/۷۱ کیلومتر مربع در سال ۲۰۲۲ رسیده است. این نوع کاربری بیشترین پهنه را در منطقه مورد مطالعه به خود اختصاص داده است.

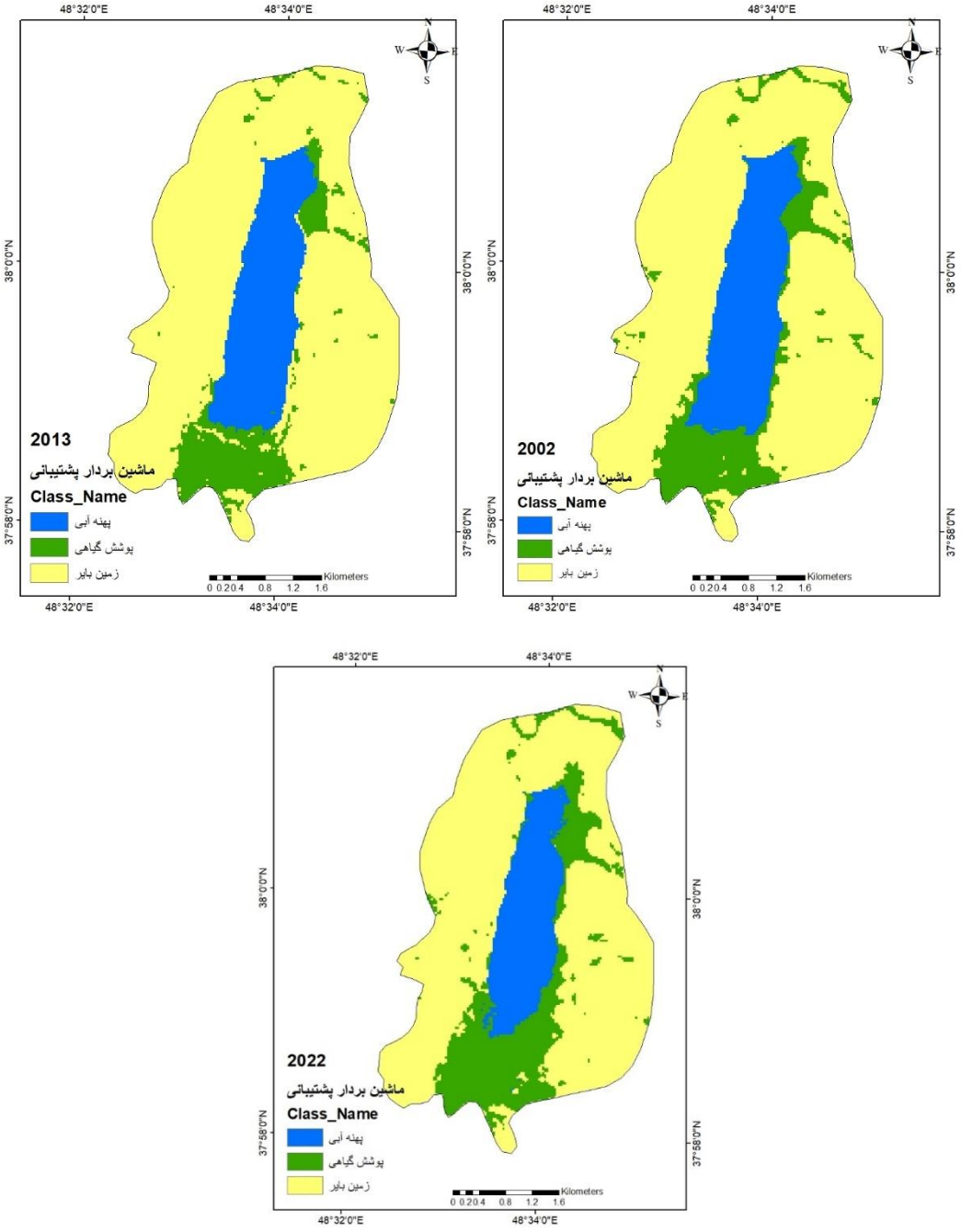


شکل (۴): مقادیر برآورد شده توسط مدل جنگل تصادفی در بازه زمانی ۲۰۰۲ تا ۲۰۲۲

Figure (4): Values estimated by the random forest model in the period from 2002 to 2022

آخرین الگوریتم یادگیری که در این تحقیق مورد استفاده قرار گرفته است الگوریتم ماشین بردار پشتیبانی SVM می باشد. در این الگوریتم مساحت پهنه آبی در سال ۲۰۰۲ حدود ۳/۵ کیلومتر مربع براورد گردید که به مقادیر به دست آمده توسط مدل جنگل تصادفی در این سال بسیار شبیه می باشد. در سال ۲۰۲۲ این نوع کاربری از مساحتی معادل ۲/۸۱ کیلومتر مربع برخوردار است که با مقدار به دست آمده با مدل جنگل تصادفی تنها ۰/۰۵ کیلومتر مربع اختلاف دارد. پوشش گیاهی این منطقه در سال ۲۰۰۲ معادل ۲/۴۲ کیلومتر مربع بوده و در سال ۲۰۲۲ معادل ۳/۴۶ کیلومتر مربع برآورد گردید. در نهایت، آخرین نوع کاربری که اختصاص به زمین بایر دارد از

بیشترین مساحت برخوردار بوده و کمترین تغییر را نشان می دهد به صورتی که از ۱۲/۵ کیلومتر مربع در سال ۲۰۰۲ به ۱۲/۱۵ کیلومتر مربع رسیده که کاهش بسیار جزئی را نشان می دهد.



شکل (۵): مقادیر برآورد شده توسط مدل جنگل تصادفی در بازه زمانی ۲۰۰۲ تا ۲۰۲۲

Figure (5): Values estimated by the random Tree model in the period from 2002 to 2022

مقادیر مربوط به مساحت پهنه های آبی، پوشش گیاهی و زمین های بایر برای هر یک از کاربری بر حسب کیلومتر مربع و درصد در جدول زیر نمایش داده شده و میزان تغییرات اعم از افزایش و کاهش هر نوع کاربری به تفکیک ذکر گردیده است.

جدول(۲): مقادیر هر یک از کاربری ها و پوشش های زمین برای مدل های RTC، MLC و SVM در سال ۲۰۰۲

Table (2): Values of each land use and land cover for RTC, MLC and SVM models in 2002

نوع کاربری	MLC		RTC		SVM	
	مساحت km2	درصد	مساحت km2	درصد	مساحت km2	درصد
پهنه آبی	۳/۱۹	۱۷/۳	۳/۵۳	۱۹/۱۵	۳/۵	۱۹
پوشش گیاهی	۱/۵۸	۸/۵۷	۲/۲۹	۱۲/۴۲	۲/۴۲	۱۳/۱۳
زمین بایر	۱۳/۶۵	۷۴/۰۶	۱۲/۶۱	۶۸/۴۲	۱۲/۵	۶۷/۸۲

جدول (۳): مقادیر هر یک از کاربری ها و پوشش های زمین برای مدل های RTC، MLC و SVM در سال ۲۰۱۳

Table (3): Values of each land use and land cover for RTC, MLC and SVM models in 2013

نوع کاربری	MLC		RTC		SVM	
	مساحت km2	درصد	مساحت km2	درصد	مساحت km2	درصد
پهنه آبی	۳/۰۴	۱۶/۵	۳/۲۵	۱۷/۶۳	۳/۳۹	۱۸/۴
پوشش گیاهی	۲/۲۶	۱۲/۲	۲/۶۳	۱۴/۲۷	۲	۱۰/۸۵
زمین بایر	۱۳/۱۲	۷۱/۱۸	۱۲/۵۴	۶۸/۰۴	۱۳/۰۳	۷۰/۷

جدول(۴): مقادیر هر یک از کاربری ها و پوشش های زمین برای مدل های RTC، MLC و SVM در سال ۲۰۲۲

Table (4): Values of each land use and land cover for RTC, MLC and SVM models in 2022

نوع کاربری	MLC		RTC		SVM	
	مساحت km2	درصد	مساحت km2	درصد	مساحت km2	درصد
پهنه آبی	۱/۶۳	۸/۸۴	۲/۸۶	۱۵/۵۱	۲/۸۱	۱۵/۲۴
پوشش گیاهی	۳/۲۵	۱۷/۶۳	۳/۸۵	۲۰/۸۸	۳/۴۶	۱۸/۷۷
زمین بایر	۱۳/۵۵	۷۳/۵۲	۱۱/۷۱	۶۳/۵۳	۱۲/۱۵	۶۵/۹۲

جدول(۵): میزان تغییرات کاربری ها و پوشش زمین در مدل MLC در بازه زمانی ۲۰۰۲ تا ۲۰۲۲

Table (5): The amount of land use and land cover changes in the MLC model in the period from 2002 to 2022

نوع کاربری	۲۰۰۲-۲۰۱۳	۲۰۱۳-۲۰۲۲	۲۰۰۲-۲۰۲۲
پهنه آبی	-۰/۱۵	-۱/۴۱	-۱/۵۶
پوشش گیاهی	+۰/۶۸	+۰/۹۹	+۱/۶۷
زمین بایر	-۰/۵۳	+۰/۴۳	-۰/۱

جدول(۶): میزان تغییرات کاربری ها و پوشش زمین در مدل RTC در بازه زمانی ۲۰۰۲ تا ۲۰۲۲

Table (6): The amount of land use and land cover changes in the RTC model in the period from 2002 to 2022

نوع کاربری	۲۰۰۲-۲۰۱۳	۲۰۱۳-۲۰۲۲	۲۰۰۲-۲۰۲۲
پهنه آبی	-۰/۲۸	-۰/۳۹	-۰/۶۷
پوشش گیاهی	+۰/۳۴	+۱/۲۲	+۱/۵۶
زمین بایر	-۰/۰۷	-۰/۸۳	-۰/۹

جدول (۷): میزان تغییرات کاربری ها و پوشش زمین در مدل SVM در بازه زمانی ۲۰۰۲ تا ۲۰۲۲

Table (7): The amount of land use and land cover changes in the SVM model in the period from 2002 to 2022

نوع کاربری	۲۰۰۲-۲۰۱۳	۲۰۱۳-۲۰۲۲	۲۰۰۲-۲۰۲۲
پهنه آبی	-۰/۱۱	-۰/۵۸	-۰/۶۹
پوشش گیاهی	-۰/۴۲	+۱/۴۶	+۱/۰۴
زمین بایر	+۰/۵۳	-۰/۸۸	-۰/۳۵

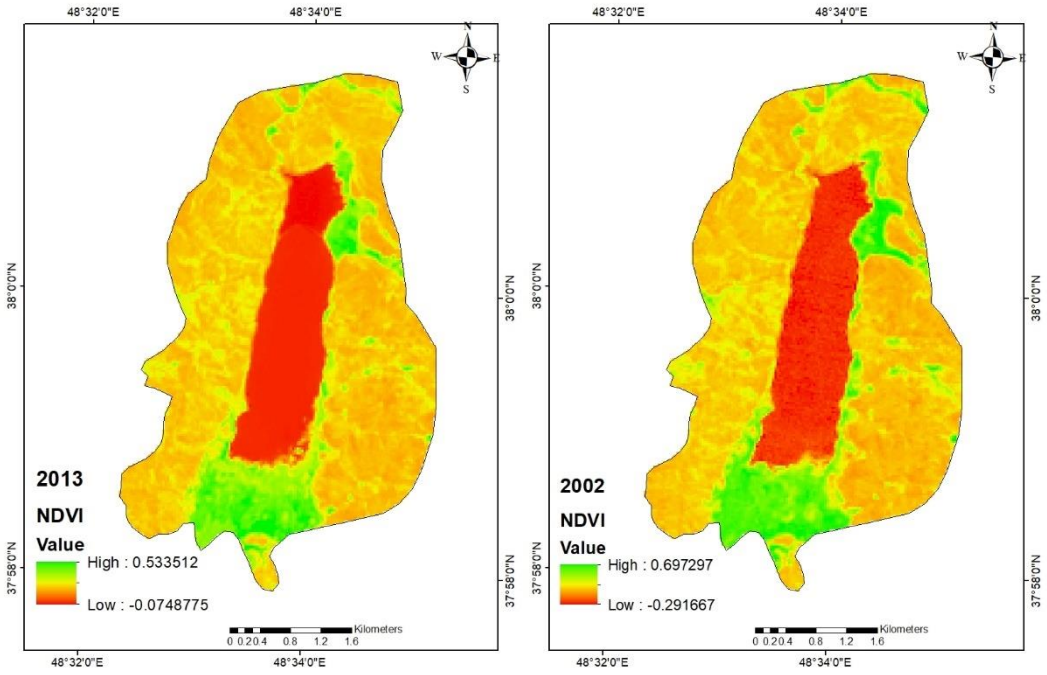
برای بررسی کارایی هر یک از مدل ها در براورد پوشش و کاربری زمین از ضریب کاپا استفاده می شود. مقادیر نزدیک به عدد یک نشان دهنده بیشترین دقت در مدل می باشند. مدل های یادگیری از تشخیص پهنه های آبی با کمترین اختلال مواجه هستند که علت این امر در بازتاب پایین این پهنه ها بوده که تشخیص آنها را به راحتی میسر می ساد. تنها در مواقعی که عمق دریاچه کاهش داشته باشد این الگوریتم ها دچار مشکل شده و به اشتباه ان بخش ها را زمین بایر یا پوشش گیاهی در نظر می گیرند. بعضا نیزارها و گیاهان مردابی نیز باعث این اختلال می گردند. الگوریتم های ماشین بردار پشتیبانی ، جنگل تصادفی و حداکثر احتمال از درجات متفاوتی از دقت برخوردار هستند. بررسی ها نشان داد که مدل SVM از بیشترین دقت برخوردار بوده و مدل MLC از کمترین میزان ضریب کاپا برخوردار می باشد. در سال ۲۰۲۲ میزان ضریب کاپا با بیشترین کاهش برای هر سه مدل همراه بوده که علت آن کاهش عمق دریاچه و ایجاد تداخل بین پوشش گیاهی و پهنه های آبی می باشد.

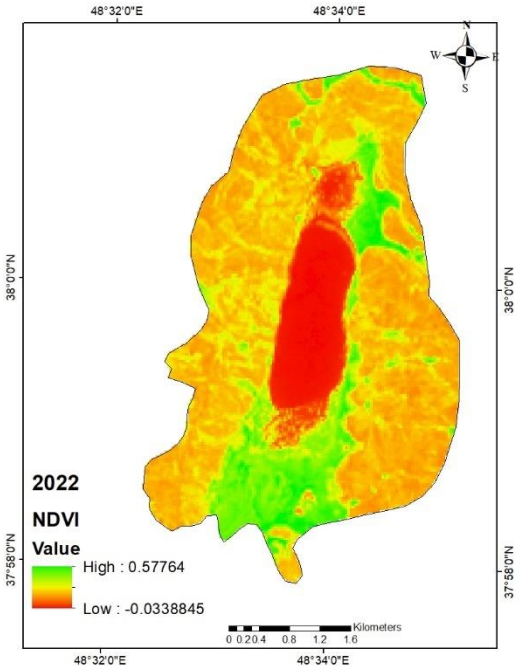
جدول(۸): مقادیر ضریب کاپا برای مدل های ماشین بردار پشتیبانی، جنگل تصادفی و حداکثر شباهت در بازه زمانی ۲۰۰۲ تا ۲۰۲۲

Table (8): Kappa coefficient values for support vector machine, random forest and maximum similarity models in the period from 2002 to 2022

مدل	۲۰۰۲	۲۰۱۳	۲۰۲۲
SVM	۰/۸۷	۰/۸۳	۰/۸۱
RTC	۰/۷۹	۰/۷۵	۰/۷۲
MLC	۰/۷۳	۰/۷۱	۰/۶۹

تغییرات در کاربری و پوشش زمین و همچنین پهنه های آبی می تواند تغییراتی را در دمای سطح زمین ایجاد نماید. لذا برای پی بردن به این تاثیرات، دمای سطح زمین بر اساس شاخص LST در دو ماهواره لندست ۵ و ۸ برای سال های ۲۰۰۲، ۲۰۱۳ و ۲۰۲۲ برآورد گردید. در ترسیم نقشه LST از شاخص های دمای بالای اتمسفر، نسبت پوشش گیاهی، میزان تشعشع و دمای روشنایی استفاده شده مقادیر NDVI در زیر نمایش داده شده است.

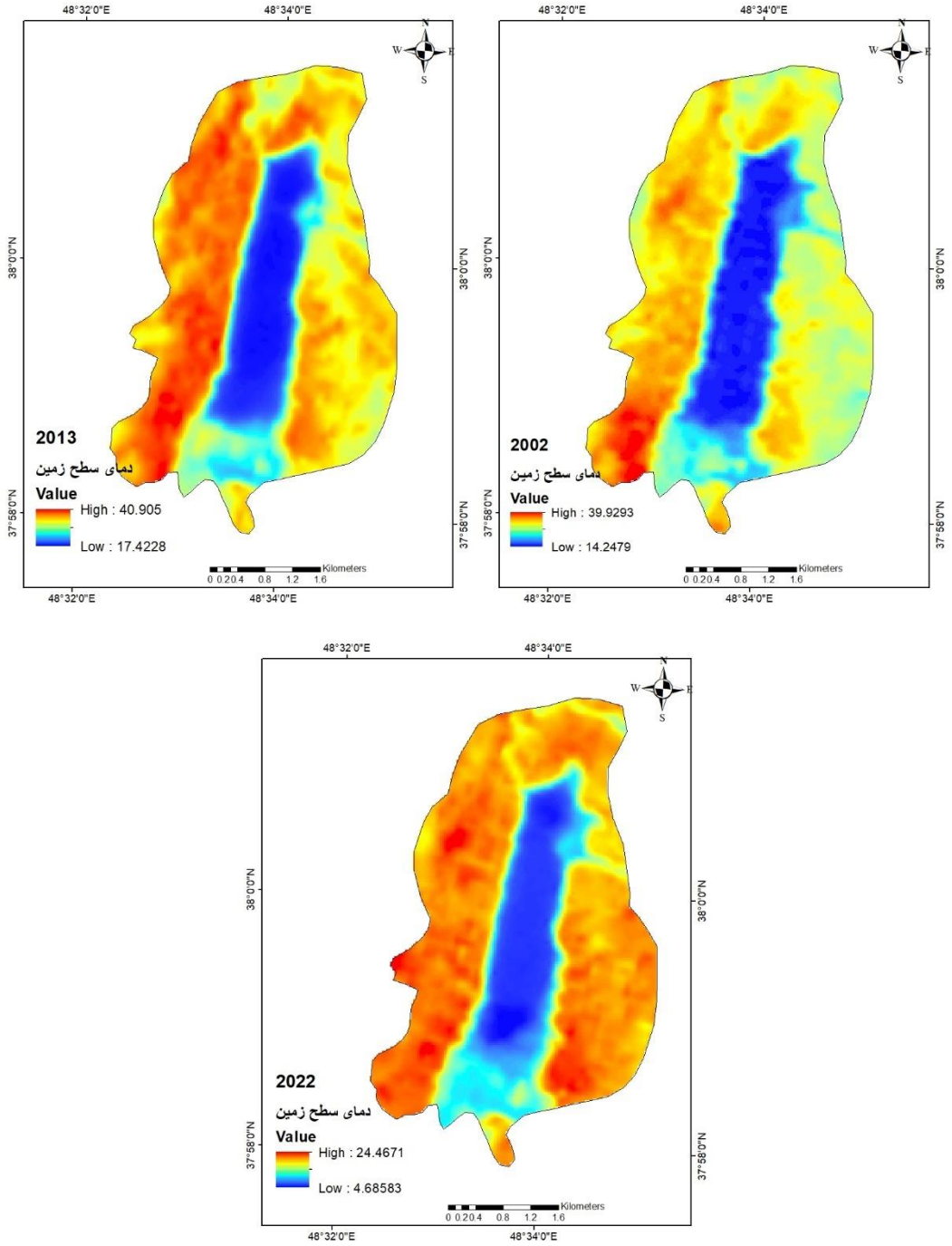




شکل (۶): مقادیر NDVI در منطقه مورد مطالعه در بازه زمانی ۲۰۰۲ تا ۲۰۲۲

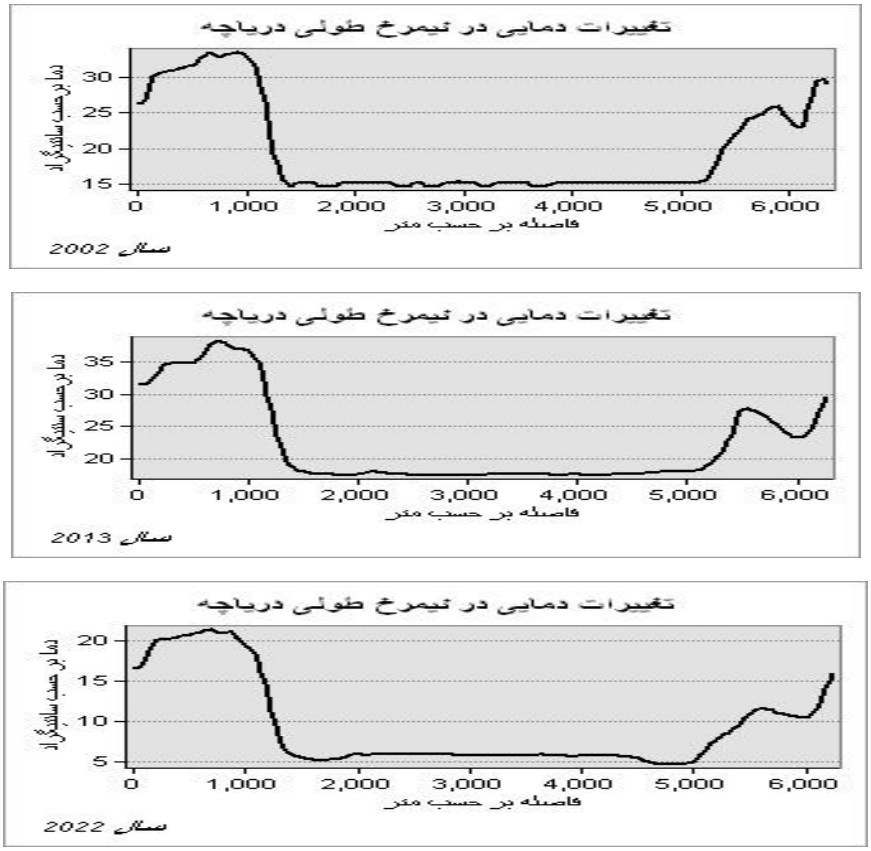
Figure (6): NDVI values in the study area in the period from 2002 to 2022

بر اساس هر یک از شاخص ها، مقادیر دمای سطح زمین برآورد گردیده و مشاهده شد که در روز ۱۴ جولای ۲۰۰۲ مقادیر حداقل دما و حداکثر دما به ترتیب معادل ۱۴/۲۴ و ۳۹/۹۲ درجه سانتیگراد بوده که کمترین دما در سطح دریاچه به ثبت رسیده است. در روز ۲۸ جولای ۲۰۱۳ کمترین و بیشترین دما معادل ۱۷/۴۲ و ۴۰/۹ درجه سانتیگراد بوده و مشاهده می شود که دمای حداقل نسبت به سال ۲۰۰۲ حدود ۳/۱۸ درجه سانتیگراد افزایش را نشان می دهد. مشاهده می شود که بخش غربی دریاچه نئور با افزایش دما مواجه گردیده است. در تاریخ ۱۳ جولای ۲۰۲۲ مقادیر حداقل و حداکثر به ترتیب معادل ۴/۶۸ و ۲۴/۴۶ درجه سانتیگراد بوده که کاهش قابل توجهی در دمای این سال مشاهده شده که علت آن رخداد اقلیمی لحظه ای بوده است. نیمرخی از تغییرات دمایی سال های ۲۰۰۲، ۲۰۱۳ و ۲۰۲۲ از سطح دریاچه نمایش داده شده است.



شکل (۷): مقادیر شاخص LST در بازه زمانی جولای ۲۰۰۲ تا ۲۰۲۲

Figure (7): LST index values in the period from July 2002 to 2022



شکل (۸): نیمرخ طولی از سطح دریاچه بر اساس تغییرات دمایی نقشه LST در سال های ۲۰۰۲، ۲۰۱۳ و ۲۰۲۲

.Figure (8): Longitudinal profile of the lake surface based on the temperature changes of the LST map in the years 2002, 2013 and 2022

نتیجه‌گیری

تغییرات اقلیمی و فعالیت های انسانی باعث تغییرات گسترده ای در پوشش و کاربری زمین شده و به شکل تخریب زمین، وقوع سیلاب، افزایش دمای سطح زمین و مخاطرات زیست محیطی بی شماری می گردد. کشور ایران با قرارگیری در منطقه خشک و نیمه خشک جهان از تغییرات اقلیمی قابل توجهی برخوردار گردیده است. عرض های بالاتر کشور ایران که از اقلیم معتدل تر با بارندگی بیشتر برخوردار هستند نیز از این رخدادها در امان نبوده است. دریاچه نئور در استان اردبیل و در جوار سواحل جنوب غربی دریای خزر نیز از فعالیت های انسانی و تغییرات اقلیمی متاثر شده است. برای بررسی تغییرات کاربری و پوشش زمین روش های مختلفی ارائه گردیده که از آن جمله می توان به روش های ماشین بردار پشتیبانی، جنگل تصادفی و مدل حداکثر احتمال اشاره کرد. لذا در این تحقیق از روش های فوق استفاده شده و روند تغییرات کاربری در محدوده دریاچه نئور برای سال های ۲۰۰۲، ۲۰۱۳ و ۲۰۲۲ براورد گردید. نتایج نشان داد که مقادیر برآورد شده توسط مدل ماشین بردار پشتیبانی و جنگل تصادفی از شباهت قابل توجهی برخوردار بوده اند. به عنوان مثال مقادیر پهنه آبی در سال ۲۰۰۲ در مدل ماشین بردار پشتیبانی معادل ۳/۵ کیلومتر مربع بوده و در مدل جنگل تصادفی این میزان معادل ۳/۵۳ کیلومتر مربع برآورد گردید یعنی تنها ۰/۰۳ کیلومتر مربع اختلاف مشاهده شده در حالی که مدل حداکثر احتمال این میزان را حدود ۳/۱۹ کیلومتر مربع برآورد نموده است. در تمامی مدل ها پهنه آبی با کاهش مواجه گردیده و پوشش گیاهی افزایش یافته که بیشترین میزان افزایش در ساحل جنوبی دریاچه مشاهده گردید. زمین های بایر با بیشترین مساحت کمترین تغییرات را شاهد بوده اند. نتایج نشان می دهد که سطح دریاچه نئور در بخش های جنوب غربی و شمال شرقی در حال کاهش می باشد.

References

Abdoli, M., Haghighi, M. (2020). Comparison of support vector machine and artificial neural network classification methods to produce landuse maps (Case study: Bojagh National Park), Journal of environmental research and technology, 8(5): 26-42.
Abedi, M., Norouzi, G & Bahroudi, A., (2012). Support Vector machine for multi classification of mineral prospectivity areas, computers and Geosciences. 46, 272-283.
Alemu, M.M., (2019). Analysis of Spatio-temporal Land surface temperature and normalized difference vegetation index changes in the Andassa Watershed, Blue Nile Basin, Ethiopia. J. Resour. Ecol. 10 (1), 77–85.
Aslami, F., Ghorbani, A., Sobhani, B., Panahandeh, M. (2015). Comparing artificial neural network, support vector machine and object-based methods in preparation land use/cover mapsusing landSat-8 images, Journal of RS and GIS for Natural Resources, 3(20), 1-14.
Belay, T & Mengistu, D.A., (2019). Land use and land cover dynamics and drivers in the Muga watershed, Upper Blue Nile basin, Ethiopia. Remote Sens. Appl.s: Soc. Environ. 15, 100249
Bokaie, M., Zarkesh, M.K., Arasteh, P.D & Hosseini, A., (2016). Assessment of urban heat island based on the relationship between land surface temperature and land use/land cover in Tehran. Sustain. Cities Soc. 23, 94–104.
Boser, B., Guyon, I & Vapnik, V., (1992). A training algorithm fotoptimal margin classifier, in: Proceedings of the Fifth Annual ACM Conference on Computational Learning Theory, Pittsburgh, 8, 144–152.
Breiman, L. (2001). Random forests Machine learning. 45, 5- 32.
Burges, C., (1998). A tutorial on support vector machines for pattern recognition, Data Mining Know. Discov. 2, 121–167.
Campvalls, G., Mooij, J & Scholkopf, B., (2010). Remote sensing feature selection by Kernel dependence measures. IEEE Geoscience and remote sensing Letters. 7, 587- 591.
Cortes, C & Vapnik, V., (1995). Support-vector network, Mach. Learn. 20, 273–297.
Cristianini, N & Shawe-Taylor, J, (2000). An Introduction to SupportVector Machines and Other Kernelbased Learning Methods, Cambridge University Press, 2000,
Damtea, W., Kim, D., & Im, S (2020). Spatiotemporal analysis of land cover changes in the chemoga basin, Ethiopia, using Landsat and google earth images. Sustainability 12 (9), 3607
Denil, M., Matheson, D & Freitas, N. (2014). Narrowing the Gap: random forest in theory and in practice, Proceeding of the 31st international conference on machine learning Beijing China, JMLR: W and P, Vol 32. 9 pages.
Dinka, M.O & Chaka, D.D., (2019). Analysis of land use/land cover change in Adei watershed, Central Highlands of Ethiopia. J. Water Land Dev. 41 (IV–VI), 146–153.
Foody, G., Boyd, D & Sanchez-Hernandez, C., (2007). Mapping a specific class with an ensemble of classifiers, Int. J. Remote Sens. 28, 1733–1746.
Foody, G & Mathur, A., (2006). The use of small training sets containing mixed pixels for accurate hard image classification: training onmixed spectral responses for classification by a SVM, RemoteSens. Environ. 103, 179–189.
Geo, Y., De Jong, K., Liu, F., Wang, X & Li, C., (2012). A comparison of Artificial neural networks and support vector machines on landcover classification, Springer verlag Berlin Heidelberg, ISICA, CCIS. 316, 531- 539.
Granian, H., Tabatabaei, S., Asadi, H & Carranza, E., (2016). Application of Discriminant Analysis support vector machine Gold Potential areas for further Drilling in the Sari Gunay Gold Deposit, NW Iran, natural Resource Research. 25(2), 145-159.
Hassen, E.E., & Assen, M (2017). Land use/cover dynamics and its drivers in Gelda catchment, Lake Tana
Hegazy, I.R., & Kaloop, M.R (2015). Monitoring urban growth and land use change detection with GIS and remote sensing techniques in Daqahlia governorate Egypt. Int. J. Sustain. Built Environ. 4 (1), 117–124.

watershed, Ethiopia. Environ. Syst. Res. 6 (1), 1–13.
Hord, R. M., (1982). Digital imageprocessing of Remotly sensed Data, Academic press, Newyork, 256.
Huange, C., Davis, L.S & Townshend, J., (2002). An assessment of support vector machines for land cover classification. International Journal of Remote sensing. 23, 725- 749.
Jahanbakhshi, F., Ekhtesasi, M R. (2019). Performance Evaluation of Three Image Classification Methods (Random Forest, Support Vector Machine and the Maximum Likelihood) in Land Use Mapping. Journal of water and soil science, 22 (4) :235-247
Jiange, X., Lin, M & Zhao, C., (2011). Woodland cover change assessment using decision tree, support vector machines and artificial neaural networks classification algorithms, Fourth international conference on intelligent computation Technology and Automation. 312- 315.
Kafy, A.A. (2021). Impact of Vegetation Cover Loss on Surface Temperature and Carbon Emission in a Fastest-Growing City, Cumilla, Bangladesh, 207. Building and Environment.
Kikon, N., Singh, P., Singh, S.K & Vyas, A., (2016). Assessment of urban heat islands (UHI) of Noida City, India using multi-temporal satellite data. Sustain. Cities Soc. 22, 19–28.
Li, K., Feng, M., Biswas, A., Su, H., Niu, Y & Cao, J., (2020). Driving factors and future prediction of land use and cover change based on satellite remote sensing data by the LCM model: a case study from Gansu province, China. Sensors 20 (10), 2757.
Louppe, G. (2014). Understanding random forests from theory to practice, university of Liege. Faculty of applied science. Department of Electrical engineering and computer science. 223 pages.
Mountrakis, G., Im, J & Ogole, C., (2011). Support vector machine in remote sensing a review. ISPRS Journal of photogrammetry and remote sensing. 13, 247- 259.
Oommen, T., (2008). An objective analysis of support vector machine-based classification for remote sensing. Mathematical Geosciences. 40, 409-424.
Pal, S & Ziaul, S.K., (2017). Detection of land use and land cover change and land surface temperature in English Bazar urban centre. Egypt. J. Remote Sens. Space Sci. 20 (1), 125–145.
Patel, S.K., Verma, P & Singh, G.S., (2019). Agricultural growth and land use land cover change in peri-urban India. Environ. Monit. Assess. 191 (9), 1–17.
Rajani, A & Varadarajan, S., (2021). Estimation and validation of land surface temperature by using remote sensing & GIS for Chittoor District, Andhra Pradesh. Turk. J. Comput. Math. Educ. 12 (5), 607–617.
Rajendran, P & Mani, K., (2015). Estimation of spatial variability of land surface temperature using Landsat 8 imagery. Int. J. Eng. Sci. 11 (4), 19–23.
Shanani Hoveyzeh, M., Zarei, H. (2016). Comparison of Three Classification Algorithms (ANN, SVM and Maximum Likelihood) for Preparing Land Use Map (Case Study: Abolabbas Basin). Iranian Journal of watershed management science, 10 (33) :73-84
Thakur, S., Mondal, I., Bar, S., Nandi, S., Das, P., Ghosh, P.B & De, T.K. (2020). Shoreline changes and its impact on the mangrove ecosystems of some Islands of Indian Sundarbans, North- East coast of India, J Clean Prod, 284, 124764. Elsevier.
Vapnik, V. N., 1995. The nature of statistical learning Theory, Springer Verlag, Newyork.

Hydrogeomorphology Vol. 11, No. 40, 2024

Research Paper

Comparative assessment of a semi-distributed hydrological model with an integrated model to simulate the runoff of Gomanab Chai basin

Mohammad Hossein Rezaei Moghaddam[1*], Davoud Mokhtari,[2] Meysam Skandari[3]

1. Professor of Geomorphology, Department of Geomorphology, University of Tabriz, Tabriz, Iran. rezmogh@tabrizu.ac.ir
2. Professor of Geomorphology, Department of Geomorphology, University of Tabriz, Tabriz, Iran. d_mokhtari@tabrizu.ac.ir
3. PhD student of Geomorphology, Department of Geomorphology, University of Tabriz, Tabriz, Iran. skandarimeysam@gmail.com

Keywords

SWAT, AWBM, simulation, hydrological processes, validation, hydrograph, Gomanab Chai, Iran.

Received: 2023/12/10

Accepted: 2024/04/09

Published: 2024/10/21

ABSTRACT

Hydrological models serve as effective tools for managing water sources and assessing water components. Although basin hydrological models have been developed, selecting suitable software for modeling specific areas remains challenging. Hence, it's essential to opt for software capable of simulating the hydrological cycle with a simple structure and minimal input parameters. In northwest Iran, AWBM and ARCSWAT software were employed for simulation. AWBM is a simplistic program estimating runoff using precipitation and evaporation indicators, while ARCSWAT is a semi-distributed software for continuous flow simulation. ARCSWAT necessitates various inputs, including geological, land use, and slope maps, along with precipitation, temperature, relative humidity, and radiation statistics. The runoff simulation results during calibration and validation periods were assessed using two statistical indices: Nash Sutcliffe Efficiency (NSE) and the coefficient of determination (R2). A comparison of the statistical indicators revealed NSE values of 0.83 and 0.7 for calibration and validation periods, respectively, and R2 values of 0.83 and 0.8 for calibration and validation periods, respectively, for the semi-distributed SWAT model. In contrast, for the AWBM integrated model in the basin, NSE values were 0.63 and 0.48, and R2 values were 0.48 and 0.48 for calibration and validation periods, respectively, indicating better results in runoff simulation at the monthly time scale.

* Corresponding Author: Rezaei Moghaddam, M.H.
E-mail: rezmogh@tabrizu.ac.ir
Reference to this article: Rezaei Moghaddam, M.H; Mokhtari, D; Skandari,M. (2024) Evaluation of a semi-distributed hydrological model with an integrated model to simulate the runoff of Gomanab Chai basin. *Hydrogeomorphology*, 11(40): 22 – 39.
DOI:10.22034/hyd.2024.59474.1715

Copyright: ©2024 by the authors.
Publisher: University of Tabriz

Introduction

Runoff simulation and the estimation of river flow are pivotal concerns within water engineering and hydrology, crucial for managing runoff and addressing water scarcity crises (Ghoreishi Ghareh Takan et al., 2022). Simulating precipitation and runoff entails grappling with complex, nonlinear hydrological phenomena influenced by temporal, spatial, morphological, geomorphological, vegetation, and climatic factors (Vidyarthi and Jain, 2022). Researchers commonly employ various software tools for this purpose, including the RRL suite, encompassing programs like AWBM, Sacrament, SimHyd, SMAR, and the Tank model, which specialize in daily runoff simulation (Yonesi et al., 2020). Additionally, the SWAT software is utilized for simulating rainfall and runoff in areas with intricate characteristics. SWAT integrates with ArcGIS, leveraging soil maps, land use data, slope information, and climatic/hydrometric station records to simulate and extract runoff (Sommerlot et al., 2013). Previous studies have highlighted the efficacy of both AWBM and SWAT models in runoff simulation. AWBM boasts a simpler structure and parameterization, requiring only rainfall and evaporation data for runoff simulation. In contrast, the semi-distributed SWAT model necessitates numerous inputs and parameters for calculating runoff and other hydrological processes. This research aims to assess and compare the accuracy of the integrated AWBM and semi-distributed SWAT models in simulating monthly runoff in the Gomanab Chai catchment area.

Methodology

The AWBM model, a conceptual rainfall-runoff model, generates daily-scale runoff based on input data including precipitation, potential evaporation, and transpiration (Boughton, 2004). It features three distinct surface reservoirs with varying capacities and an unlimited capacity subsurface reservoir (Boughton, 2004, Yu and Zu 2015). Input data for the AWBM model include daily discharge, potential evaporation, transpiration, and precipitation. In this study, precipitation and potential evaporation data were obtained from a meteorological station within the basin, while discharge data came from a hydrometer station at the basin outlet, sourced from the provincial water resources management department. The model's warm-up period spanned from January 1, 2000, to September 1, 2001, with calibration from September 1, 2001, to December 2013, and validation from 2014 to 2018. General automatic recalibration was performed using the Sutcliffe-Nash coefficient as the objective function for model optimization.

SWAT, a process-based distributed parameter simulation model, operates on a daily time step, dividing watersheds into subwatersheds treated as single units. Integrated with the USEPA BASINS framework, SWAT enables automatic watershed descriptions based on a Digital Earth Model (DEM). Meteorological data, including rainfall and temperature from three stations, were entered into the SWAT model daily for runoff simulation. The data spanned from 2000 to 2018 and included specifications and long-term statistical parameters from meteorological reference stations.

Results and Discussion

Following the input of daily rainfall, temperature, evaporation, and runoff data into the model, along with the specification of calibration and validation periods, runoff simulation for the Gomanab Chai basin was conducted using the AWBM model. Evaluation results of the AWBM and SWAT models during the recalibration phase, considering the Nash Sutcliffe coefficient and coefficient of determination (R2), revealed that the SWAT model outperformed the AWBM model in terms of accuracy during the recalibration period. Specifically, the Nash Sutcliffe coefficient and R2 determination coefficient for the SWAT model were determined to be 0.83 and 0.83, respectively. In contrast, the corresponding values for the AWBM model during this period were calculated as 0.7 and 0.63, respectively.

Conclusions

This research aimed to investigate and evaluate the performance of two hydrological models, AWBM and SWAT, in simulating monthly runoff in the Gomanab Chai basin. The validation period spanned from 2001 to 2013, with further validation conducted from 2014 to 2018. Based on the analysis of two statistical indicators and comparison of simulated and observed runoff hydrographs, the following conclusions are drawn:

1. The Nash Sutcliffe coefficient and coefficient of determination (R2) for the SWAT model were calculated as 0.83 and 0.83, respectively, during the validation period, and as 0.7 and 0.8, respectively, during the calibration period. In contrast, for the AWBM model, these indices were determined as 0.7 and 0.63, respectively, during the validation period and as 0.5 and 0.48, during the calibration period

2. The semi-distributed SWAT model, which divides the basin into multiple sub-basins and considers various parameters such as soil type, land use, basin slope, rainfall, and temperature, exhibited superior performance compared to the integrated AWBM model in the Gomanab Chai basin. This enhanced performance resulted in a more accurate simulation of runoff, particularly on a monthly time scale.

مقاله پژوهشی

ارزیابی تطبیقی مدل هیدرولوژیکی نیمه توزیعی با مدل یکپارچه در جهت شبیه سازی رواناب حوضه گمناب چای

محمدحسین رضائی مقدم[1*]، داود مختاری[2]، میثم اسکندری[3]

۱- استاد گروه ژئومورفولوژی، دانشکده برنامه ریزی و علوم محیطی دانشگاه تبریز، تبریز، ایران rezmogh@tabrizu.ac.ir
۲- استاد گروه ژئومورفولوژی، دانشکده برنامه ریزی و علوم محیطی دانشگاه تبریز، تبریز، ایران d_mokhtari@tabrizu.ac.ir
۳- دانشجوی دکتری گروه ژئومورفولوژی، دانشکده برنامه ریزی و علوم محیطی دانشگاه تبریز، تبریز، ایران skandarimeysam@gmail.com

کلیدواژه‌ها

SWAT AWBM
شبیه سازی،
فرآیندهای هیدرولوژیکی،
اعتبار سنجی،
هیدروگراف،
گمناب چای،

تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۰۹/۱۹
تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۰۱/۲۱
تاریخ انتشار: 1403/07/30

چکیده

مدل های هیدرولوژی ابزار موثری برای کنترل منبع آب و همچنین شاخص های اجزای آبی از اساسی ترین روش پژوهش است .امروزه مدل های هیدرولوژی حوضه توسعه یافته اند، اما انتخاب نرم افزار مناسب جهت مدلسازی یک محدوده خاص همیشه یک چالش بوده است. بنابراین، انتخاب نرم افزاری که بتواند چرخه فرایند هیدرولوژی را در عین ساختار ساده و با استفاده از حداقل عوامل، به‌خوبی شبیه‌سازی کند امری ضروری می‌باشد که در این راستا در پژوهش حاضر رواناب ماهانه حوضه گمناب چای(کومور چایی) واقع در استان آذربایجان شرقی و در شمال غرب ایران به‌وسیله دو نرم افزار AWBM و ARCSWAT شبیه‌سازی شد. نرم افزار AWBM یک برنامه لامپ می‌باشد که برآورد رواناب را در محدوده مورد مطالعاتی با بهره گیری از دو شاخص بارش و تبخیر انجام می‌دهد و از طرف دیگر نرم افزار ARCSWAT یک نرم افزار نیمه توزیعی بوده که بصورت پیوسته جریان را شبیه‌سازی می کند. این نرم افزار در این راستا نیازمند یکسری اطلاعات ورودی از جمله نقشه و آمار (خاکشناسی، کاربری اراضی، شیب) منطقه بوده است. همچنین جهت استخراج جریان و سایر شاخص ها نیازمند آمار بارش،دما، رطوبت نسبی وتابش می باشد. نتایج شبیه‌سازی رواناب در دوره های واسنجی و اعتبارسنجی با استفاده از دو شاخص آماری ناش ساتکلیف (NSE) و ضریب تعیین R^2 مورد ارزیابی قرار گرفت. با مقایسه نتایج شاخص‌های آماری مورد استفاده در مطالعه مشخص شد که مدل نیمه توزیعی SWAT بنا به مقادیر NSE برای بازه کالیبراسیون ۰,۸۳و صحت سنجی۰,۷بوده همچنین مقدار R^2 نیز برای کالیبره۰,۸۳ و صحت سنجی۰,۸بوده که نسبت به مدل یکپارچه AWBM در حوضه گمناب چای با در نظر گرفتن مقادیر NSE برای بازه کالیبراسیون ۰,۷و صحت سنجی۰,۵ بوده همچنین مقدار R^2 نیز برای کالیبره۰,۶۳ و صحت سنجی۰,۴۸ نتایج بهتری در شبیه‌سازی رواناب در مقیاس زمانی ماهانه می‌باشد.

*نویسنده مسئول: محمدحسین رضائی مقدم
رایانامه: rezmogh@tabrizu.ac.ir

ارجاع به این مقاله: رضائی مقدم، محمد حسین؛ مختاری، داود؛ اسکندری، میثم (۱۴۰۳). ارزیابی تطبیقی مدل هیدرولوژیکی نیمه توزیعی با مدل یکپارچه در جهت شبیه سازی رواناب حوضه گمناب چای. هیدروژئومورفولوژی، دوره11 (40): 39 – 22.
DOI:10.22034/hyd.2024.59474.1715

Copyright: ©2024 by the authors.

Publisher: University of Tabriz

مقدمه

یکی از مهم ترین مسائل که همواره در مهندسی آب و هیدرولوژی مورد توجه پژوهشگران بوده است، شبیه سازی رواناب و برآورد دبی رودخانه به منظور مدیریت رواناب و برنامه ریزی در جهت کنترل بحران کم آبی بوده است. کاهش منابع آب شیرین قابل در دسترس، پیش بینی دقیق رفتار هیدرولوژی منطقه و برآورد دبی رودخانه را از اهمیت زیادی برخوردار کرده است. یک مبحث مهم در راستای پیش بینی رواناب و مدیریت جریان، بررسی و پیش بینی فرایند بارش و رواناب بوده است. اگر نرم افزارهایی که ارائه شده اند دارای الگوی مناسب جهت شبیه سازی باشند که مقدار آن ها واقع بینانه باشد ، تخمین ها و پیش بینی ها نیز دقیق تر خواهند بود که به تبع آن اثرات اقتصادی معنی داری به همراه خواهند داشت(بلواسی۱۳۹۹: ۳۳۲.، اسدی،۱۳۹۰:۴۲). لازم به ذکر است که بخشی از رواناب ناشی از ذوب برف است و در صورتی که ظرفیت نفوذ آب به داخل خاک بیش تر باشد بر روی زمین جریان یافته و به منابع آب سطحی می پیوندد(نوری۱۳۹۷: ۷۷۵.، علیزاده۱۳۸۴:۲۴۵). مدلسازی چرخه بارش و رواناب حاصل از آن یکی از پیچیده ترین و پویاترین پدیده غیرخطی هیدرولوژی بوده که تحت تأثیر عواملی چون تغییرات زمانی، مکانی، مورفولوژی، ژئومورفولوژی، پوشش گیاهی و ویژگی های اقلیمی حوضه قرار دارد (ویدیارتی[1] و همکاران۱:۲۰۲۲). یکی از مسائل مهم هیدرولوژی دانستن رابطه بین بارش و رواناب است(نوری۱۳۹۷: ۷۷۵.، ادیب ۱:۲۰۱۰) از این جهت که کاربرد ویژه ای در پیش بینی های مربوط به سیلاب داشته است. با افزایش دقت و کارآمدی مدل های کامپیوتری در جهت پیش بینی رواناب رودخانه باعث بهبود مدل سازی پیش بینی رواناب، مدیریت و برنامه ریزی گشته است(خداخواه۱:۲۰۲۲). مدل های شبیه سازی فرایند هیدرولوژی با توان بالقوه خود، ابزارهای کار آمدی به ویژه در شرایط تغییرات آب و هوایی هستند(احمدی و همکاران۱:۲۰۲۰). یکی از نرم افزارهای مورد استفاده پژوهشگران در راستای برآورد بارش رواناب حوضه آبریز بهره گیری از نرم افزار Rainfall Runoff است. این برنامه که استرالیایی بوده و از چند مجموعه برنامه شامل AWBM، Sacrament، SimHyd، SMAR و مدل Tank می باشد که داده های روزانه رواناب را شبیه سازی می کند(یونسی و همکاران۲۰۲۰). یکی دیگر از برنامه های مناسب در راستای مدلسازی فرایند بارش رواناب مناطق حساس با خصوصیات پیچیده منطقه استفاده از نرم افزار SWAT می باشد که قابلیت کاربرد در نرم افزار Arc GIS داشته به نحوی که با بکارگیری نقشه خاک، کاربری اراضی، شیب و تعداد زیاد ایستگاه اقلیمی و هیدرومتری قابلیت شبیه سازی و استخراج رواناب را داشته است(نظری پویا ۱۳۹۴: ۱۰۰.، سومرلات[2]،۱:۲۰۱۳). تا کنون پژوهش های زیادی در زمینه شبیه سازی رواناب و پیش بینی آن با استفاده از مدل هیرولوژیکی انجام شده که در ادامه به بیان نتایج پرداخته شده است. در بررسی های انجام شده در مقایسه کارایی مدل های بارش-رواناب AWBM، SACRAMENTO، SIMHYD، SMAR و TANK بسته نرم افزار RRL در شبیه سازی رواناب خروجی حوضه آبریز نود گلستان، امامه بکار برده شده است. نتایج تحقیق محققان نشان داد که مدلawbm بهترین کارایی را در بین این مدل ها دارا است (مدرسی ۱۳۹۸: ۵۰.، رستمی خلج و همکاران،۱:۱۳۹۵). در پژوهشی در جهت ارزیابی توانایی دو مدل AWBM و SimHyd در مدل‌سازی جریان روزانه دو حوضه کوچک جنگلی (حوضه Fernow در غرب ویرجینیا آمریکا و حوضه Rimbaud در آلپ فرانسه) به کاربردند؛ نتایج نشان داد که کارکرد مدل AWBM در شبیه‌سازی بیلان آب در هر دو حوضه بهتر از مدل SimHyd بود و کاربرد هیچ‌کدام از دو مدل برای حوضه Fernow موفقیت‌آمیز نبود(یو[3] و ژو[4] ۱:۲۰۱۵). رواناب زیرحوضه های زاینده رود و کارون با بهره گیری از یکی برنامه های Rainfall Runoff به نام AWBM مورد مطالعه و بررسی قرار گرفته و جهت برآورد رواناب داده هایی که بکار

1- Vidyarthi
2-Sommerlot
3- Yu
4-Zhu

بردند شامل اطلاعات بارش و تبخیر منطقه برای یک دوره آماری ۲۰ ساله بوده است. از انجایی که می بایست خروجی مدل بهینه باشد و به نتایج مناسب دست یابند با بهینه سازی پارامترهای این نرم افزار، دقت و کارایی آن را در جهت برآورد رواناب با در نظر گرفتن شاخص ارزیابی نتایج شبیه سازی با براوردی به نام ضریب همبستگی مورد ارزیابی قرار دادند. نتایج نشان از دقت مناسب مدل بوده است(شریفی۱:۲۰۰۶). کارایی مدل AWBM وSimHyd در مدل سازی بارش-رواناب منطقه ای به نام نازلوچای واقع در استان آذربایجان غربی مورد مطالعه و تحقیق قرار گرفت(بهمنش۱:۲۰۱۴). برای ارزیابی نتایج بدست آمده از مدل ها، شاخص نش ساتکلیف(NSE) و ضریب همبستگی (R^2)مورد استفاده قرار گرفت. نتایج خروجی مدل ها، حاکی از دقت مناسب برنامه با شرایط منطقه مورد مطالعه دارند. در حوضه آبریز دریاچه ارومیه، در تحقیقی مرتبط با موضوع این مقاله در بررسی بارش-رواناب منطقه از مدل AWBM استفاده گردیده است. در نهایت نتایجی که به دست آمد نشان داد که این مدل به علت سهل‌الوصل بودن پارامترهای ورودی از سایر مدل های بارش-رواناب کارآمدتر می باشد(شاهویی ۱۴۰۱: ۵۳-۵۹). عدم قطعیت معیار ها و پارامترهای مدل AWBM در حوضه های بدون آمار و دارای آمار مورد بررسی قرار گرفته است. نتایج حاکی از این بوده است که که عدم قطعیت در خروجی مدل AWBM می تواند متغییر بوده از ۱,۳ درصد تا ۷۰ درصد ناشی از داده های بارش متفاوت، از ۵,۷ درصد تا ۱۱ درصد ناشی از طول داده های واسنجی متفاوت و از ۰,۲ درصد تا ۶ درصد ناشی از به کارگیری روش های بهینه سازی متفاوت در واسنجی مدل باشد (قربانی فرد ۱:۱۴۰۰،. هاگ[1]۱:۲۰۱۴). در تحقیقی عملکرد سه مدل هیدرولوژی SWAT، IHACRES وSimHyd در جهت برآورد رواناب قره سو در آذربایجان غربی استفاده شده است. معیارهای ارزیابی در این مطالعه، ضریب نش ساتکلیف، ضریب همبستگی و جذر مربعات خطا بود. شبیه سازی نشان داد مدل SWAT با ضریب نش ساتکلیف ۰,۸ و معیار خطا ۱,۲ برای دوره واسنجی و ضریب نش ساتکلیف ۰,۷۳ و معیار خطای ۱,۱ برای دوره اعتبار سنجی بهترین عملکرد را نسبت به سایر مدل دارد (گودرزی۱:۲۰۱۲). ارزیابی نتایج خروجی از تحقیقی با عنوان، رواناب ماهانه محدوده مطالعاتی روانسر سنجابی، واقع در استان کرمانشاه با دو مدل AWBM و SWAT بیانگر آن بود که مدل SWAT دارای نتایج بهتری در شبیه‌سازی رواناب ماهانه حوضه موردنظر است؛ به نحوی که میزان شاخص ارزیابی نش ساتکلیف برای این مدل در دوره کالیبراسیون و صحت نتایج به ترتیب ۰/۷ و ۰/۸ و برای مدل AWBM به ترتیب ۰/۶۳ و ۰/۵ تعیین شد (شاهویی و پرهمت ۱:۱۳۹۸). نرم افزار ARCSWAT جهت استخراج جریان و آورد رسوبی محدوده بهشت آباد واقع در کارون شمالی استفاده شده است. خروجی این نرم افزار جهت براورد مقدار متوسط جریان به صورت ماهانه در مرحله کالیبراسیون و صحت نتایج بسیار مناسب بود به نحوی که مشخص گشت که مدل در برآورد جریان خیلی مناسب تر از استخراج رسوب عمل کرده است (رستمیان و همکاران۱:۲۰۰۸). با بهره گیری از۱۵ مدل و نرم افزار شاخص هیدروکلیماتولوژیکی، نرم افزار ARCSWAT به عنوان مناسب ترین نرم افزار انتخاب شده است(ضیایی ۱۳۹۸: ۷۲،. حسینی ۱:۲۰۱۱). جهت برآورد رواناب ماهانه، در مقاله پژوهشی خود جهت استخراج رواناب حوضه قره سو واقع در استان کرمانشاه با بهره گیری از نرم افزار ARCSWAT طبق اطلاعات آماری جمع آوری شده به صورت ماهیانه انجام داد. خروجی این نرم افزار بیانگر کارایی مناسب این نرم افزار جهت استخراج بیلان آبی و همچنین تاثیر اقدامات کنترلی و همچنین تغییر اقلیم بر میزان جریان در حوضه قره سو هست. (حسینی و اشرف۱:۲۰۱۵) در مقاله پژوهشی خود با استفاده از نرم افزار ARCSWAT جهت شبیه سازی رواناب حوضه طالقان نشان داد که این نرم افزار برای دوره های سالانه و ماهانه کارایی مناسبی دارد اما برای دوره های روزانه از کیفیت خوبی برخوردار نیست. رضائی مقدم و همکاران(۱:۱۴۰۰) در پژوهشی تحت بررسی بیلان جریان و انتقال رسوب محدوده مورد مطالعاتی شهرچای با بهره گیری از نرم افزار ARCSWAT و همچنین الگوریتم SUFI2 در نرم افزار SWAT CUP نشان

1-Haque

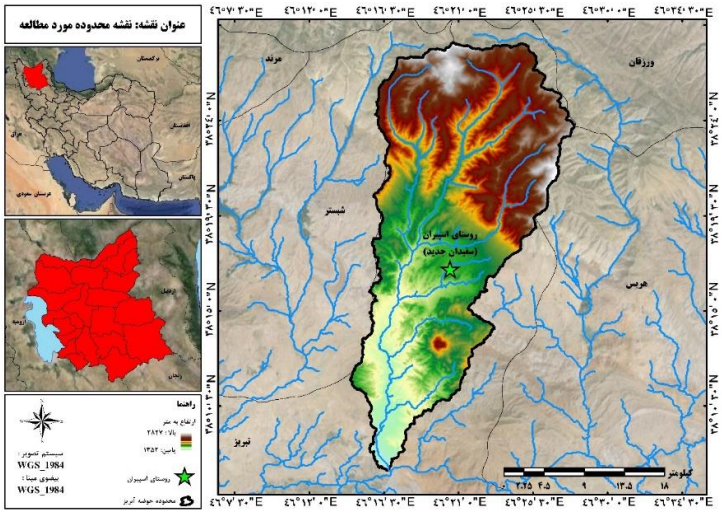
دادند که مدل توانایی خوبی در جهت شبیه سازی دبی جریان و انتقال رسوب را دارد. در پژوهشی دیگر توسط رضائی مقدم و همکاران در سال(۱۴۰۱) با بررسی تاثیر پوشش گیاهی بر میزان جریان و اورد رسوبی برای یک دوزه آماری ۲۹ ساله توسط نرم افزار ARCSWAT در جهت شبیه سازی منطقه مطالعاتی اوجان چای نشان دادند که تغییر کاربری و پوشش گیاهی باعث ازدیاد رواناب و به دنبال آن رسوب می گردد. بعد از اجرای مدل SWAT در بالادست حوضه آبریز خنچه (بالادست رودخانه سوک چم)شبیه سازی رواناب حوضه های فاقد آمار مبتنی بر خصوصیات فیزیکی حوضه و با رویکرد منطقه بندی فراهم گردید(صیاد و همکاران ۱۳۹۹:۱)

براساس تحقیق و مرور بر پژوهش های انجام شده در زمینه نرم افزارهای AWBM و SWAT به این نتیجه دست یافتیم که دو نرم افزار ذکر شده جهت برآورد رواناب دارای دقت مناسبی می باشند. اصول کار با نرم افزار AWBM و همچنین پارامترهای این نرم افزار در راستای استخراج بارش رواناب بسیار ساده تر از نرم افزارSWAT بوده است. به نحوی که تنها داده های مورد نیاز آن جهت استخراج جریان میزان اطلاعات بارش و تبخیر می باشد. این در حالی است که نرم افزار SWAT نیازمند اطلاعات بیش تر از منطقه مورد مطالعاتی و آمارهای اقلیمی می باشد تا بتواند رواناب و سایر شاخص های هیدرولوژیکی را استخراج کند. هدف از انجام این پژوهش بررسی و ارزیابی دقت مدل های یکپارچه AWBM و نیمه توزیعی SWAT در شبیه سازی رواناب ماهیانه در حوضه آبریز گمناب چای می باشد.

اصول و روش تحقیق

منطقه مورد مطالعه

منطقه ای که تحقیق حاضر در آن انجام گرفته است، حوضه آبریز گمناب چای(کومور چایی) است که از نظر موقعیت سیاسی و جغرافیایی در استان آذربایجان شرقی و در شمال غرب ایران قرار دارد. این حوضه بین مختصات ″۵۸ ′۰۶ °۳۸ تا ″۳۸ ′۲۸ °۳۸ عرض شمالی و ″۱۲ ′۱۵ °۴۶ تا ″۰۲ ′۲۸ °۴۶ طول شرقی قرار گرفته است (شکل ۱). حوضهٔ آبریز گمناب چای با مساحت حدود ۴۲۰ کیلومترمربع یکی از زیرحوضه های حوضه آبریز دریاچه ارومیه محسوب می شود. طبق طبقه بندی اقلیمی دومارتن، نیمه خشک واقع بوده و میانگین بارش سالانه آن حدود ۳۰۰ میلی متر (ادارهٔ کل هواشناسی استان آذربایجان شرقی(است که حداکثر مقدار آن در بهار و حدود ۱۰۰ میلی متر نیز در زمستان اتفاق می افتد. حداکثر ارتفاع منطقه ۲۷۷۴ متر در ارتفاعات شمالی منطقه و حداقل ارتفاع نیز در خروجی حوضه برابر ۱۳۸۴ متر از سطح دریاست.



شکل(۱) منطقه مورد بحث و پژوهش

Fig. (1): The area under discussion and research

نرم افزار **AWBM**

نرم افزار AWBM یک نرم افزار براساس اصول مفهومی شبیه سازی بارش درجهت استخراج جریان است؛ این برنامه با بهره گیری از اطلاعات آماری میزان بارش و همچنین مقدار تبخیر _تعرق، دبی جریان را در مقیاس روزانه تولید می‌کند (باتون[1]:۲۰۰۴) این مدل دارای سه مخزن سطحی مختلف و غیرمرتبط با مساحت‌های متفاوت و یک مخزن زیرسطحی با گنجایش نامحدود است (یو و ژون[2]:۲۰۱۵)گنجایش رطوبت مخازن سطحی با (*C1* ، *C2* و *C3*) و مساحت جزئی هرکدام از مخازن سطحی با (*A1*، A2 و A3) نشان داده می‌شود. میانگین گنجایش مخازن سطحی تنها پارامتری است که مقدار رواناب حوضه را تعیین می‌کند. با توجه به داده‌های بارش و تبخیر، بیلان آب در هر گام زمانی برای هرکدام از این مخازن به شکل جداگانه محاسبه می شود، اگر میزان آب در هر مخزن بیشتر از گنجایش مخزن باشد؛ مقدار مازاد تبدیل به رواناب می‌شود (شکل ۲). بخشی از این رواناب جریان پایه را شارژ می کند و بخشی به رواناب سطحی تبدیل می‌شود. مقدار جریان پایه و رواناب سطحی توسط شاخص جریان پایه (*BFI*) تخمین زده می‌شود؛ که مقداری بین (۰-۱) دارد. تخلیه از مخزن رواناب سطحی و جریان پایه از روابط زیر تعیین می‌شود (هاگ[3]و همکاران:۲۰۱۴).

$$\text{Baseflow recharge} = \text{BFI} \times \text{Excess} \quad (1)$$

$$\text{Surface runoff recharge} = (1\text{-BFI}) \quad (2)$$

مقادیر جریان‌پایه و رواناب‌سطحی به ترتیب با استفاده از معادلات شماره (۳) و (۴) تخمین زده می‌شود.

$$\text{Baseflow discharge} = (1\text{- kb}) \times \text{Bs} \quad (3)$$

$$\text{Surface runoff discharge} = (1\text{- ks}) \times \text{Ss} \quad (4)$$

منظور از Bs و Ss مقدار رطوبت در مخزن جریان پایه و جریان سطحی است. Kb و Ks به ترتیب ثابت کاهش رواناب سطحی و جریان پایه می‌باشند (هاگ و همکاران ۲۰۱۴:۱) مدل AWBM دارای ۹ پارامتر است؛ که در جدول شماره ۱ نشان داده شده‌اند. دو پارامتر اول آن نشان‌دهنده مساحت جزئی هرکدام از مخازن سطحی‌می‌باشند و از آنجا که جمع اجزاء مساحت‌ها برابر ۱است؛ بنابراین تنها دو پارامتر مربوط به مساحت در طول واسنجی ارزیابی می‌شود و سومی به‌صورت خودکار تعیین می‌گردد. سه پارامتر دیگر مدل مربوط به گنجایش‌مخازن هرکدام از این سه مخزن است و سه پارامترباقی‌مانده (*BFI*، *Kb* و *Ks*) زمان رواناب را تعیین می‌کنند.برای به دست آوردن مقادیر نهایی این پارامترها باید مدل با استفاده ازسریهای زمانی دبی واسنجی شود. پارامترهای مدل AWBM را می‌توان به دو روش دستی و خودکار واسنجی کرد. برای واسنجی خودکار این مدل دو گزینه سفارشی، عمومی وجود دارد. در روش واسنجی خودکار عمومی این مدل ۷ الگوریتم بهینه سازی وجود دارد. در این روش می‌توان دو هدف برای واسنجی انتخاب کرد برای هدف اولیه ۸ گزینه تابع هدف وجود دارد این ۸ گزینه تابع شامل؛ضریب ناش ساتکلیف ، مجموع مربعات خطا، جذر مربعات خطا (*RMSE*)، جذر میانگین مربعات اختلاف انحراف، مقدار قدر مطلق انحراف، جمع مربعات ریشه، جمع مربعات تفاضل از جذر مربعات و جمع تفاضل قدر مطلق از سیستم. همچنین برای هدف ثانویه ۴ گزینه تابع هدف وجود دارد شامل: بدون انتخاب، درصد تفاضل‌رواناب، منحنی تداوم جریان، روش جریان پایه تعریف می‌شود، هنگامیکه طبق این معادله میزان رطوبت در یک از سه ذخیره سطحی منفی شود، نشاندهنده بالا بودن میزان تبخیر و تعرق نسبت به آب در دسترس میباشد، میزان ذخیره سطحی به وسیله مدل صفر میگردد و هنگامی که میزان رطوبت در ذخیره

1-Boughton
2 -Yu and Zu
3-Haque

سطحی بیشتر از ظرفیت آن گردد، میزان مازاد بر ظرفیت ذخیره به رواناب تبدیل میشود و ذخیره سطحی مجدد به میزان ظرفیت رطوبتی آن تنظیم میشود(پودگر[۱]:۲۰۰۴).

جدول ۱. مقادیر اولیه و نهایی پارامترهای مدل AWBM برای حوضه گمناب چای

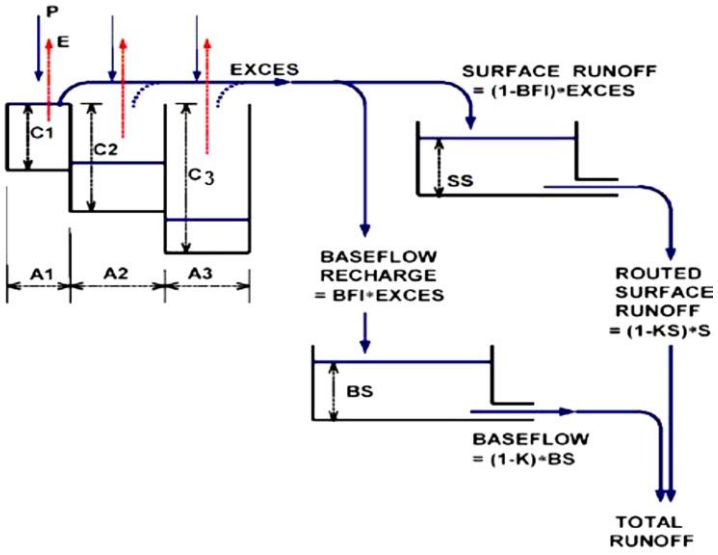
Table 1. Initial and final values of AWBM model parameters for Gomnab Chai basin

پارامتر	توضیحات	حد پایین	حد بالا	مقدار نهایی
A1	مساحت جزئی کوچک‌ترین مخزن	۰	۱	۰/۹۵
A2	مساحت جزئی مخزن متوسط	۰	۰/۷۱	۰/۰۳
BFI	شاخص جریان پایه	۰	۱	۰/۴۴
C1	گنجایش مخزن سطحی کوچک ترین مخزن (mm)	۰	۵۰	۱۸/۲۳
C2	گنجایش مخزن سطحی متوسط (mm)	۰	۲۰۰	۱۹۹/۲۱
C3	گنجایش مخزن سطحی (mm)	۰	۵۰۰	۳۳۵/۲۹
K_b	ثابت کاهش جریان پایه	۰	۱	۰/۴۱
K_s	ثابت کاهش جریان سطحی	۰	۱	۱

تنظیم، واسنجی و صحت‌سنجی مدل AWBM

داده‌های ورودی مدل AWBM داده‌های روزانه دبی، تبخیر و تعرق پتانسیل و بارش می‌باشند. در این تحقیق داده‌های بارش و تبخیر پتانسیل ایستگاه هواشناسی موجود در حوضه و داده‌های دبی ایستگاه هیدرومتری که در خروجی حوضه واقع‌شده است مورد استفاده قرار گرفت؛ این داده‌ها از اداره مدیریت منابع آب استان اخذ گردید. دوره گرم کردن مدل از اول ژانویه۲۰۰۰ تا اول سپتامبر ۲۰۰۱ انتخاب شد. واسنجی مدل AWBM با استفاده از مجموعه نرم افزار بارش رواناب میتواند به دو صورت دستی و خودکار صورت پذیرد . نحوه واسنجی دستی مدل بدین صورت است که پس از حصول نتایج اولیه به وسیله مدل با تغییر پارامترها و کاربر هیدروگراف شبیه سازی شده جریان دچار تغییرات میشود و میتوان با این سعی و خطا و همچنین مقایسه هیدروگراف های شبیه سازی شده و مشاهدهای به مقادیر بهینه پارامترها دست یافت. نحوه دیگر واسنجی مدل AWBM به صورت خودکار میباشد که در این مطالعه پس از واسنجی دستی و همچنین استفاده از سایر الگوریتم های موجود در مجموعه نرمافزاری بارش رواناب با استفاده از الگوریتم SCE-2UA و به صورت خودکار اقدام به واسنجی مدل در سالهای ۲۰۰۱ تا ۲۰۱۳ در مقیاس زمانی روزانه شد. اعتبار سنجی مدل نیز با استفاده از دادههای رواناب روزانه حوضه گمناب چای در سالهای۲۰۱۴ و۲۰۱۸ صورت گرفت.

[۱]Podger



شکل۲: ساختار مدل AWBM

Figure 2: AWBM model structure

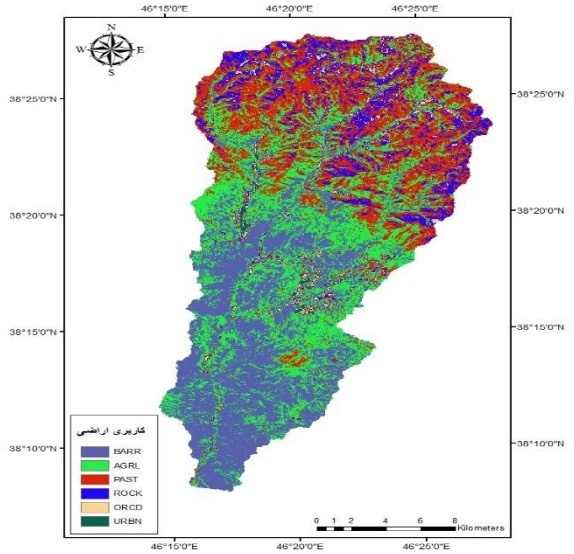
نرم افزار SWAT

SWAT اساس شبیه سازی این نرم افزار بر پایه نیمه توزیعی بودن است. اطلاعات آماری داده های اقلیمی در این مدل بصورت گام زمانی روزانه می باشد. SWAT حوضه مورد مطالعاتی را به تعداد زیرحوضه دسته بندی می کند که با هر کدام به عنوان یک واحد مجرد رفتار می کند. مدل همچنین با پیکربندی مدل سازی USEPA برای منابع غیر نقطه ای و نقطه ای (BASINS) یکپارچه شده است. این چهارچوب برای کاربران یک ابزار توصیف حوضه آبریز ایجاد می کند که به کاربران این امکان را میدهد که به طور اتوماتیک حوضه آبریز را براساس مدل رقومی زمین (DEM) توصیف کند. مدل SWAT نیاز دارد که برای حوضه مورد مطالعه جهت تضمین این که پارامترهای مدل نماینده ای برای ناحیه مطالعه هستند، واسنجی و اعتبارسنجی گردد مدل SWAT در شبیه سازی چرخه هیدرولوژیکی از معادله توازن هیدرولوژیک زیر استفاده می کند:

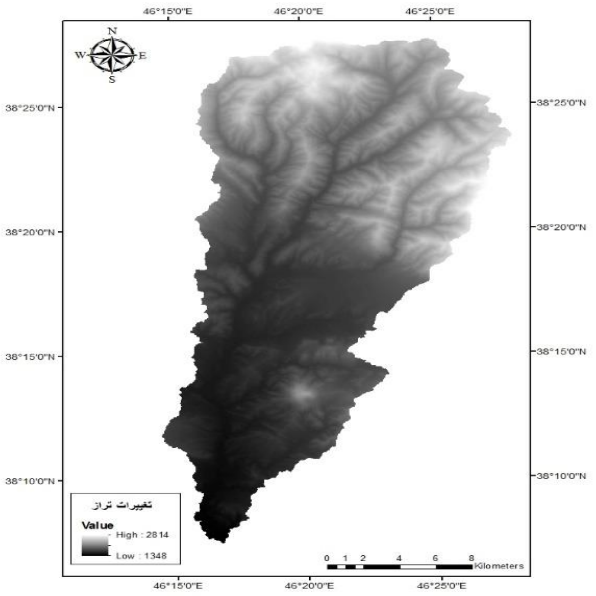
$$\Delta SW = \sum_{i=1}^{t}(R_{day} - Q_{surf} - E_a - W_{seep} - Q_{gw}) \quad (۵)$$

در این رابطه: ΔSW: آب ذخیره شده در خاک، R_{day}: بارش روزانه، Q_{surf}: رواناب سطحی، E_a: تبخیر و تعرق واقعی، W_{seep}: آبی که از پروفیل خاک به منطقه غیر اشباع وارد می شود، Q_{gw}: جریان آب زیرزمینی خروجی به رودخانه می باشد.

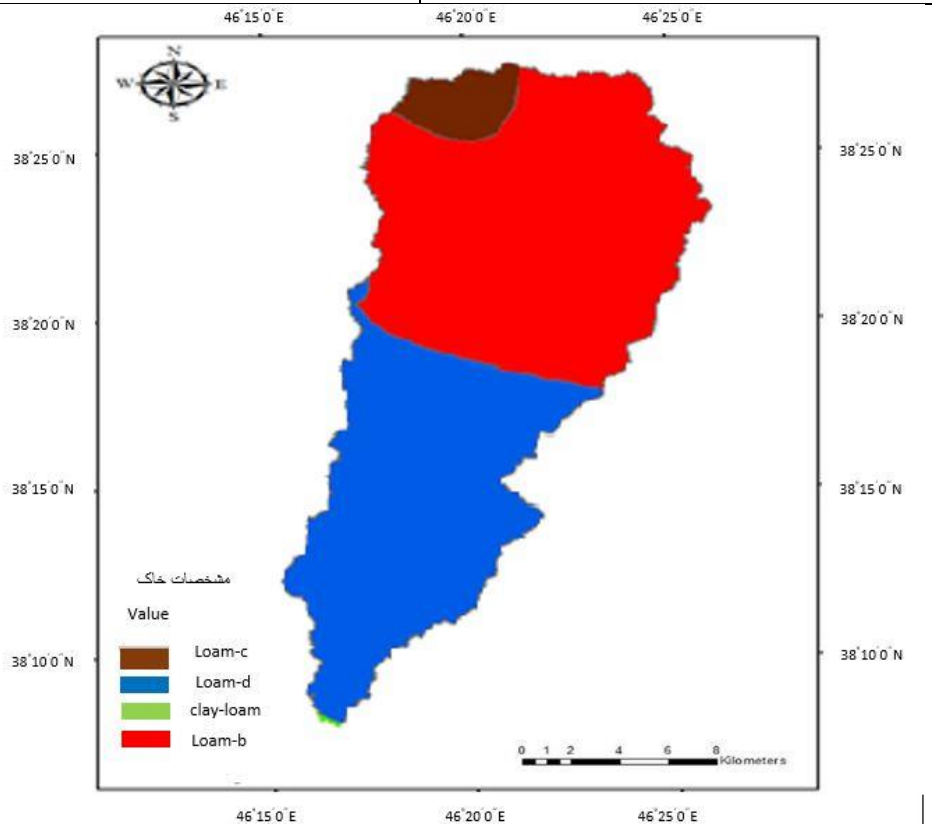
در مدل SWAT زیرحوضه ها به بخش های پاسخ هیدرولوژیکی تقسیم میشوند که بخش هایی از زیرحوضه ها با پوشش ها، مدیریت و خصوصیات خاک می باشد. SWAT از روش عدد معنی اصلاح شده (USDA Soil Conservation Service 2001) یا روش نفوذ Green and Ampt جهت محاسبه حجم رواناب سطحی برای هر HRU استفاده می‌کند (آرنولد و فوهرر ۲۰۰۲) تقسیمات زیرحوضه ها برای حوضه گمناب چای در شکل شماره ۳ نشان داده شده است. همانطور که دیده می شود شیب حوضه به پنج طبقه (۰-۱۵)، (۱۵-۳۰)، (۳۰-۴۵)، (۴۵-۶۰) و (<۶۰) صورت گرفته است. همچنین نقشه مدل رقوم ارتفاعی، خاک و کاربری اراضی حوضه در مقیاس ۱:۲۵۰۰۰ از پژوهشکده حفاظت خاک و آبخیزداری تهران تهیه شد.



ب)نقشه کاربری اراضی



الف) نقشه مدل رقوم ارتفاعی



ج)نقشه خاک

شکل۳: نقشه های حوضه آبریز گمناب چای

Figure 3: Maps of Gomnab Chai catchment area

باتوجه به شکل(۳) منطقه مورد بررسی دارای ۴ نوع خاک و ۶ کاربری اراضی است که اطلاعات مربوط به هر کدام از آن ها در جدول (۲) و (۳) آورده شده است.

جدول ۲ مشخصات خاک های موجود در حوضه

Table 2. Characteristics of soils in the basin

شماره خاک	بافت خاک	گروه هیدرولوژیکی	تعداد لایه های خاک
3129	LOAM	C	2
3254	LOAM	D	2
3290	CLAY-LOAM	D	2
3506	LOAM	B	2

جدول ۳ کاربری اراضی و نوع پوشش سطح زمین در حوضه

Table 3 land use and type of land cover in the basin

کاربری	نوع کاربری	کاربری	نوع کاربری
BARR	بایر	ROCK	سنگلاخ
AGRL	زمین کشاورزی	ORCD	باغ
PAST	مرتع	URBN	شهری

داده هواشناسی که به منظور شبیه سازی رواناب به وسیله مدل SWAT وارد مدل شدند، عبارت است از مشخصات و پارامترهای آماری بلند مدت مورد نیاز ایستگاه مرجع هواشناسی شامل ۳ ایستگاه به صورت روزانه عامل بارش و دما منطقه در بازه ۲۰۰۰تا۲۰۱۸ وارد مدل گردید. لازم به ذکر است که پارامترهای اقلیمی شامل بازش، دما، رطوبت نسبی، سرعت باد و تابش خورشید بصورت میانگین ماهانه در قالب یک فایل wgn به مدل معرفی شد تا بتوان خروجی رواناب بصورت ماهانه استخراج شود.

واسنجی و اعتبارسنجی مدل SWAT

در این مطالعه به منظور واسنجی مدل SWAT از الگوریتم SUFI2 در نرم افزار SWATCUP استفاده شد(عباسپور و همکاران ۲۰۰۴). دوره واسنجی داده های رواناب ماهانه، سال های ۲۰۰۱ تا ۲۰۱۳ انتخاب گردید. برای واسنجی مدل از ۱۷ پارامتر مختلف استفاده شد مطابق جدول(۴). همانند دوره اعتبار سنجی در مدل AWBM، به منظور اعتبارسنجی مدل SWAT نیز ۲۰۱۴تا ۲۰۱۸ در نظر گرفته شد.

جدول ۴: پارامترهای مورد استفاده در مرحله واسنجی مدلSWAT در منطقه مورد مطالعه

Table 4: Parameters used in SWAT model calibration stage in the study area

شماره	نام پارامتر	شماره	نام پارامتر
۱	CN2	۱۰	SOL_AWC (1)
۲	ALPHA_BF	۱۱	SOL_K (1)
۳	GW_DELAY	۱۲	SFTMP
۴	GWQMN	۱۳	SOL_BD (1)
۵	GW_REVAP	۱۴	SMTMP
۶	ESCO	۱۵	SMFMX
۷	CH_N2	۱۶	SMFMN
۸	CH_K2	۱۷	TIMP
۹	ALPHA_BNK		

معیارهای آماری در ارزیابی

ضریب تبیین (R^2)

از این ضریب برای نشان دادن همخوانی بین مقادیر مشاهده‌ای و شبیه‌سازی با به کار بردن روش تجزیه رگرسیونی استفاده می‌شود.

$$R^2 = \left[\frac{\left(\sum_{i=1}^{n}(o_i - \bar{o}) \times (p_i - \bar{p})\right)}{\sqrt{\sum_{i=1}^{n}(o_i - \bar{o})^2 \times \sqrt{\sum_{i=1}^{n}(p_i - \bar{p})^2}}}\right] \quad (6)$$

که در آن: n: تعداد مشاهدات، oi: مقادیر مشاهده شده، pi: مقادیر شبیه‌سازی شده، $\bar{o}$: میانگین مقادیر مشاهد شد، $\bar{p}$: میانگین مقادیر پیش‌بینی شده می‌باشد.

ضریب ناش-ساتکلیف(NS)

$$NSE = 1 - \frac{\sum_{i=1}^{n}\left(y_i^{obs} - y_i^{sim}\right)^2}{\sum_{i=1}^{n}(y_i^{obs} - y_i^{mean})^2} \quad (۷)$$

که در آن: y_i^{obs}: مقادیر مشاهده شده، y_i^{sim}: مقادیر شبیه‌سازی شده، y_i^{mean}: میانگین مقادیر مشاهده شده می‌باشد.

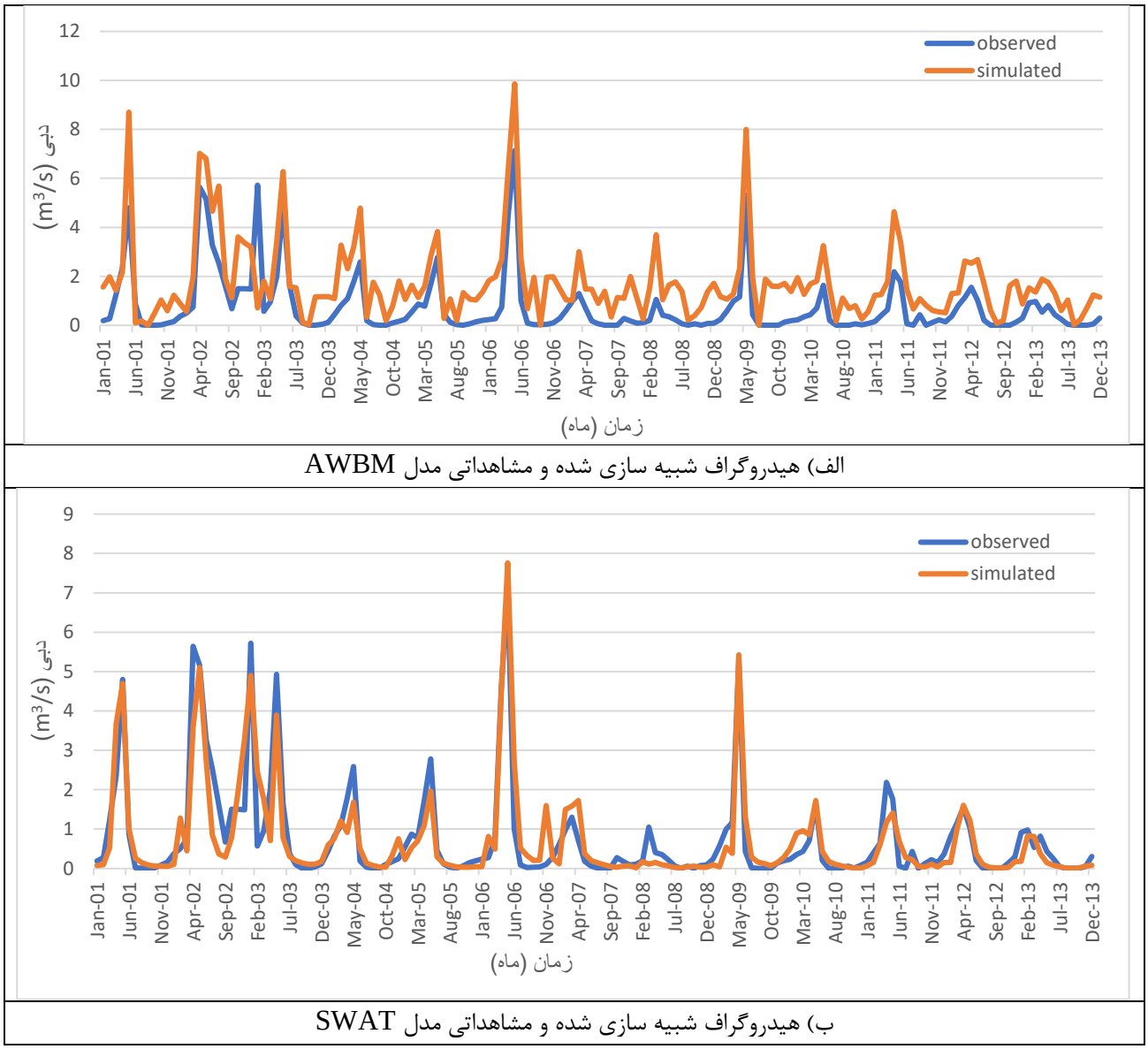
ضریب ناش - ساتکلیف (NS) بیانگر اختلاف نسبی مقادیر مشاهده‌ای و شبیه سازی شده می‌باشد. مقدار این فاکتور بین یک تا منفی بی نهایت متغیر می‌باشد. ضریب ناش - ساتکلیف تغییرات مقادیر مشاهداتی را که در طول زمان رخ می‌دهد و مورد توجه مدل SWAT می‌باشد را تفسیر می‌کند(گرین و ون گرینسون، ۲۰۰۷). دو حالت کلی وجود دارد حالت اول: اگر ضریب منفی شود، تخمین مدل بسیار بدتر از تخمینی است که با استفاده از میانگین کل مقادیر مشاهداتی بدست می‌آید. حالت دوم: مقدار بیشتر از ۰/۵ ضریب ناش - ساتکلیف (NS) نشان‌دهنده شبیه‌سازی خوب انجام شده توسط مدل می‌باشد. تفاوت اساسی بین ضریب نش و R^2 در این است که ضریب ناش قادر است که با تکرار داده‌های مشاهداتی عملکرد مدل را تفسیر نماید. در صورتی که ضریب R^2 این توانایی را ندارد (گرین و ون گرینسون، ۲۰۰۷).

یافته ها و بحث ها

واسنجی مدل های AWBM و SWAT

بعد از وارد کردن داده های بارندگی،دما، تبخیر و رواناب (همگی در مقیاس زمانی روزانه) به مدل و مشخص کردن دوره های واسنجی و اعتبارسنجی برای آن، شبیه‌سازی رواناب در حوضه گمناب چای با استفاده از مدل AWBM صورت گرفت. نتایج ارزیابی مدلهای AWBM و SWAT در مرحله واسنجی با در نظر گرفتن دو شاخص آماری ضریب ناش ساتکلیف و ضریب تعیین R^2 نشان داد که

مدل SWAT دارای شبیه‌سازی دقیق‌تری نسبت به مدل AWBM در دوره واسنجی می‌باشد طوری‌که ضرایب ناش ساتکلیف و تعیین R^2 برای مدل SWAT به ترتیب ۰/۸۳ و ۰/۸۳ تعیین شد در حالی که مقادیر این شاخص‌ها برای مدل AWBM در این دوره به ترتیب ۰/۷ و ۰/۶۳ محاسبه شد. هیدروگراف های رواناب شبیه‌سازی شده و مشاهداتی مدل های مورد بررسی در پژوهش در دوره واسنجی در شکل (۴) نشان داده شده است.



الف) هیدروگراف شبیه سازی شده و مشاهداتی مدل AWBM

ب) هیدروگراف شبیه سازی شده و مشاهداتی مدل SWAT

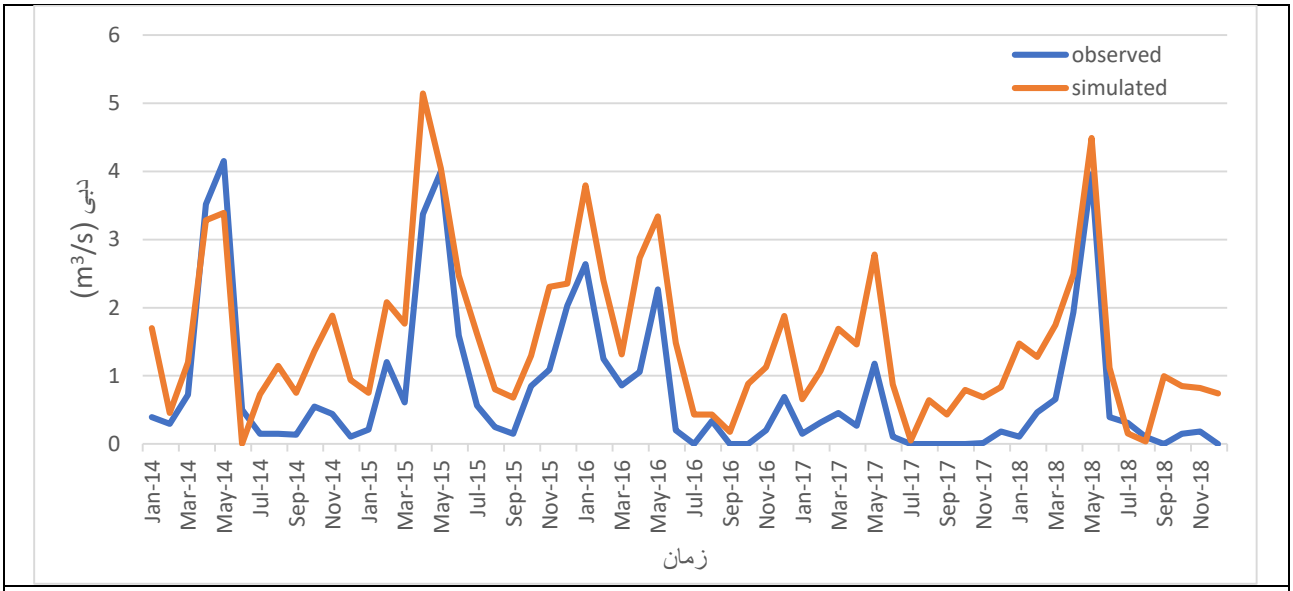
شکل۴: هیدروگراف های شبیه سازی شده و مشاهداتی- رواناب ماهیانه در حوضه گمناب چای در دوره واسنجی مدلهای مورد مطالعه

Figure 4: Simulated and observed hydrographs - monthly runoff in Gomanab Chai basin during the calibration period of the studied models

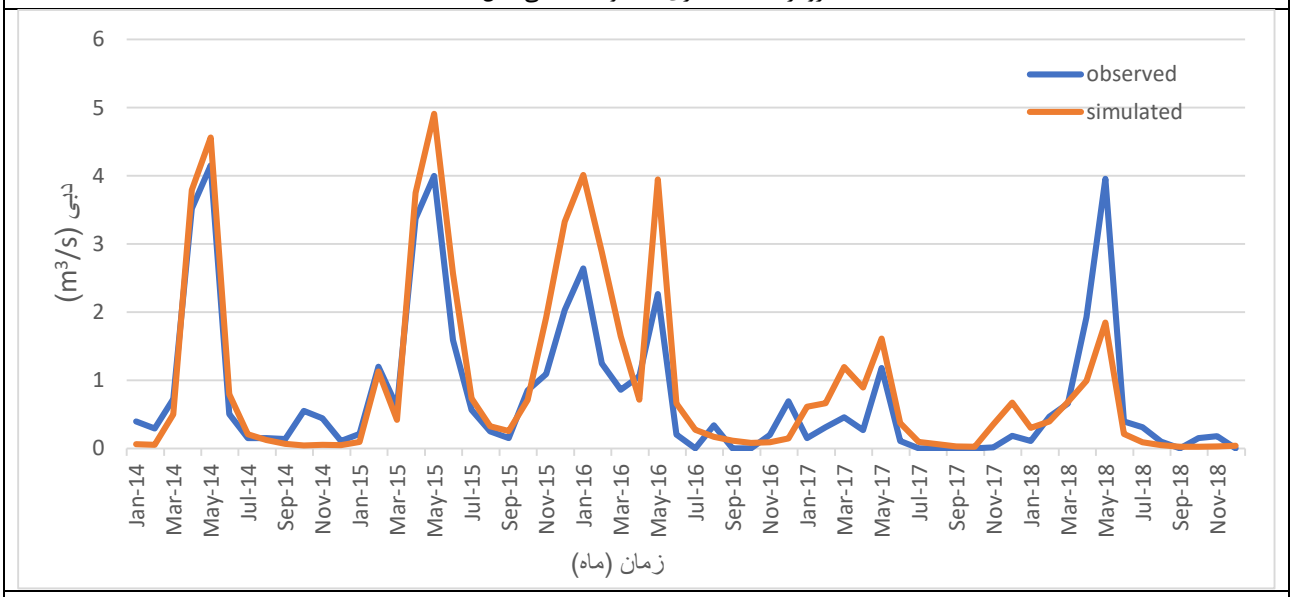
همانگونه که از نمودار شکل (۴) نیز مشخص می‌باشد، مدل AWBM در اکثر ماه ها در دوره واسنجی مقادیر حداکثری رواناب را خیلی بیشتر از مقدار واقعی برآورد می‌کند در حالی که مدل SWAT در اکثر ماه ها در طول دوره آماری، رواناب ماهانه را به‌خوبی شبیه‌سازی کرده است به‌طوری‌که با توجه به شکل (۴) هیدروگراف شبیه‌سازی شده به‌وسیله مدل SWAT نسبت به هیدروگراف شبیه‌سازی شده به‌وسیله مدل AWBM ، برازش به‌مراتب بهتری با مقادیر رواناب مشاهده‌ای در دوره واسنجی مدل‌ها دارد.

صحت‌سنجی مدلهای AWBM و SWAT

در این بخش از پژوهش نتایج حاصل از صحت‌سنجی مدل‌های AWBM و SWAT با توجه به مقادیر پارامترهای بهینه محاسبه شده در مرحله واسنجی مدل‌ها و برای دوره آماری ۲۰۱۴ تا ۲۰۱۸ آورده شده است. در مرحله اعتبارسنجی مدل AWBM ، مقادیر ضرایب ناش ساتکلیف و تعیین R^2 به‌ترتیب ۰/۵ و ۰/۴۸ محاسبه گردید و این ضرایب برای مدل SWAT در این دوره به‌ترتیب ۰/۷ و ۰/۸ تعیین شد. بیش‌تربودن ضرایب آماری مورد بررسی در مدل SWAT نشان دهنده مناسب‌تربودن شبیه‌سازی انجام گرفته به‌وسیله این مدل نسبت به مدل AWBM می‌باشد. هیدروگرافهای شبیه‌سازی شده و مشاهداتی جریان در دوره صحت‌سنجی مدلها در شکل (۵) نشان داده شده است.



الف) هیدروگراف شبیه سازی شده و مشاهداتی مدل AWBM



ب) هیدروگراف شبیه سازی شده و مشاهداتی مدل SWAT

شکل۵: هیدروگراف های شبیه سازی شده و مشاهداتی- رواناب ماهیانه در حوضه گمناب چای در دوره صحت سنجی مدلهای مورد مطالعه

Figure 5: Simulated and observed hydrographs - monthly runoff in Gomanab Chai basin during the validity period of the studied models

همانگونه که از شکل (۵) نیز مشخص می‌باشد مدل SWAT در دوره اعتبارسنجی خیلی بهتر از مدل AWBM رواناب مشاهداتی را شبیه‌سازی نموده است طوری‌که بازوهای بالارونده و پایین‌رونده و همچنین نقاط اوج هیدروگراف شبیه‌سازی شده به‌وسیله مدل SWAT

نسبت به هیدروگراف شبیه‌سازی شده به‌وسیله مدل AWBM دارای انطباق بهتری با هیدروگراف مشاهداتی می‌باشد.

نتایج مدل SWAT در شبیه‌سازی رواناب ماهیانه در حوضه گمناب چای هم در دوره واسنجی و هم در دوره اعتبارسنجی باتوجه به ضریب ناش ساتکلیف و ضریب تعیین R^2 برای مدل SWAT در دوره واسنجی به ترتیب ۰/۸۳ و ۰/۸۳ و برای دوره اعتبار سنجی آن ۰/۷ و ۰/۸ محاسبه شد و مقادیر این شاخص‌ها در دوره واسنجی مدل AWBM به ترتیب، ۰/۷ و ۰/۶۳ و در دوره اعتبارسنجی آن ۰/۵ و ۰/۴۸ تعیین شد. که نشان از بهتر بودن کاربرد مدل نیمه توزیعی SWAT نسبت به مدل یکپارچه AWBM در حوضه گمناب چای می‌باشد.

هیدروگراف شبیه‌سازی شده توسط مدل SWAT هم در دوره واسنجی و هم در دوره اعتبارسنجی دارای تطابق مناسبی با هیدروگراف مشاهداتی جریان می‌باشد در حالی که هیدروگراف شبیه‌سازی شده توسط مدل AWBM هم در دوره واسنجی و هم اعتبارسنجی نسبت به مدل SWAT دارای انطباق کم‌تری با هیدروگراف مشاهداتی جریان می‌باشد به‌طوری‌که در اکثر ماه ها رواناب بیش‌تر از مقدار مشاهده ای شبیه‌سازی شد.

نتیجه‌گیری

باتوجه به قابلیت ها و محدودیت های هر دو مدل SWAT و AWBM بنابه نیازها و اهداف مورد انتظار از مدل سازی هیدرولوژی در هر حوضه، در نهایت باید مدل انتخاب گردد که پاسخ مناسبی به اهداف مسئله داشته باشد. به عنوان مثال از آنجایی که منطقه مورد مطالعاتی در این تحقیق، کوهستانی بوده و در مناطق مرتفع دارای رخداد برف بوده مدل SWAT در این زمینه کاربرد مناسبی داشته که علت اصلی آن در نظر گرفتن پراکنش ایستگاه های باران سنجی و دما (ماکزیمم و حداقل)، مدل رقوم ارتفاعی DEM، نقشه خاک، نقشه کاربری اراضی، کلاس شیب منطقه که موجب نزدیک تر شدن مدل با شرایط محیط پژوهشی واستخراج دقیق خصوصیات هیدرولوژی حوضه می شود. شاید با بررسی دیگر تفاوت این مدل با مدل AWBM باتوجه به شرایط مسئله بهترین تصمیم اتخاذ شود. به عنوان نمونه ای دیگر مدل SWAT این امکان را برای کاربر فراهم نموده که تغییرات تراز ارتفاعی در جهت جداسازی عامل بارش، برف، ذوب شدن برف و یخ در ارتفاعات که مهم ترین عامل در جهت دقت شبیه سازی است فراهم نموده است. عملکرد مدل ساده ای چون AWBM نسبت به مدل های پیچیده در بعضی مناطق بهتر است (همانند حسینی ۲۰۱۱، گودرزی۲۰۱۲، سامرلات ۲۰۱۳). اگرچه انتخاب مدل های یکپارچه به جهت سادگی ساختار و حداقل داده های مورد نیاز و نیز کاربردی آسان آن در اولویت قرار بگیرد اما باید توجه داشت انتخاب مدل مناسب تر، همچون مدل نیمه توزیعی مورد توجه قرار گیرد.

References

Adib, A., Salarijazi, M., & Najafpour, K. (2010). Evaluation of synthetic outlet runoff assessment models. Journal of Applied Sciences and Environmental Management, 14(3),13-18.

Ahmadi, M., Dadashi Roudbari, A., & Deyrmajai, A., (2020). Runoff estimation using IHACRES model based on CHIRPS satellite data and CMIP5 models (case study: Gorganroud basin-Aq Qala area). Iranian Journal of Soil and Water Research, 51(3), 659-671 (in Persian).

Alizadeh, A. (2006). Principles of applied hydrology. 19th Edition: Publications of Imam Reza University, 942 pages (in Persian).

Asadi, A. 2011. Development a conceptual model of Tank–Hybrid-Channel to Simulate Rainfall – Runoff process in Navroudbasinin Gilan province. Ph.D.Dissertation. Faculty of Agriculture. Tabriz University. 153 pages. (In Persian).

Behmanesh, J. Jabari, A. Montaseri, M. and Rezaei,H. 2014. Comparing AWBM and SimHyd models in rainfall-runoff modeling, Nazlou-Chay catchment in west Azarbaijan. Geography and Environmental Planning Journal. 52(4), 155- 168. (In Persian).

Belvasi, Iman Ali, Asghari Saraskanroud, Sayad, Esfandiari Dar Abad, Fariba, Zinali, Betul (2019). The role of land use changes on the characteristics of runoff and flooding in Do Ab catchment, Ecohydrology, Vol. 7, No. 2, pp. 344-331, (in Persian).

Boughton W. 2004. The Australian Water Balance Model. EnvironmentalModelling & Software 19(10): 943–956. DOI: 10.1016/j.envsoft.2003.10.007.

Ghorbani Fard, M., 2021. Comparison and evaluation of AWBM and IHACRES models in rainfall-runoff modeling (Case study: catchment),10th International Conference on Rainwater Catchment System, ICRWC, 24-25 November 202021, University of Kurdistan, Iran. https://civilica.com/doc/1411242 (in Persian).

Ghorbani, Kh., Naeimi Kalourazi, Z., Salarijazi, M., & Dehghani, A.A.)2016(. Estimation of monthly discharge using climatic and physiographic parameters of ungauged basins. Journal of Water and Soil Conservation, 23(3), 207-224 (in Persian).

Ghoreishi GharahTikan, S.K., Gharechelou, S., Mahjoobi, E., Golian, S., & Salehi, H. (2022). Evaluation of available surface water resources in Qarah Tikan border basin using satellite products and GIS. Water and Soil Management and Modeling, 2(1), 1-13 (in Persian).

Goodarzi, M.R. Zahabiyoun, B. MassahBavani, A. and Kamal, A.R. 2012. Performance comparison of three hydrological models SWAT, IHACRES and SimHyd for the runoff simulation of Gharesou basin, Journal of Water and Irrigation Management. 2(1), 20-45. (In Persian).

Green, C.H., Greensoun, J.G., Williams, J.R., Haney, R., and Harmel, R.D. (2007). Soil and water assessment tool hydrologic and water quality evaluation of poultry litter application to small scale sub watershed in Texas, Transactions of the ASABE, Vol. 50(4): 1199-1209

Haque, MD., Rahman, M., Hagare1, A.D. and Kibriha, G. 2014. Parameter uncertainty of the AWBM model when applied to an ungauged catchment, Hydrological processes hydrol. (2014), DOI: 10.1002/hyp.10283.

Hosseini M. (2011). Effect of Landuse Changes on Surface runoffand Suspended Sediment Yield of Taleghan Catchment, Iran. PhD Thesis, UPM University, Serdang, Malaysia.

Hosseini M. (2014). Water balance simulation of Garahsou basin of Kermanshah province by using SWAT model. J. atershed Eng. Manag., 6, 63–73 (in Persian).

Hosseini M. and Ashraf M.A. (2015). Application of the SWAT Model for Water Components Separation in Iran. Springer, 97–98.

Khodakhah, H., Ghorbani, K., Salarijazi, M., & Abdolhosseini, M. (2022). Monthly and seasonal runoff estimation using time series, decision tree, and multivariable linear regression. Journal of Water and Soil Conservation, 28(4), 27-52 (in Persian).

Mohammadivand;M , Araghinejad;S, Ebrahimi;K, Modaresi;F(2019). Performance Evaluation of AWBM, Sacramento and SimHyd models in Runoff Simulation of the Amameh Watershed using Automatic Calibration Optimization Method of Genetic Algorithm. Iranian Journal of Soil and Water Research. 1759-1769 (in Persian).

Nazari Pooya; H, Kordavani; P, Faraji Rad; A (2014). Recalibration and Performance Evaluation of IHACRES and SWAT Hydrological Models in Runoff Simulation, Journal of Spatial Analysis of Environmental Hazards, Year 2, Number 2, pp. 9112-999 (in Persian).

Nouri; H, Ilderami; A, Naderi; M, Agha Beigi Amin; S (2017). Comparison of the effect of land use change and climate on the runoff of a small mountain watershed (case study: Green watershed), Physical Geography Research, Volume 50, Number 4, pp. 775-790. (in Persian).

Parvaz; M, Shahoui; S.V (2022). Investigation Using AWBM Model for Monthly Runoff Simulation of Urmia Lake Basin in Kurdistan Province, Sonnate station. Journal of Environmental Sciences Studies.575-856.
Podger, G.M. 2003. Rainfall–runoff Library user guide [online]. Cooperative Research Centre for Catchment Hydrology.Available from: www.toolkit.net.au/rrl.
Rezaei Moghadam; M.H., Mokhtari Kashki; D, Samandar; N, ۲۰۲۲, the effect of land use change on changes in discharge and sedimentation in the Ojanchai watershed using the SWAT model in the Ojanchai watershed, Hydrogeomorphology, 9, 1-24(in Persian).
Rezaei Moghadam; M.H., Mokhtari Kashki; D. Shafieimehr M. ۲۰۲۱, calibration and validation of SWAT model in simulation of runoff and sediment in the catchment area of Chai Miane city, Geography and Planning, 25, 129-139 (in Persian).
Rezaie, H., Jabbari, A., Behmanesh, J., & Hessari, B.)2017(. Modelling the daily runoff of Nazloo Chai watershed at the west side of Urmia Lake. Journal of Water and Soil Conservation, 23(6), 123-141 (in Persian).
Rostami Khalaj, M., Moghadamnia, A., Salmani, H. Sephovand, A.2016. Comparative study of the performance of AWBM, Sacramento, SimHyd, SMAR and Tank rainfall models. Iranian Natural Ecosystems Quarterly.
Rostamian R., Jaleh A., Afyuni M., Mousavi S. F., Heidarpour M., Jalalian A. and Abbaspour K. C. (2008). Application of a SWAT model for estimating runoff and sediment in two mountainous basins in central Iran. J. Hydrol., 53, 977–988.
Sayyad; D, Gazavi; R, Omidvar; E, ۲۰۲۱, Investigating the effectiveness of the SWAT model in estimating the daily discharges of basins without statistics with the zoning approach in dry areas, Hydrogeomorphology, 7, 161-182 (in Persian).
Shahavi, S.V. and Porhemat J. 2018. Evaluation and comparison of two integrated AWBM and semi-distributive SWAT models in simulating the monthly runoff of Qarasu River in Kermanshah province. Journal of environment and water engineering.
Sharifi, F. Namdrust, J. and Zarrin, H. 2006.Assessment the AWBM model in some sub catchments of Karoon watershed. First Regional Conference on Optimum Utilization of Water Resources in Karoon and Zayandehrud watersheds, 14-15 Aug. Iran. Pp. 823-832. (In Persian).
Sommerlot A., Nejadhashemi A., Woznicki S., Giri S. and Prohaska M. (2013). Evaluating the capabilities of watershed-scale models in estimating sediment yield at field-scale. J. Environ. Manag., 127, 227-236.
Vidyarthi, V.K., & Jain, A.)2022(. Incorporating non-uniformity and non-linearity of hydrologic and catchment characteristics in rainfall–runoff modeling using conceptual, data-driven, and hybrid techniques. Journal of Hydroinformatics, 24(2), 350-366.
Yonesi, H.A., yousefi, H., Arshia, A., & yarahmadi, Y.)2020(. Runoff rainfall simulation using RRL Toolkit (case study: Rahim Abad station - Silakhor Plain). Iranian Journal of Irrigation & Drainage, 14(4), 1348-1361 (in Persian).
Yu, b. and Z. Zhu. 2015.A comparative assessment of AWBM and SimHyd for forestedwatersheds. Hydrological Sciences Journal – Journal des Sciences Hydrologiques, 60 (7–8) 2015 http://dx.doi.org/10.1080/02626667.2014.961924
Ziyai;D, Zare Bidaki;R, Basaltpour;A. 2018. A comparative study of the role of land use on sediment production and surface runoff using a model (case study: Behesht Abad watershed). Pasture and Watershed, Journal of Natural Resources of Iran. Volume 72, Number 3. (in Persian).

Hydrogeomorphology Vol. 11, No. 40, 2024

Research Paper

Evaluation of the morphological changes of Haraz river following human pressures in the Amol city, Mazandaran

Reza Esmaili[*1], Niusha Nourizadeh Nesheli[2]

1. Associated professor, Department of Geography, Faculty of Social Science, University of Mazandaran, Babolsar, Iran. r.esmaili@umz.ac.ir

2. M. A. in Envrinmental Hazards, Department of Geography, University ofMazandaran, Babolsar, Iran. niushanesheli@gmail.com

Keywords

River morphological changes, River planform, Haraz river, Amol, Northern Iran

Received: 2024/04/13

Accepted: 2024/08/17

Published: 2024/10/21

A B S T R A C T

Rivers are natural systems that human pressures have caused severe changes in their morphology during the past decades.The factors influencing river morphological changes and their responses vary across different regions. Therefore, in the present study, morphological changes in a section of the Haraz River in of Amol city were investigated over a 53-year period (1968 - 2021). The changes in river width, planform, and fluvial landforms were examined using aerial photographs and satellite images. Subsequently, by calculating the specific stream power and conducting field observations, the hazards associated with the river channel were identified. In 1968, the average river width was measured at 141 meters, but by the years 2006 and 2021, it has decreased to 55 meters. The area of fluvial landforms, including the active riverbed and longitudinal bars, decreased by 50% and 95%, respectively, during this period. The river channel transitioned from a braided pattern to a single-channel pattern due to channel narrowing and significant reduction in longitudinal bars. These changes led to an increase in stream power and erosional processes, resulting in river incision and bank erosion. Key factors contributing to the morphological alterations in the study area included the reduction in base flow, irrigation channel diversion, and land use changes along the river floodplain. According to the process of changes, the construction of the new dam (Haraz), the continuation of the occupation of the floodplain and canalization can intensify the river channel hazards.

* Corresponding Author: Reza Esmaili E-mail: r.esmaili@umz.ac.ir

How cite to this article: Esmaili, Reza; Nourizadeh Nesheli, Niusha; Evaluation of the morphological changes of Haraz river following human pressures in the Amol city, Mazandaran. Hydrogeomorphology, 11(40): 40 – 57.

DOI:10.22034/hyd.2024.61151.1733

Copyright: ©2024 by th

Publisher: University of Tabriz

Introduction

Rivers are complex systems with interconnected components, and any change in these elements can impact the river's behavior as it strives to reach equilibrium. Whether due to natural processes (such as floods) or human interventions, alterations in any of these factors can lead to responses in the river. identifying and analyzing the trends in geomorphic changes of a river can be useful and applicable in future urban planning, river management strategies, engineering structures, and river restoration efforts.

The present study aims to evaluate the geomorphic changes in the Haraz River within Amol city over a 53-year time span. To achieve this goal, the following questions have been posed: What parameters of the river channel have been affected by the morphological changes of Haraz River? What was the amount of these changes? What river hazards have these changes led to or will lead to?

The Haraz River basin, covering an area of 4,972 km^2, is one of the largest watershed in the Caspian Sea Basin. Originating from the Central Alborz Mountains, the Haraz River forms a relatively wide alluvial fan upon exiting the mountains, where the city of Amol is situated. The study area in this research encompasses a 6.5-km stretch of the Haraz River, which flows across the alluvial fan and passes through the city of Amol.

Methodology

The study reach was divided into three sub-reaches, and the changes in the river were evaluated over a 53-year period (1968-2021). For the years 1968, 2006, and 2021, the assessment was conducted using the interpretation of aerial photographs and satellite images. To investigate morphological changes, the width of the riverbed and the river planform were measured. Width measurements were taken at several cross section along the riverbed, with approximately equal intervals within each reach. The resulting values were analyzed using statistical tests and the SPSS software. In each river reach, existing river landforms were delineated, including the active riverbed, longitudinal bars, lateral bars (bank-attached bar), and floodplain. Changes in the dimensions of landforms were analyzed for river planform analysis in different years. Finally, considering the observed changes, the specific stream power and the current conditions of the river, the river channel hazards were identified and analyzed.

Results and Discussion

The average width of the river in the reaches of 1-3 of Haraz river was measured as 124, 141 and 152 meters in 1968, respectively, which decreased to 52, 57 and 55 meters in 2006 and 54, 51 and 57 meters respectively in 2021. To analyze the changes in mean river width over the three years, one-way analysis of variance (ANOVA) test was employed. The resulting significance value (Sig) of 0 indicates a statistically significant difference in river width. For pairwise comparisons between years, the Least Significant Difference (LSD) test was used. It revealed that the river width in 1968 significantly differed from both 2006 and 2021. However, no significant difference in channel width occurred between 2006 and 2021. Overall, the mean river width during the study period (from 1968 to 2021) decreased by 55%, 62%, and 64% in reaches of 1, 2, and 3, respectively.

One of the most significant impacts resulting from human pressures is the alteration of river widths, leading to channel narrowing or widening. In the Haraz River, factors such as the reduction of the base discharge, the occupation of the floodplain and the creation of urban and agricultural land use, as well as the channel engineering and protection walls, have contributed to the narrowing of the channel.

Changes in the area of riverbed landforms, including the active river channel, longitudinal bars, and lateral bars, were calculated over different years. During the study period from 1968 to 2021, the active river channel area decreased by 47%, 49%, and 62% in reaches 1 to 3, respectively. The area of longitudinal bars, which contribute to the formation of multiple channels in the riverbed and play a crucial role in identifying and distinguishing braided rivers, decreased by 90% to 100% in the reaches of 1 to 3. The lateral bars area decreased by 30% and 95% in reaches of 1 and 2, respectively. However, in reach 3, its area increased more than fivefold. The primary reason for this increase was the transformation of longitudinal bars into lateral bars

due to a reduction in river width. The ratio of longitudinal bars area to the total riverbed area was considered as an braided index. Based on this, the values of this ratio in the years 1968 were 30.6%, 32.9%, and 47.6% in reaches of 1 to 3, respectively. These values decreased to less than 7% in all reaches in subsequent years.
The reduction in river width and channel narrowing have been recognized as the primary factors leading to the removal of river braided planform. The reduction of braided rivers and their transformation into single-channel rivers has also been reported due to human pressures in other regions worldwide (for example: Stecca et al. 2019, Fuller et al. 2020).
The specific stream power was lower than the critical threshold of 300 W/m^2 (Magilligan 1992) for all three reaches in 1968 in floods with a return period of 100 years. However, with the decrease in average river width in subsequent years (2006 and 2021), the specific stream power increased by a factor of 3. This condition indicates an increase in river power for implementing geomorphic changes within the reaches.

Conclusions

Reduction in channel width has led to the narrowing of the riverbed and a shift in the river's pattern from a braided planform to a single-channel. Consequently, with increased river power, the erosive capacity of the river has also risen, affecting the riverbed and its banks. Field investigations reveal that incision of the riverbed is one of the most significant effects of these changes, observed as undercutting at the base of bridges, protective walls, and lateral terraces. Additionally, lateral erosion, due to the concentration of flow in concave bends of the river, is another hazard in this range of the river channel.

مقاله پژوهشی

ارزیابی تغییرات مورفولوژیکی رودخانه هراز در اثر فشارهای انسانی در محدوده شهر آمل، مازندران

رضا اسماعیلی*[1]، نیوشا نوری زاده نشلی[2]

۱- دانشیار ژئومورفولوژی، گروه جغرافیا، دانشگاه مازندران، بابلسر، ایران
2- کارشناسی ارشد مخاطرات محیطی،دانشگاه مازندران، بابلسر، ایران niushanesheli@gmail.com

کلیدواژه‌ها

تغییرات مورفولوژیکی رودخانه، پلانفرم رود، رودخانه هراز، آمل، شمال ایران

تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۰۱/۲۵
تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۰۵/۲۷
تاریخ انتشار: ۱۴۰۳/۰7/30

چکیده

رودخانه‌ها سیستم‌های طبیعی هستند که فشارهای انسانی طی دهه‌های گذشته موجب تغییرات شدیدی در مورفولوژی آنها شده است. عوامل مؤثر بر تغییرات مورفولوژیکی رودها و واکنش آنها در مناطق مختلف متفاوت است. ازاین‌رو، در تحقیق حاضر، تغییرات مورفولوژیکی بخشی از رودخانه هراز در محدوده شهر آمل طی یک دوره ۵۳ ساله (۱۴۰۰ -۱۳۴۷) مورد مطالعه قرار گرفت. تغییرات عرض رودخانه، پلان فرم و لندفرم‌های رودخانه‌ای با استفاده عکس‌های هوایی و تصاویر ماهواره‌ای مورد بررسی قرار گرفتند. سپس، با محاسبه قدرت ویژه رود و مشاهدات میدانی مخاطرات کانال رود شناسایی شدند. در سال ۱۳۴۷ میانگین عرض رودخانه، ۱۴۱ متر بوده و در سال‌های ۱۳۸۵ و ۱۴۰۰ به ۵۵ متر کاهش یافت. به طور میانگین عرض رود در بازه‌های مختلف نسبت به سال ۱۳۴۷، به میزان ۶۰ درصد کاهش یافته است. مساحت لندفرم‌های رودخانه‌ای شامل بستر فعال رود و موانع طولی در این دوره به ترتیب ۵۰ و ۹۵ درصد کاهش یافت. با تنگ‌شدگی رود و کاهش شدید موانع طولی، پلانفرم رودخانه از حالت شریانی به تک کانالی تغییر یافت. به‌واسطه این تغییرات، قدرت ویژه رود بیش از سه برابر افزایش یافته و فرایندهای فرسایشی موجب فروسایی رودخانه و فرسایش دیواره رود شدند. کاهش جریان پایه رود به علت احداث سد لار و کانال‌های آبیاری، تصرف دشت سیلابی، تغییر کاربری اراضی حاشیه رود و مهندسی کانال رود از مهم‌ترین عوامل فشار در تغییرات مورفولوژیکی رود در محدوده موردمطالعه بوده‌اند. با توجه روند تغییرات ایجاد شده، احداث سد جدید (هراز)، تداوم تصرفات دشت سیلابی و کانال‌سازی می‌تواند مخاطرات کانال رود را تشدید نماید.

* نویسنده مسئول : رضا اسماعیلی
رایانامه : r.esmaili@umz.ac.ir

ارجاع به این مقاله: اسماعیلی، رضا؛ نوری زاده نشلی، نیوشا (۱۴۰۳). ارزیابی تغییرات مورفولوژیکی رودخانه هراز در اثر فشارهای انسانی در محدوده شهر آمل، مازندران. هیدروژئومورفولوژی، ۱۱ (۴۰): 57-41.

DOI:10.22034/hyd.2024.61151.1733

Copyright: ©2024 by the authors.
Publisher: University of Tabriz

مقدمه

رشد جمعیت و گسترش شهرنشینی در ایران موجب شده است که تجاوز به حریم رودخانه‌ها و دشت سیلابی رودها افزایش سریعی داشته باشد که این مسأله به فراوانی در مناطق شهری قابل مشاهده است. رشد شهرنشینی در مناطق حاشیه شهری عمدتاً به صورت تغییر کاربری از کشاورزی به مسکونی است و در داخل بافت شهری با تراکم کاربریهای شهری همراه است. این تغییرات در محدوده رودخانه‌ها و مسیل‌ها مشکلات و مخاطراتی را به همراه دارد. وقوع سیلابهای شدید در کلان‌شهرهای تهران، شیراز، مشهد و غیره طی سالهای اخیر نمونه‌ای از این دخالت‌های انسانی محسوب می‌شود. از این رو لازم است نوع و میزان تغییرات و پیامدهای احتمالی مخاطرات رودخانه‌ای در مناطق شهری و حاشیه آنها مورد ارزیابی علمی قرار گیرد تا بتوان با مدیریت صحیح از تکرار مخاطرات رودخانه‌ای در مناطق شهری پیشگیری کرد.

رودخانه‌ها یک سیستم فرایند - واکنش پیچیده هستند که اجزای مختلف آنها با هم در ارتباط بوده و تغییر در هر یک از اجزاء، واکنش رود را برای رسیدن به تعادل به همراه دارد. مهم‌ترین اجزاء کانال رود در مقیاس بازه شامل شیب بستر، عرض و عمق کانال رود، اندازه ذرات رسوبی و پلان رود هستند؛ لذا تغییر در هر یک از این عناصر چه به‌صورت طبیعی (سیلاب‌ها) و چه به‌صورت دخالت‌های انسانی می‌تواند با واکنش همراه باشد. دخالت‌های انسانی به دو صورت مستقیم و غیرمستقیم رودخانه‌ها را تحت‌تأثیر قرار می‌دهد. در حالت غیرمستقیم، گسترش شهرنشینی، تغییرات در پوشش سطح زمین و کاربری اراضی و غیره موجب تغییر رژیم‌های هیدرولوژیکی و رسوب‌شناختی شده و به دنبال آن چشم‌انداز رودخانه‌ها در سطح زمین دچار تغییر می‌شود (چین[1] ۲۰۰۶). دخالتهای مستقیم به صورت احداث پل‌ها، دیواره‌های حفاظتی، کانال‌سازی، سدسازی، برداشت شن و ماسه و.. در رودخانه‌ها است که می‌تواند مورفولوژی رودها را به صورت مستقیم تغییر دهد.

تغییرات و واکنش‌های رودخانه‌های شهری به عوامل مختلفی در مقیاس منطقه‌ای، حوضه آبریز و کانال رود بستگی دارد که شامل موارد زیر می‌شوند: وسعت، شدت و نوع کاربری اراضی شهری، ارتباط هیدرولوژی سطحی شهر و رگبارها، بزرگی تغییرات هیدرولوژیکی؛ فیزیوگرافی، زمین‌شناسی، هیدروکلیماتولوژی، تغییرات در منابع رسوب و انتقال آنها، وضعیت و تغییرات پوشش گیاهی کناره رود، مورفولوژی و حساسیت رودخانه و میزان و نوع دخالت انسان (هنشاو و بوث[2] ۲۰۰۰، چین ۲۰۰۶، گورنل[3] و همکاران ۲۰۰۷، چین و گریگوری[4] ۲۰۰۹، جردن[5] و همکاران ۲۰۱۰، هاولی و بلدوز[6] ۲۰۱۳، چین و همکاران ۲۰۱۳، تانیگوچی - کوان و بیگز[7] ۲۰۱۵، بوان[8] و همکاران ۲۰۱۸، گریگوری و چین ۲۰۱۸، هاولی و همکاران ۲۰۲۰ و اشمور[9] و همکاران ۲۰۲۳).

تحقیقات زیادی در مورد اثرات شهرنشینی بر رودخانه‌ها انجام شده است. در گروهی از این تحقیقات تغییرات مورفولوژیکی رودخانه‌ها با استفاده از تفسیر عکس‌های هوایی و تصاویر ماهواره‌ای در مدت چند ده‌ساله مورد بررسی قرار گرفته است (یمانی و همکاران ۱۳۹۴، جمالی و همکاران ۱۳۹۵، رشیدی و همکاران ۱۳۹۵، قنواتی و همکاران ۱۳۹۵، نژاد حسینی و همکاران ۱۳۹۶، یوسفی و همکاران ۲۰۱۷، صفاری و همکاران ۱۴۰۲، نیث و گوش[10] ۲۰۲۲، اشمور[11] و همکاران ۲۰۲۳، سالاو و لک[12] ۲۰۲۴). نتایج این تحقیقات نشان می‌دهد که واکنش رودخانه‌ها با توجه به تعدد عوامل و شرایط محیطی متفاوت بوده و مهم‌ترین آنها شامل پهن شدگی کانال رود، فروسایی بستر، فرسایش کناره رود، تشکیل گالی، تغییرات پلانفرم رود، تغییرات در توپوگرافی بستر (موانع درون کانالی)، کاهش ظرفیت کانال با تنگ شدگی و کم عمق شدن بستر؛ سیلتی شدن کانال می‌شوند(چین و همکاران ۲۰۱۳: ۸۲۹).

در تحقیقات دیگر، اثرات شهرنشینی و توسعه شهری بر رودخانه‌ها در قالب طبقه‌بندی کانال‌ها و ارزیابی مخاطرات آنها انجام شده است (گریگوری و چین ۲۰۰۲ ، اسماعیلی و لرستانی ۱۳۹۴، اسماعیلی و همکاران ۱۳۹۷). هم چنین روش شاخص کیفیت مورفولوژیکی رودها[13] (MQI) در برخی دیگر از مطالعات برای ارزیابی تغییرات مورفولوژیکی رود مورد استفاده قرار گرفته است (غفورپور عنبران و

1- Chin
2- Henshaw and Booth
3- Gurnell
4- Gregory
5- Jordan
6- Hawley and Bledsoe
7- Taniguchi-Quan and Biggs
8- Bevan
9- Ashmore
10- Nath and Ghosh
11- Ashmore
12- Salawu and Leke
13- Morphological quality index (MQI)

همکاران ۱۴۰۱، طالبی و همکاران ۱۴۰۱). بر اساس این شاخص، بازه‌هایی که در محدوده شهری قرار گرفتند شاخص ضعیف و بسیار ضعیفی از نظر کیفیت مورفولوژیکی داشته‌اند.

مباحث فوق نشان می‌دهند اگرچه تأثیرات شهرنشینی به‌راحتی به‌صورت خلاصه بیان می‌شوند، اما عوامل تأثیرگذار بر تغییرات رودخانه‌ها و واکنش‌های مورفولوژیکی رودخانه‌ها متعدد هستند. ازاین‌رو، شناسایی و تحلیل روند تغییرات ژئومورفیک رود می‌تواند در برنامه‌ریزی آینده شهری و استراتژی‌های مدیریتی رود، احداث سازه‌های مهندسی، بازسازی و احیای رود مفید و قابل‌اجرا باشد.

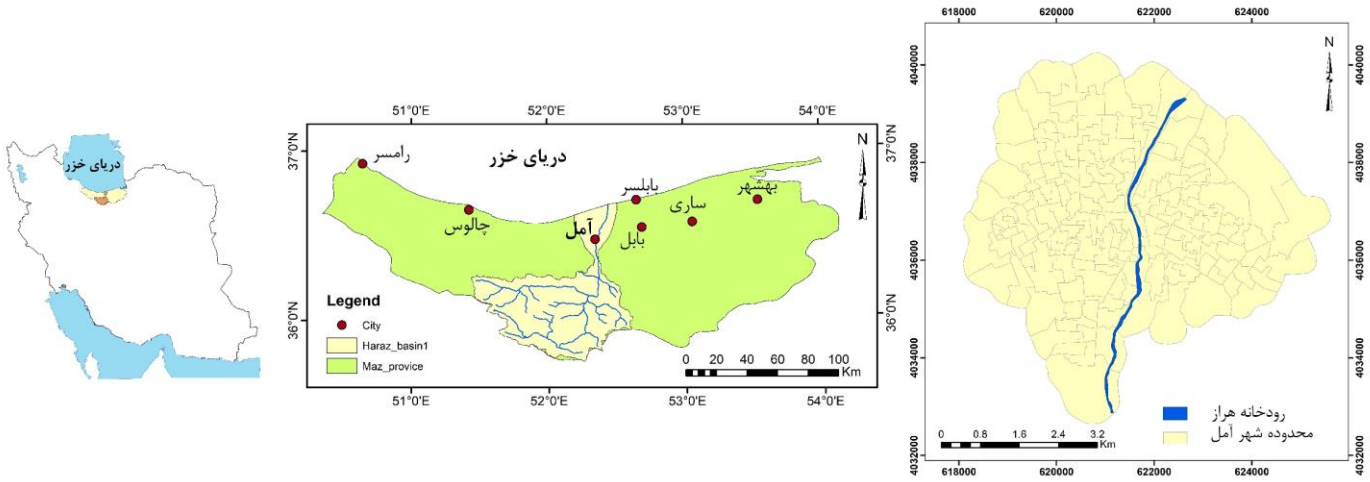
در استان مازندران به‌واسطه شرایط اقلیمی و محیطی، رودخانه‌های دائمی زیادی جریان دارند. تراکم بالای جمعیت و گسترش مناطق مسکونی موجب تغییرات مهمی در رودخانه‌های این منطقه شده و این روند همچنان ادامه دارد؛ لذا تحقیق حاضر باهدف ارزیابی تغییرات ژئومورفیک رودخانه هراز در محدوده شهر آمل در یک بازه زمانی ۵۳ ساله (۱۴۰۰- ۱۳۴۷) انجام شده است. در راستای این هدف سؤالات زیر مطرح شده است: تغییرات مورفولوژیکی رود هراز چه پارامترهایی از کانال رود را تحت‌تأثیر قرار داده است؟ میزان این تغییرات چه مقدار بوده است؟ این تغییرات منجر به چه مخاطرات رودخانه‌ای شده و یا خواهند شد.

منطقه مورد مطالعه

حوضه رودخانه هراز با مساحت ۴۹۷۲ کیلومتر مربع یکی از حوضه‌های بزرگ جنوب دریای خزر محسوب می‌شود. از نظر ساختار زمین‌شناسی، قسمت کوهستانی حوضه در زون البرز و قسمت جلگه‌ای آن در زون گرگان-رشت قرار دارد. بخش مهمی از حوضه هراز در محدوده سیاسی شهرستان آمل قرار گرفته است. اختلاف ارتفاع در حوضه هراز ۵۶۳۷ متر است که از ارتفاع ۵۶۱۰ متری قله دماوند تا ارتفاع ۲۷- در تراز دریای خزر متغیر است. رودخانه هراز از کوههای البرز مرکزی سرچشمه گرفته و در محل خروج از کوهستان مخروط افکنه نسبتاً وسیعی را ایجاد نموده که شهر آمل در بخشی از آن استقرار یافته است. نهایتاً شاخه اصلی این رود در شهر سرخرود به دریای خزر وارد می‌شود. مخروط افکنه هراز با دارا بودن منابع آب زیرزمینی و سطحی غنی، بارش کافی و خاک حاصلخیز به طور کامل در اشغال مناطق شهری و روستایی و فعالیت‌های انسانی قرار دارد. محدوده مورد مطالعه در تحقیق حاضر بخشی از رودخانه هراز به طول ۶/۵ کیلومتر است که بر روی مخروط افکنه جاری بوده و از درون شهر آمل عبور می‌کند(شکل ۱). فروسایی بستر بر روی مخروط افکنه موجب ایجاد تراسهای آبرفتی در حاشیه رود شده و بستر و کناره‌های رود کاملاً آبرفتی هستند. بازه رودخانه مورد مطالعه در محدوده ارتفاعی ۴۵ تا ۱۳۹ متری از سطح دریا قرار دارد. بر اساس آمار ایستگاه هواشناسی آمل میانگین بارش سالانه طی دوره ۹۶-۱۳۸۰ معادل ۶۷۱ میلیمتر بوده و میانگین دمای سالانه ۱۷/۵ سانتیگراد گزارش شده است. میانگین دبی رودخانه هراز در ایستگاه کره سنگ ۳۰ مترمکعب در ثانیه بوده که در ماههای اردیبهشت و خرداد تا ۶۵ مترمکعب در ثانیه افزایش می‌یابد. ماههای دی و بهمن با دبی ۱۶ مترمکعب در ثانیه کمترین مقادیر دبی ماهانه این رود را نشان می‌دهند.

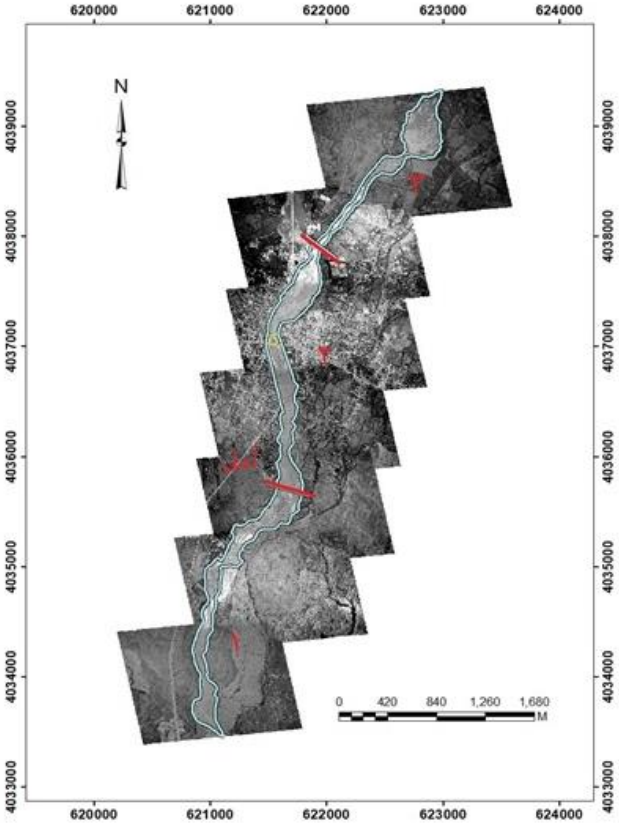
داده‌ها و روش‌ها

در این تحقیق تغییرات بخشی از رودخانه هراز به طول ۶/۵ کیلومتر در محدوده شهری آمل مورد مطالعه قرار گرفت. تغییرات رودخانه طی یک دوره ۵۳ ساله (۱۳۴۷-۱۴۰۰) و برای سالهای ۱۳۴۷، ۱۳۸۵ و ۱۴۰۰ با استفاده از تفسیر عکس‌های هوایی و تصاویر ماهواره‌ای مورد ارزیابی قرار گرفت. عکس‌های هوایی سال ۱۳۴۷ با مقیاس ۱:۶۵۰۰ از سازمان نقشه‌برداری کشور تهیه و ژئورفرنس شدند و برای سالهای ۱۳۸۵ و ۱۴۰۰ از تصاویر گوگل ارث استفاده شد. بستر رودخانه طی سال‌های مذکور ترسیم شدند و محدوده موردمطالعه باتوجه به مجاورت به منطقه شهری بر مبنای عکس‌های هوایی سال ۱۳۴۷ به سه بازه تقسیم شدند(شکل ۲). بازه ۱ به طول ۲۳۵۰ متر در قسمت بالادست و قبل از ورود به منطقه شهری، بازه ۲ به طول ۲۲۷۰ متر در قسمت میانی و کاملاً در محدوده کاربری شهری و بازه ۳ به طول ۱۸۸۰ متر در پایین دست منطقه قرار گرفتند.



شکل (۱): موقعیت محدوده مورد مطالعه

Figure (1): Location of the study area



شکل (۲): موقعیت بازه‌های رودخانه‌ای در محدوده مورد مطالعه

Figure (2): The location of river reaches in the study area

برای بررسی تغییرات مورفولوژیکی، عرض بستر رود و پلان رود مورد اندازه‌گیری قرار گرفتند. اندازه‌گیری عرض در چندین قسمت از بستر رود و با فواصل تقریباً برابر در هر بازه انجام شد. مقادیر حاصله با آزمون‌های آماری و در نرم‌افزار SPSS تجزیه و تحلیل شدند.

در هر بازه رود لندفرم‌های رودخانه‌ای موجود شامل بستر فعال رود، موانع طولی، موانع جانبی (متصل به کناره رود) و دشت سیلابی ترسیم شدند(حسین‌زاده و اسماعیلی ۱۳۹۴). تغییرات ابعاد لندفرم‌ها برای تحلیل پلانفرم رود در سال‌های مختلف مورد تحلیل قرار گرفتند. برای ارزیابی عملکرد ژئومورفیک از قدرت ویژه رود استفاده شد که بر اساس رابطه ۱ محاسبه می‌شود:

$$\omega = \frac{\rho g Q S}{W} \quad (۱)$$

که ω : قدرت ویژه جریان آب بر حسب وات بر مترمربع (W/m^2)، ρ : چگالی آب ($۱۰۰۰ kg/m^3$)، g : شتاب ثقل زمین ($۹/۸ m/s^2$)، Q : دبی جریان (m^3/s)، S : گرادیان انرژی که معادل شیب بستر بر حسب m/m در نظر گرفته می‌شود، W: عرض جریان آب.

در نهایت باتوجه‌به تغییرات رخ‌داده و شرایط فعلی رود، مخاطرات کانال رود شناسایی و تحلیل شدند.

یافته‌ها و بحث

تغییرات عرض رود

میانگین عرض رود در بازه‌های ۱، ۲و ۳ رودخانه هراز در سال ۱۳۴۷ به ترتیب ۱۲۴، ۱۴۱ و ۱۵۲متر اندازه‌گیری شد که در سال ۱۳۸۵ به ترتیب ۵۲،۵۷ و ۵۵ متر و در سال۱۴۰۰ به ترتیب ۵۴، ۵۱ و ۵۷ متر کاهش یافته است (جدول ۱). حداکثر عرض بستر رود در سالهای ۱۳۴۷، ۱۳۸۵ و ۱۴۰۰ به ترتیب ۳۹۰، ۱۱۵ و ۱۲۷ متر بوده است. برای بررسی میانگین عرض رود در بازه‌های مختلف یک سال از آزمون آماری آنالیز واریانس یک طرفه (Anova) در سطح معناداری ۰/۰۵ استفاده شده است. که فرضیه H_0 و H_1 به صورت زیر مطرح شده است:

H_0 : میانگین عرض رودخانه در بازه‌های مختلف در یک سال تفاوتی ندارد.

H_1 : میانگین عرض رودخانه در بازه‌های مختلف در یک سال متفاوت است.

مقدار Sig برای بازه‌های مختلف در سال‌های ۱۳۴۷، ۱۳۸۵و ۱۴۰۰ به ترتیب ۰/۵۵، ۰/۶۵ و ۰/۷۶ بدست آمد که تأیید فرضیه صفر را نشان می‌دهد، یعنی عرض بستر رود در بازه‌های مختلف در یک سال مشخص تفاوت معناداری نداشته است (جدول ۱).

همچنین برای بررسی تغییرات میانگین عرض رود طی سه سال مورد بررسی از آزمون Anova استفاده شد (جدول ۲) و فرضیه H_0 و H_1 به‌صورت زیر بیان شدند:

H_0 : میانگین عرض رودخانه در سال‌های مختلف تفاوتی نداشته است.

H_1 : میانگین عرض رودخانه در سال‌های مختلف متفاوت بوده است.

مقدار Sig=0 نشان می‌دهد که در میانگین عرض رود تفاوت معناداری ایجاد شده است. برای مقایسه تفاوت در سال‌ها از آزمون حداقل تفاوت معنادار (LSD) استفاده شد که نشان می‌دهد عرض رودخانه در سال ۱۳۴۷ تفاوت معناداری با سالهای ۱۳۸۵ و ۱۴۰۰ داشته است، اما در سالهای ۱۳۸۵ و ۱۴۰۰ تفاوت معناداری در عرض کانال رود رخ نداده است. در مجموع میانگین عرض رود طی دوره مورد بررسی از سال ۱۳۴۷ تا ۱۴۰۰ به ترتیب ۵۵، ۶۲ و ۶۴ درصد در بازه‌های ۱ تا ۳ کاهش یافته است.

بیشترین تغییرات کاربری اراضی در بازه ۳ صورت گرفت که حاشیه رود از زمینهای کشاورزی تبدیل به مناطق مسکونی و کاربریهای شهری شد. در بازه ۲ که بخش زیادی از آن در سال ۱۳۴۷ در محدوده کاربری مسکونی قرار گرفته بود در سالهای بعد با تراکم بالای ساختمانی و فضاهای شهری تحت اشغال قرار گرفت. کرانه شرقی بازه ۱ عمدتاً تحت کاربری کشاورزی قرار داشته و تجاوز به دشت سیلابی رود و تبدیل آن به زمینهای کشاورزی از عوامل مهم کاهش عرض بستر رودخانه بوده است. اگرچه تجاوز به دشت سیلابی رود با تخلیه نخاله‌های شهری و کاهش ابعاد بستر رود همچنان ادامه دارد (شکل ۳).

یکی از مهم‌ترین اثرات ناشی از فشارهای انسانی تغییرات عرض رودخانه‌ها است که موجب تنگ‌شدگی یا پهن‌شدگی کانال رود می‌شود. در رودخانه هراز کاهش جریان پایه رود، تصرف دشت سیلابی و ایجاد کاربری‌های شهری و کشاورزی و همچنین مهندسی کانال رود و ایجاد دیواره‌های حفاظتی موجب تنگ‌شدگی کانال رود شده است. سد لار در بخشی از حوضه آبریز رود هراز احداث شده و سال ۱۳۶۱ مورد بهره‌برداری قرار گرفت. میانگین دبی سالانه رود هراز طی دوره قبل از احداث سد (۱۳۶۱- ۱۳۲۹)، ۳۳ مترمکعب در ثانیه بوده است که در دوره بعد از احداث سد (۱۳۶۲-۱۳۹۱) به میانگین ۲۸ مترمکعب در ثانیه رسید. بر این اساس کاهش ۱۵ درصدی در جریان پایه رود اتفاق افتاده است.

جدول (۱): خلاصه محاسبات آماری عرض رودخانه در بازه‌های موردمطالعه و مقایسه میانگین آنها
Table (1): Summary of statistical calculations of river width in the studied reaches and their average comparison

سال	بازه	تعداد نمونه	حداقل	میانگین	حداکثر	انحراف معیار	Sig*	توصیف
۱۳۴۷	۱	۱۷	۶۸/۲	۱۲۴/۳	۳۹۰/۷	۱۸/۷۷	۰/۵۵	تفاوت معنادار ندارد.
	۲	۱۶	۶۸	۱۴۱	۲۳۸	۱۲/۹		
	۳	۱۶	۴۴/۹	۱۵۲/۸	۳۵۸	۲۳/۷		
۱۳۸۵	۱	۱۶	۴۱/۹	۵۵/۵	۹۳/۹	۱۴/۶	۰/۶۵	تفاوت معنادار ندارد.
	۲	۱۳	۲۷	۵۲/۹	۸۰	۱۸/۱		
	۳	۱۰	۳۲/۳	۵۷	۱۱۵	۲۵/۵		
۱۴۰۰	۱	۱۶	۳۵	۵۸	۸۱	۱۶/۵	۰/۷۶	تفاوت معنادار ندارد.
	۲	۱۷	۲۶	۵۴/۶	۱۱۵	۲۴/۶		
	۳	۱۰	۳۳	۵۱/۸	۱۲۷	۳۴/۹		

*مقدارSig در سطح معناداری ۰/۰۵ و برای آزمون آنالیز واریانس میانگین عرض بستر رود برای بازه‌های مختلف در یک سال مشخص است.

جدول (۲): مقایسه تغییرات میانگین عرض رودخانه طی سال‌های مختلف برای بازه‌های موردمطالعه با آزمون آنالیز واریانس
Table (2): Comparison of the changes of river mean width during different years for the studied reaches with the analysis of variance (Anova) test

سال / بازه	۱۳۴۷	۱۳۸۵	۱۴۰۰	Sig ۴۷-۱۴۰۰	Sig ۴۷-۸۵	Sig ۸۵-۱۴۰۰
۱	۱۲۴/۳	۵۵/۵۵	۵۷/۹۵	۰	۰	۰/۸۸
۲	۱۴۱/۰۷	۵۲/۹۰	۵۴/۶	۰	۰	۰/۸۱
۳	۱۵۲/۸	۵۷/۰۵	۵۱/۷۹	۰	۰	۰/۶۲

به علاوه، احداث و انشعاب کانالهای آبیاری در بالادست محدوده شهری هم در کاهش جریان پایه نقش دارد که گزارش آماری در دسترس نیست. در هر حال، عرض رودخانه در محدوده مورد بررسی، به طور میانگین نسبت به حالت اولیه ۶۰ درصد کاهش یافته است. مقایسه تغییرات ایجاد شده در رودخانه هراز با سایر مناطق از ایران و جهان هم مؤید چنین اثرات مشابهی در کانال رود است که به عنوان نمونه به چند مورد اشاره می‌شود. یوسفی و همکاران (۲۰۱۷) کاهش ۸۴ درصدی عرض رودخانه تالار (مازندران)، اسماعیلی و همکاران (۱۳۹۷) کاهش ۷۰ و ۶۰ درصدی عرض رودخانه‌های ماشلک و کورکورسر در نوشهر (مازندران)، استکا[1] و همکاران (۲۰۱۹) و فولر[2] و همکاران (۲۰۲۰) در اروپا و بارلو[3] (۲۰۲۲) در نیوزلند، به ترتیب کاهش متوسط ۶۰، ۷۱ و ۵۰ درصدی عرض رودخانه‌ها را به دنبال فشارهای انسانی تأیید نموده‌اند.

1 -Stecca 2- Fuller 3 -Barlow



شکل (۳): تصاویری از اشغال دشت سیلابی رود هراز در محدوده شهر آمل
Figure (3): Images of the occupation of the Haraz river floodplain in the Amol city

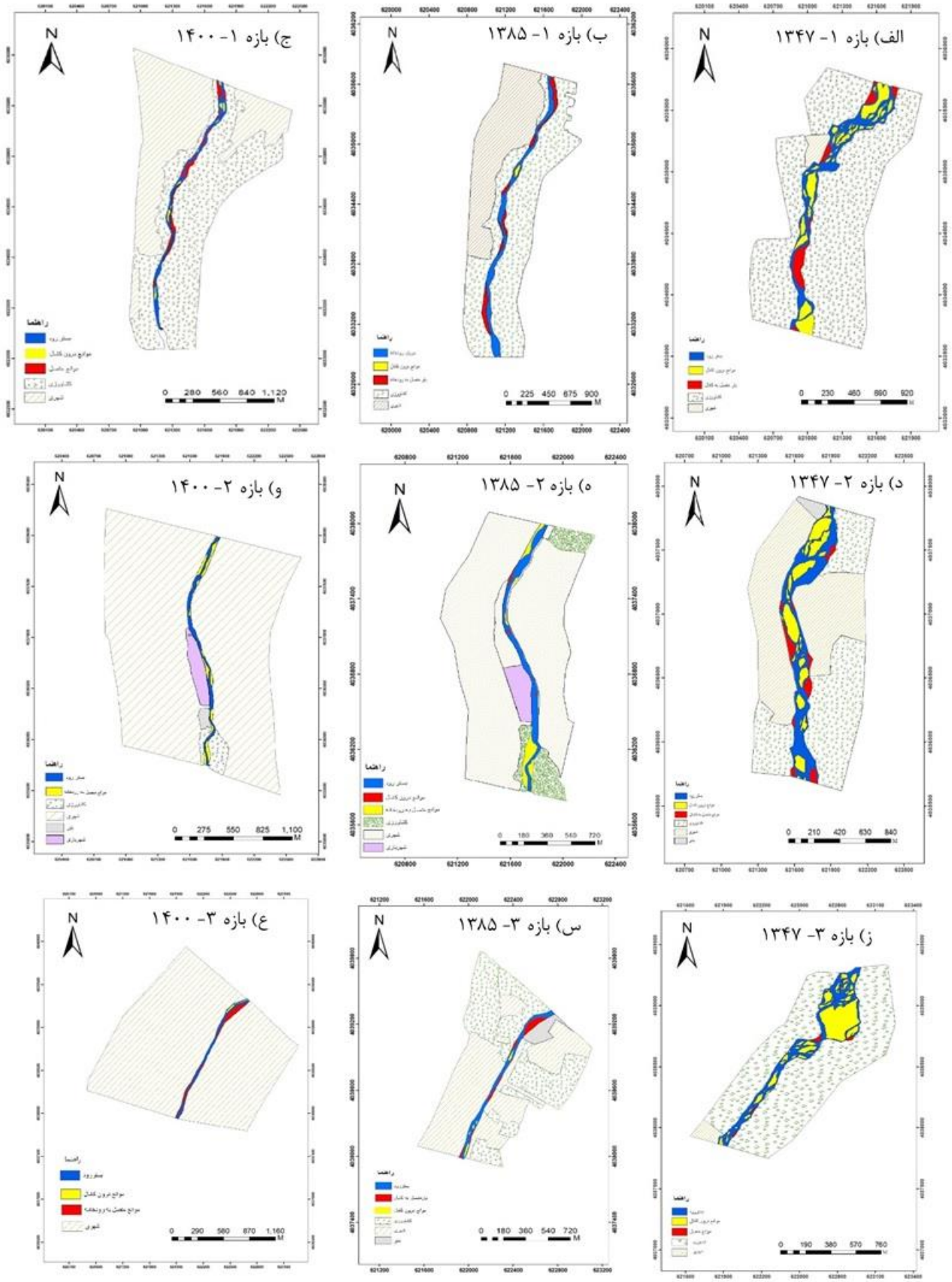
تغییرات در لندفرم‌ها و پلانفرم رودخانه‌ای

تغییرات مساحت لندفرم‌های رودخانه‌ای شامل بستر فعال رود، موانع طولی و موانع جانبی طی سال‌های مختلف برای بازه‌های موردمطالعه در شکل‌های ۴ و ۵ نشان داده شده است.

بستر فعال رود: این لندفرم که مهم‌ترین مسیر جریان آب محسوب می‌شود، مساحت آن طی دوره موردمطالعه ۱۴۰۰-۱۳۴۷ در بازه‌های ۱ تا ۳ به ترتیب ۴۷، ۴۹ و ۶۲ درصد کاهش یافته است.

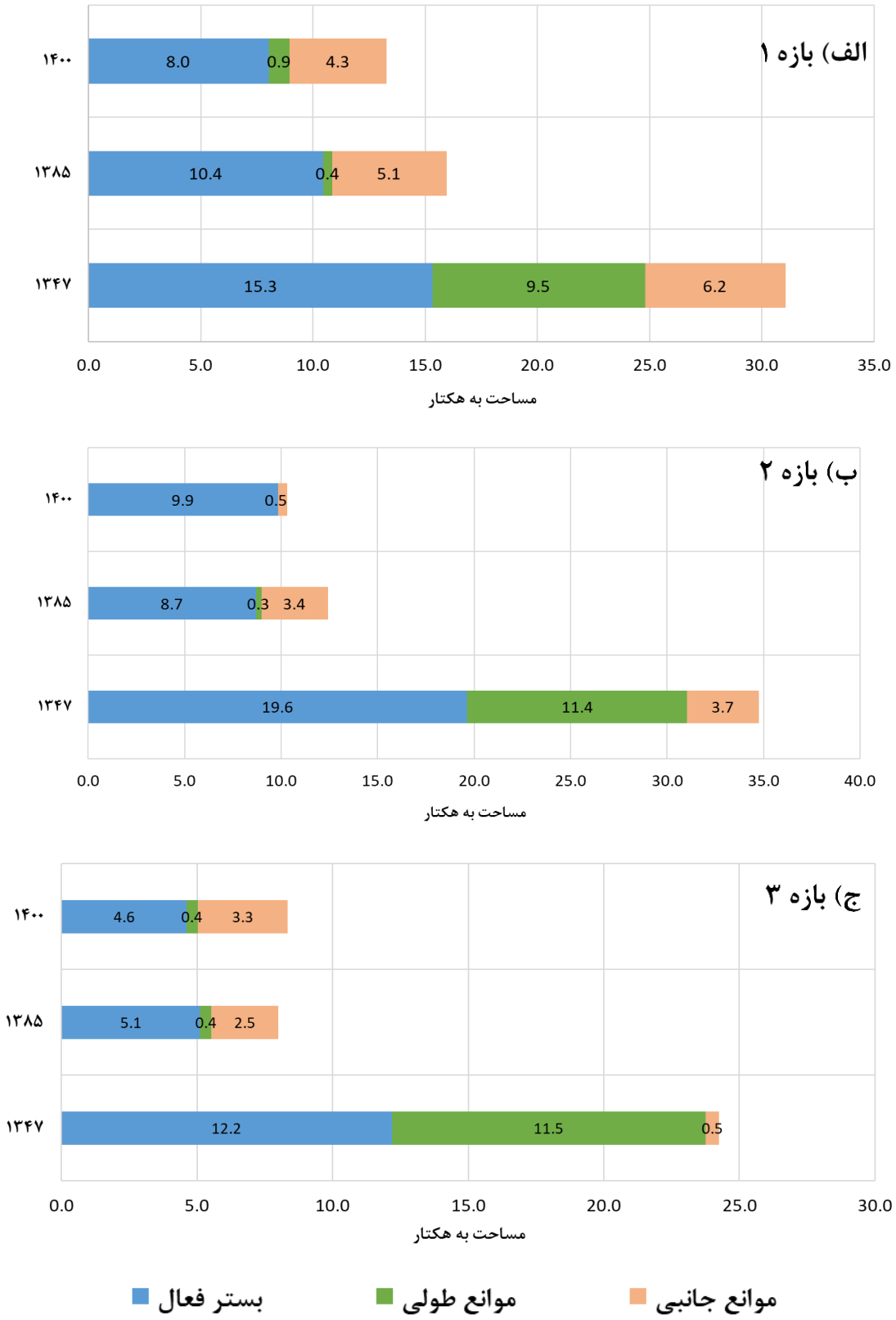
موانع طولی: این لندفرم‌ها، اشکال رسوبی درون رودخانه هستند که به‌عنوان مانع عمل نموده و موجب ایجاد کانال‌های متعدد در بستر رود می‌شوند؛ لذا این موانع عامل مهمی در شناسایی و تفکیک رودخانه‌های شریانی محسوب می‌شوند. مساحت این لندفرم‌ها طی دوره مورد بررسی، در بازه‌های ۱ تا ۳ بین ۹۰ تا ۱۰۰ درصد کاهش یافته است.

موانع جانبی: این لندفرم‌ها اشکال رسوبی متصل به کناره رود هستند. مساحت این موانع در بازه‌های ۱ و ۲ به ترتیب ۳۰ و ۹۵ درصد کاهش یافته است. اما در بازه ۳ مساحت آن بیش از ۵ برابر افزایش یافته است. علت اصلی این افزایش، تبدیل شدن موانع طولی به موانع جانبی به علت کاهش عرض رودخانه بوده است.



شکل (۴): نقشه‌های لندفرم‌های رودخانه‌ای در بازه‌ها و سال‌های مورد مطالعه

Figure (4): Maps of river landforms in the studied reaches and years



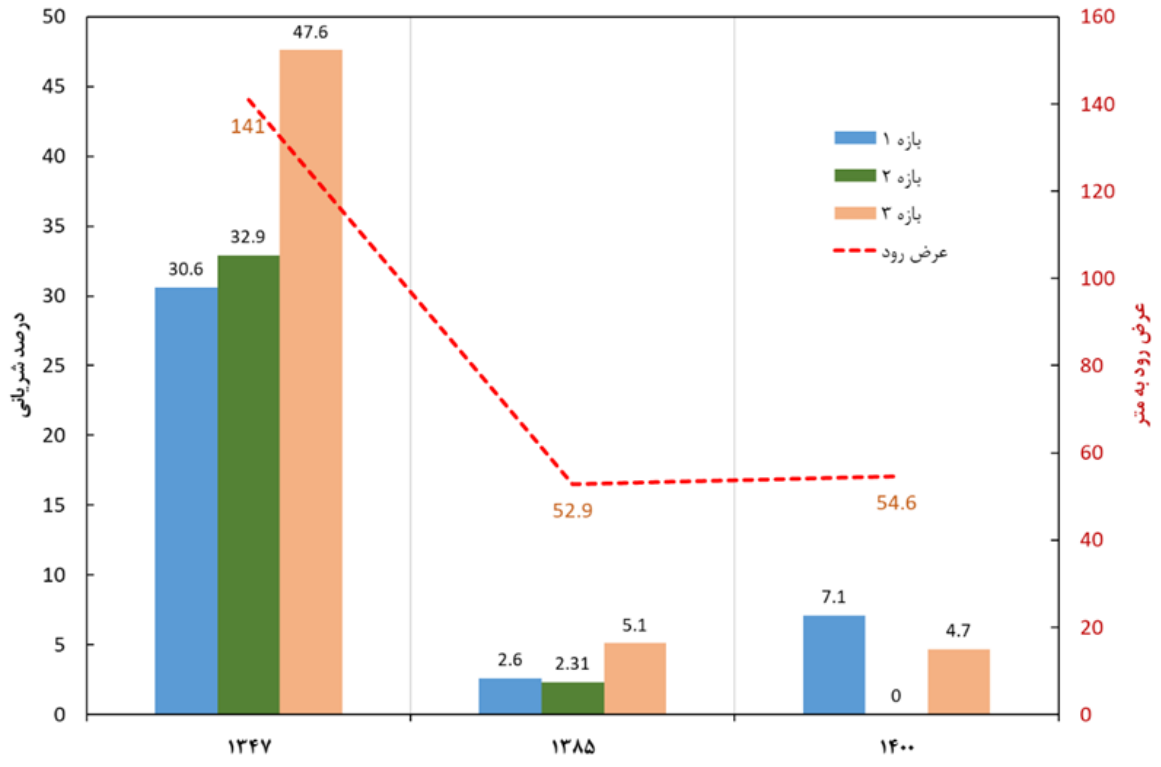
شکل (۵): مساحت لندفرم‌های رودخانه‌ای به تفکیک بازه و سالهای مورد مطالعه

Figure (5): The area of river landforms according to the studied reaches and years

در اینجا نسبت مساحت موانع طولی به مساحت کل بستر رود به‌عنوان شاخص شریانی در نظر گرفته شد. براین‌اساس مقدار این نسبت در بازه‌های ۱ تا ۳ در سال ۱۳۴۷ به ترتیب ۳۰/۶، ۳۲/۹ و ۴۷/۶ درصد بوده است. این مقادیر در سالهای بعد، به کمتر از ۷ درصد در همه بازه‌ها کاهش یافته است(شکل ۶). بیشترین تغییرات در بازه ۲ بوده است که مقدار آن به صفر رسیده است، این بدین معنی است که موانع طولی در دوره مورد بررسی حذف شده‌اند.

عوامل مختلفی می‌توانند رودخانه‌های شریانی را تحت‌تأثیر قرار دهند. در این تحقیق کاهش عرض رودخانه و تنگ‌شدگی کانال رود به‌عنوان عامل اصلی حذف الگوی شریانی رود شناخته شده است. کاهش رودخانه‌های شریانی و تبدیل آنها به رودخانه‌های تک کانالی و سرگردان از پیامدهای فشارهای انسانی در سایر مناطق جهان هم گزارش شده است. گورنل و همکاران (۲۰۰۹) لیستی از رودخانه‌های اروپایی را که در اثر فعالیت‌های انسانی از الگوی شریانی به تک کانالی تغییر شکل داده‌اند را ارائه نمودند. علت اصلی این تغییرات کانال‌سازی رود، برداشت شن و ماسه، تغییر کاربری اراضی و احداث سد بیان شده است. نتایج مشابهی از اثرات انسانی در تغییر الگوی شریانی رود در تحقیقات استکا و همکاران (۲۰۱۹) در اروپا و بارلو (۲۰۲۲) در نیوزلند حاصل شده است.

کاهش مساحت لندفرم‌های رودخانه‌ای که به دنبال اثرات انسانی در رودخانه هراز ایجاد شد موجب کاهش مساحت کانال فعال و موانع طولی رود به ترتیب به مقدار ۵۰ و ۹۵ درصد شده است. فولر و همکاران (۲۰۲۰) برای لندفرم‌های فوق در رودخانه ابرو اسپانیا کاهش مساحت ۴۲ و ۲۱ درصدی و برای رودخانه رانگیتیکی[1] نیوزلند به ترتیب ۵۱ و ۵۶ درصد ارزیابی نمودند.



شکل (۶): درصد شریانی بازه‌های رودخانه‌ای در سالهای مختلف و مقایسه آن با میانگین عرض رودخانه

Figure (6): Braided percentage of river reaches in different years and its comparison with the average width of the river

1 -Rangitikei

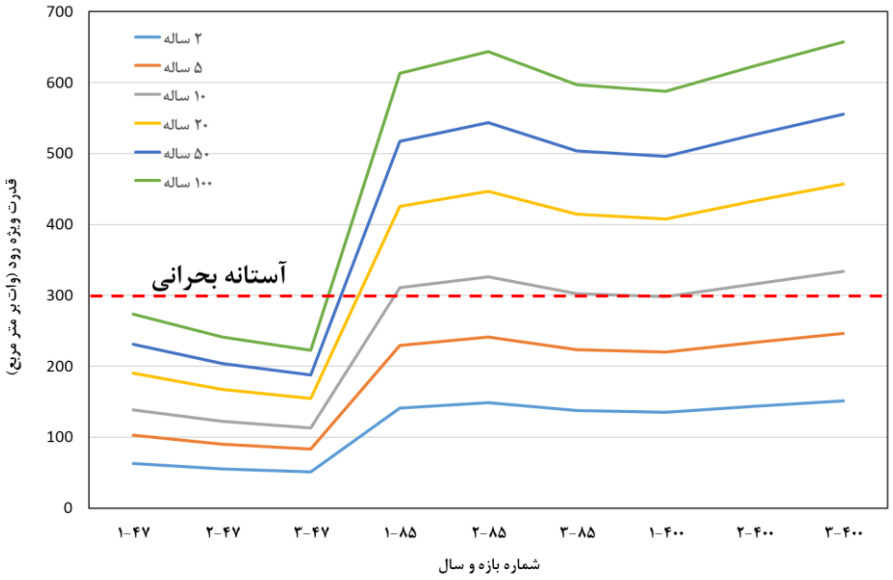
قدرت رود

توانایی انجام کار ژئومورفیک در رودخانه به‌عنوان قدرت رود شناخته می‌شود و به طور گسترده‌ای در ارزیابی حمل رسوب و الگوی ژئومورفیک کانال رود مورداستفاده قرار می‌گیرد (بیزی و لرنر[1] ۲۰۱۵). قدرت رود تابع دبی جریان، شیب و وزن مخصوص آب است. قدرت ویژه رود، قدرت رود را در واحد عرض کانال محاسبه می‌کند؛ لذا شاخص مناسبی برای ارزیابی عملکرد ژئومورفیک در رودخانه محسوب می‌شود.

آستانه بحرانی قدرت ویژه رود برای ایجاد تغییرات مهم ژئومورفیک توسط مگیلیگان[2](۱۹۹۲) مقدار W/m^2 ۳۰۰ پیشنهاد شد و در سایر تحقیقات هم مورداستفاده قرار گرفته است (اورتگا و هیدت[3]۲۰۰۹، تامپسون و کروک[4]۲۰۱۳، بوراس[5]و همکاران ۲۰۱۴).

شکل ۷ مقادیر قدرت ویژه رود را برای عرض میانگین بازه‌ها نشان می‌دهد. بر این اساس قدرت ویژه رود برای هر سه بازه در سال ۱۳۴۷ در سیلابهای با دوره بازگشت ۱۰۰ سال به این آستانه بحرانی نرسیده است. اما با کاهش میانگین عرض رودخانه در سالهای بعد (۱۴۰۰ و ۱۳۸۵)، حتی با سیلابهای با دوره بازگشت ۱۰ سال، قدرت ویژه رود بالاتر از آستانه قرار گرفته است. این حالت افزایش قدرت رود را برای انجام تغییرات ژئومورفیک در بازه‌ها نشان می‌دهد. همچنین با افزایش قدرت رود، امکان جابجایی ذرات بزرگ در اندازه قطعه سنگ (با قطر بیش از ۲۵۶ میلیمتر) در سیلابهای با دوره بازگشت ۵ و ۱۰ ساله فراهم می‌شود.

همان‌طور که اشاره شد عرض رودخانه هراز در بازه‌های موردمطالعه بیش از ۶۰ درصد کاهش یافته است. این کاهش عرض کانال، موجب تنگ شدن بستر رود و تغییر الگوی رود از حالت شریانی به حالت تک کانالی شده است. لذا با افزایش سه برابری قدرت رود، توان فرسایشی رود هم افزایش یافته که اثرات آن بر بستر و کناره‌های رود مشاهده می‌شود. با توجه به بررسیهای میدانی، فروسایی بستر رود (کف‌کنی بستر) از مهم‌ترین اثرات این تغییرات محسوب می‌شود که به صورت زیربری در پایه پل‌ها، دیوارهای حفاظتی و تراسهای کناری مشاهده می‌شود (شکل۸). فرسایش کناری هم به علت تمرکز جریان در قوسهای مقعر رود یکی دیگر از مخاطرات کانال رود در این بازه‌ها محسوب می‌شود.



شکل (۷): تغییرات قدرت ویژه رود در بازه‌ها و سالهای مورد مطالعه، خط چین قرمز به عنوان آستانه مشخص شده است

Figure (7): The changes in the specific stream power in the studied reaches and years, the red dashed line is marked as the threshold

1- Bizzi and Lerner
2- Magilligan
3- Ortega and Heydt
4 -Thompson and Croke
5 -Buraas



شکل (۸): تصاویری از مخاطرات ژئومورفولوژیکی رودخانه هراز، الف) زیربری و تخریب دیوار حفاظتی، ب) زیربری دیوار حفاظتی در اثر فروسایی بستر رود، ج) فرسایش کناره مقعر و زیربری، د) فروسایی بستر رود در پایه پل، ه) فروسایی و فرسایش کناره رود

Figure (8): Geomorphological hazards of Haraz River, a) Undercutting and destruction of protective wall, b) Undercutting of protective wall due to incision of river bed, c) Erosion of concave bank and undercutting, d) Incision of river bed at the base of the bridge, e) Incision and river bank erosion

نتیجه‌گیری

دخالت‌های انسانی و تغییرات کاربری اراضی فشارهای زیادی را بر سیستم‌های رودخانه‌ای در مقیاس حوضه و بازه در سطح جهان وارد نموده است. کاهش جریان رود با فعالیت‌های سدسازی و کانال‌های آبیاری، محدودکردن دیواره رود و تغییرات کاربری حاشیه رودخانه از مهم‌ترین فعالیت‌های تأثیرگذار بر مورفولوژی رودخانه هراز در محدوده شهری بوده است. در مجموع، مساحت رودخانه هراز با احتساب بستر فعال رود، موانع طولی و جانبی حدود ۶۰ درصد کاهش یافته است. با تغییرات عرض رودخانه و مورفولوژی رود و افزایش قدرت رود مخاطرات متعددی ایجاد شده است. با توجه به بررسی‌های میدانی تغییرات کاربری حاشیه رود و تصرف دشت سیلابی همچنان توسط شهرداری و مردم ادامه دارد.

چالش مهم‌تر زمانی رخ خواهد داد که با احداث سد هراز که در ۲۰ کیلومتری شهر آمل قرار گرفته و به زودی مورد بهره‌برداری قرار خواهد گرفت، کاهش جریان ورودی بیشتر شده و به دنبال آن تصرف حاشیه رود شدت یابد. با رهاسازی آب پشت سدها در زمانهای سیلابی خاص، مشکلات جدی برای ساکنین شهر و مناطق پایین‌دست ایجاد نماید مانند مشکلاتی که در شهرهای اهواز، شیراز و غیره اتفاق افتاده است. لذا بهسازی و احیاء کانال، ایجاد محدودیت جدی برای جلوگیری از تصرفات سازمانی و غیرسازمانی در بستر رود به عنوان یک اولویت مهم در مدیریت رودخانه ضرورت دارد.

اگرچه مقایسه مطالعه حاضر با سایر تحقیقات نشان‌دهنده تغییرات اساسی در رژیم جریان و تغییرات مورفولوژیکی رودخانه‌ها در سطح جهان است. اما این بدین معنی نیست که موضوع مدیریت رودخانه‌ها به تغییرات اقتصادی - اجتماعی جامعه واگذار شود و این مسئله در چارچوب مدیریت جامع شهری مورد غفلت قرار گیرد.

References

Ashmore, P., McDonald, J., & Barlow, V. (2023). Multi-decadal changes in river morphology in an urbanizing watershed: Highland Creek, Toronto, Canada. *Geomorphology*, 433, 108710.

Barlow, V. (2022). Measuring the Morphologic Response of Braided Rivers to Lateral Constriction (Doctoral dissertation, The University of Western Ontario (Canada).

Bevan, V., MacVicar, B., Chapuis, M., Ghunowa, K., Papangelakis, E., Parish, J., & Snodgrass, W. (2018). Enlargement and evolution of a semi-alluvial creek in response to urbanization. *Earth Surface Processes and Landforms*, *43*(11), 2295-2312.

Bizzi, S., & Lerner, D. N. (2015). The use of stream power as an indicator of channel sensitivity to erosion and deposition processes. *River Research and Applications*, *31*(1), 16-27.

Buraas, E. M., Renshaw, C. E., Magilligan, F. J., & Dade, W. B. (2014). Impact of reach geometry on stream channel sensitivity to extreme floods. *Earth Surface Processes and Landforms*, *39*(13), 1778-1789.

Chin, A. (2006). Urban transformation of river landscapes in a global context. *Geomorphology*, *79*(3-4), 460-487.

Chin, A., & Gregory, K. (2009). From research to application: Management implications from studies of urban river channel adjustment. *Geography Compass*, *3*(1), 297-328.

Chin, A., O'dowd, A. P., & Gregory, K. J. (2013). 9.39 urbanization and river channels. *Treatise on geomorphology*, 809-827.

Esmaili, R., & Lorestani, G. (2015). Assessment of Urbanization effects on geomorphic characteristics of streams, Case study: Nour city, Mazandaran Province. *Researches in Earth Sciences*, 6(4), 78-93. [In Persian]

Esmaili, R., Rafiee, M., Lorestani, G., & Bozogmehr, K. (2018). The classification of channel Stream Hazards in Urban Areas (Case Study: Mazandaran Province, Noshar). *Journal of Geography and Environmental Hazards*, 7(2), 37-52. [In Persian]

Fuller, I. C., Death, R. G., Garcia, J. H., Trenc, N., Pratt, R., Pitiot, C., & Death, A. (2021). An index to assess the extent and success of river and floodplain restoration: Recognising dynamic response trajectories and applying a process-based approach to managing river recovery. *River Research and Applications*, 37(2), 163-175.

Ghanavati, E., Saffari, A., Karam, A., Najafi, E., & Jahandar, G. (2016). Investigation on Hydrogeomorphologic Characteristics of Tehran Metroplis Watersheds with Emphasis on the Flood Prone Zones. *Hydrogeomorphology*, 3(6), 33-54.

Ghaforpuranbaran, P., Ahmadabadi, A., Ghanavati, E., & Yasi, M. (2023). Hydro-Morphological Analysis of Karaj River in the Urban Area from Beylqan to the Railway Bridge. *Geography and Environmental Sustainability*, 13(1), 21-39. [In Persian]

Gregory, K. J., & Chin, A. (2002). Urban stream channel hazards. *Area*, 34(3), 312-321.

Gregory, K., & Chin, A. (2018). Evaluation of the imprint of urban channel adjustment and management. *The Geographical Journal*, *184*(3), 269-282.

Gurnell, A., Lee, M., & Souch, C. (2007). Urban rivers: hydrology, geomorphology, ecology and opportunities for change. *Geography compass*, *1*(5), 1118-1137.

Gurnell, A., Surian, N., & Zanoni, L. (2009). Multi-thread river channels: a perspective on changing European alpine river systems. *Aquatic Sciences*, 71, 253-265.

Hawley, R. J., & Bledsoe, B. P. (2013). Channel enlargement in semiarid suburbanizing watersheds: A southern California case study. *Journal of Hydrology*, *496*, 17-30.

Hawley, R. J., MacMannis, K. R., Wooten, M. S., Fet, E. V., & Korth, N. L. (2020). Suburban stream erosion rates in northern Kentucky exceed reference channels by an order of magnitude and follow predictable trajectories of channel evolution. *Geomorphology*, *352*, 106998. Henshaw, P. C., & Booth, D. B. (2000). Natural restabilization of stream channels in urban watersheds 1. *JAWRA Journal of the American Water Resources Association*, *36*(6), 1219-1236.

Hosseinzadeh, M.M., & Esmaili, R. (2015). Fluvial geomorphology, concepts, landform and processes, Tehran, Shahid Beheshti University. [In Persian]

Jamali, M., Moghimi, E., Jafarpour, Z., & Kardovani, P. (2016). Effects of Physical Development and Urban Land Use Change on Riparian Areas (Case Study: Khoshk River in Shiraz City, Iran). *Human Geography Research*, 48(3), 591-602. [In Persian]

Jordan, B. A., Annable, W. K., Watson, C. C., & Sen, D. (2010). Contrasting stream stability characteristics in adjacent urban watersheds: Santa Clara Valley, California. *River Research and Applications*, *26*(10), 1281-1297.

Magilligan, F. J. (1992). Thresholds and the spatial variability of flood power during extreme floods. *Geomorphology*, *5*(3-5), 373-390.

Nath, A., & Ghosh, S. (2022). Assessment of river morphology based on changes in land use and land cover and the spatial and temporal variation of meandering parameters of the barak river. *Water Practice & Technology*, 17(11), 2351-2370.

Nejadhosseini, R., Goorabi, A., Moghimi, E., & gholami, F. (2017). Geometric changes of detection of Beshar river in Yasouj city areas and its role in sustainable urban development. *Geographical Planning of Space*, 7(25), 155-170. [In Persian]

Ortega, J. A., & Heydt, G. G. (2009). Geomorphological and sedimentological analysis of flash-flood deposits: The case of the 1997 Rivillas flood (Spain). *Geomorphology*, *112*(1-2), 1-14.

Rashidi, M., Hosseinzadeh, S. R., Sepehr, a., Zarei, h., & Khanebad, m. (2016). The study of geomorphological changes in karun river and its reasons in the period of 1954-2011 (1334-1391). *Quantitative Geomorphological Research*, 5(1), 43-59. [In Persian]

Saffari, A., Ghanavati, E., & Alipour, D. A. H. (2023). Investigation of morphology changes in Karun River and its hazards (Case Study: Bandagir to Khorramshahr). *Journal of Applied Research in Geographical Sciences*. 23(68), 199-222. [In Persian]

Salawu, O. G., & Leke, D. (2024). Assessment of Changes in Channel Width and Braiding: The Implications on Flooding Upstream of Shiroro Reservoir in river Kaduna, Kaduna State, Nigeria. *Journal of Applied Sciences and Environmental Management*, 28(1), 179-186.

Stecca, G., Zolezzi, G., Hicks, D. M., & Surian, N. (2019). Reduced braiding of rivers in human-modified landscapes: Converging trajectories and diversity of causes. *Earth-science reviews*, 188, 291-311.

Talebi, Z., Ayyoubzadeh, S. A., Mostafavi, H., Hoseinzadeh, M. M., & Shafizadeh, H. (2023). Morphological analysis and evaluation of the river based on morphological characteristics, artificial structures and channel adjustment (case study: Talar River - from upstream to Shirgah). *Environmental Sciences*, doi: 10.48308/envs.2023.1250. [In Persian]

Taniguchi, K. T., & Biggs, T. W. (2015). Regional impacts of urbanization on stream channel geometry: A case study in semiarid southern California. *Geomorphology*, *248*, 228-236.

Thompson, C., & Croke, J. (2013). Geomorphic effects, flood power, and channel competence of a catastrophic flood in confined and unconfined reaches of the upper Lockyer valley, southeast Queensland, Australia. *Geomorphology*, *197*, 156-169.

Yamani, M., Gourabi, A., & Abedini, Z. (2015). The Analysis of Morphological Changes in the Pattern of Babolroud by Transect Technique. *Hydrogeomorphology*, 2(3), 137-157.

Yousefi, S., Moradi, H. R., Keesstra, S., Pourghasemi, H. R., Navratil, O., & Hooke, J. (2019). Effects of urbanization on river morphology of the Talar River, Mazandarn Province, Iran. *Geocarto International*, 34(3), 276-292.

Investigationon Groundwater Recharge Mapping Using GIS based intgarted spatial sdeceion making systesms A Case Study from Quetta Region, Pakistan

Imad Ali[1]*, Maryam Byati khatibi[2], Sadra Karimzadeh[3]

1. Ph. D. Student, Department of Remote Sensing and GIS, University of Tabriz, Tabriz, Iran. imadali_khan@yahoo.com
2. Professor, Department of Remote Sensing and GIS, University of Tabriz, Tabriz, Iran. m_bayati@tabrizu.ac.ir
3. Ascociate professor, Department of Remote Sensing and GIS, University of Tabriz, Tabriz, Iran. skharimzadeh@tabrizu.ac.ir

Keywords

Groundwater recharges zoning; Analytical hierarchy process; Integrated-Analytical hierarchy process; Frequency ratio; Quetta region;Pakistan.

Received: 2024/04/20

Accepted: 2024/06/24

Published: 2024/10/21

ABSTRACT

Groundwater is an essential resource in arid and semi-arid regions, where water scarcity and droughts are common. The Quetta region of Pakistan is one such area that requires effective groundwater recharge zone mapping to manage groundwater resources adequately. This study aimed to delineate groundwater recharge zones using a combination of analytical hierarchy process (AHP), fuzzy-AHP, and frequency ratio (FR) models. Additionally, it aimed to compare the effectiveness of these models in groundwater recharge potential zone mapping. To achieve these objectives, nine groundwater influencing factors were considered, including geology, soil types, lineament density, elevation, slope, topographic wetness index, drainage density, land use land cover, and rainfall. Thematic maps for all these factors were generated using satellite and conventional data in the ArcGIS environment. Weight was assigned to each thematic layer based on its significance to recharge. All thematic layers were combined using AHP model-l (WLC), AHP model-ll (Weighted sum), fuzzy-AHP overlay, and FR-based model using ArcGIS. The findings revealed that 15% and 39% of the study area have high recharge potentials according to AHP-based model-l and model-ll, respectively. The FAHP model demarcated 43% of the area as high recharge zones while the FR model demarcated 42% of the area as high recharge zones. The majority of high groundwater recharge areas were found in the central part of the study area, while the southern part was demarcated as a moderate recharge zone. The eastern and western parts were demarcated as low recharge potentials zones. To validate the accuracy of these models, the study used receiver operating characteristic (ROC) validation curves. The ROC curves revealed that AHP model-ll had the highest accuracy (AUC=89%) followed by the FAHP model (AUC=88%), AHP model-l (AUC=84%), and FR (AUC=81%). In conclusion, AHP model-ll was shown to be more effective in recharge zone demarcation compared to FAHP and FR models in the current study. The results of this study can benefit decision-makers in GW resource management and future planning in land use for urban extension, particularly in water-scarce regions of the country. Moreover, it can assist in the installation of future boreholes or dug/tube wells in the study area, which can minimize the cost and effort of hydrogeological investigation. This study's findings can provide valuable insights to professionals, researchers, and policymakers working in groundwater resource management.

* Corresponding Author: Imad Ali
E-mail: imadali_khan@yahoo.com

How cite to this article: Imad Ali, Maryam Byati khatibi, Sadra Karimzadeh (2024). A Comparative Study of Groundwater Recharge Mapping Using GIS based intgarted spatial sdeceion making systesms: A Case Study from Quetta Region, Pakistan. Hydrogeomorphology, 11(40): 58 – 86.

DOI: 10.22034/hyd.2024.61290.1734

Copyright: ©2024 by the authors Publisher: University of Tabriz

Water is known as critical source of life indeed. Certainly, population evolution, aging infrastructure, climate change, and an upsurge in strict water quality standards are the main aspects that evidence it (Chandra, 2006; Selvam et al., 2014). Despite its importance, water is a poorly managed natural resource on the earth's planet (Miller & Spoolman, 2007). Groundwater (GW) is a type of water present in subsurface fractured lithological formations and soil pores (Gebrie et al., 2018). In both developed and developing countries worldwide, GW has emerged as a vital and reliable source of water for both urban and rural areas (Todd & Mays, 2004). GW is the foremost source of water for irrigation and agricultural activities worldwide. It is worth noting that more than 60% of agricultural practices are dependent on GW (Thakur et al., 2018).

Pakistan ranks fourth in the world in terms of the amount of GW extracted for irrigation purposes. Only 27% of the entire area is irrigated by surface water supplies, while the remaining 73% depends on GW either directly or indirectly. Presently, around 1.2 million private tube wells abstracting GW in the country, having an annual abstraction rate of around 65 billion cubic meters (Qureshi, 2020). Baluchistan province is situated in an arid to semi-arid climatic zone of Pakistan. In this area, the source of surface water is non-perennial, which means that GW is the only dependable source for municipal, industrial, and agricultural usage (Abdul S. Khan & Khan, 2013; Abdul S Khan et al., 2013; Mondal & Dalai, 2017; Watto, 2015). Agriculture is the key pillar of the economy of about 85% population of the province (Ashraf et al., 2014). The province was hit by numerous severe droughts in history, which had a radical influence on livelihoods and its economy and destroyed around 80% of its fruit orchids(Ashraf & Routray, 2015).Over 40% of the population of the province resides in the Pishin basin, with most living in and around the Quetta region (study area). Over the course of the last decade, the population of the Quetta region has experienced a significant increase from 1.02 million to 1.8 million individuals. The escalation of population density has been observed to correlate with a subsequent surge in the demand for agricultural and industrial water, ultimately leading to an exacerbation of water scarcity in the study area. This phenomenon highlights a significant challenge that needs to be addressed, as it poses a serious threat to the sustainable management of water resources (Ali & Aftab, 2022).

Effective watershed management is crucial to ensure the sustainability of our natural resources. It comprises of the socio-economic, biophysical, and human interrelationship among water, soil, land use, and ecosystem. The concept of watershed management involves taking into account socio-economic and institutional factors both within and outside the watershed area, while striving to minimize harm to natural resources (Aher et al., 2014; Ffolliott et al., 2012).Research reveals that if the watersheds are not managed in an integrated sustainable way, led to a diminution of natural resources i.e., water, vegetation, soil fertility, flora and fauna, etc(Ma, 2004).Understanding the scenario of GW resources is crucial for ensuring sustainable development in a region (Selvam et al., 2014).The GW recharge potential mapping and delineation is among the most important and prior stages in GW resources management and planning (Chen et al., 2018).

The utilization of geospatial technologies is essential for the successful exploration of groundwater and the effective management of watersheds. These innovative technologies enable the measurement, analysis, and visualization of geospatial data, thus facilitating the identification of water resources and the monitoring of hydrological processes. As such, geospatial technologies play a crucial role in the evaluation and management of water resources, aiding decision-makers in making informed and effective decisions that ensure sustainable water use. Geospatial technologies are a more efficient and cost-effective alternative to traditional methods. They allow for quicker completion of tasks, while also reducing overall costs (Faust et al., 1991; Gebrie et al., 2018; Israil et al., 2006).GIS coupled with MCDA covers a large area in a short period to map and identify GW recharge potential zones (Senthilkumar et al., 2019).Several researchers around the globe (Alam et al., 2022; Allafta et al., 2021; Argaz et al., 2019; Chandramohan et al., 2019; Dabral et al., 2014; Hayat et al., 2021; Kabeto et al., 2022; Maqsoom et al., 2022; Razandi et al., 2015; Sardar et al., 2022; Senthilkumar et al., 2019; Uc Castillo et al., 2022; V.Keshavan et al., 2017; Xu et al., 2021) have applied GIS and RS-based techniques for identification of GW recharge potential zones. They used GIS-based models like the Analytical hierarchy process (AHP), fuzzy logic, frequency ratio (FR), Multi-criteria decision analysis, Shannon's entropy, artificial neural network (ANT), etc.

A truly little geospatial technology-based approach has been adopted in the country as well as in the study area. This study employs geospatial technology to develop thevdelineation of GW recharge potential zones in the Quetta region of Pakistan. The research will apply remote sensing (RS) and geographic information system (GIS) along with the analytical hierarchy process (AHP), fuzzy-AHP, and frequency-ratio (FR) models. Mapping groundwater recharge potential zones will assist decision-makers in groundwater resource management and future land use planning.. In drought-prone regions where the GW table is relatively deep, ensuring a consistent supply of clean water has been a significant challenge. This study will also help in the installation of future dug/tube wells or boreholes in the study area which can minimize the cost and effort of hydrogeological investigation.

Methodology

Study area

Baluchistan is the largest province of Pakistan that spreads over an area of about 347,000 km². Geographically, it constitutes about 43% of the total area of the country. Hydrologically, Baluchistan is divided into 18 river basins, namely, Dasht, Gaj, Gawadar, Hab, Hamun-e-Lora, Hingol, Hmun-e-Mashkhel, Kachiplain, Kadnai, Kaha, Kand, Kundar, Mula, Nari, Pishin, Porali, Rakhshan, and Zhob. The Study area of Quetta region is a part of the Pishin River Basin, lies at Latitude from 29º45`00``to 30º30`00``, Longitude from 66º45`00 to 67º20'00 (shown in Fig, 1.).
The topography of the study area is varied and includes elongated mountain ridges, depressions, and small plains. The height of the sub-basin gradually rises as you move towards the northeast of Quetta Valley. This is where the Zarghoon Range is located, forming the highest peak in the area at 3,519 meters above sea level (masl). In Zargoon, the streams flow through gorges with extremely steep slopes. The Takatu Range of 3,401 masl is exposed in the north of the valley. The Chiltan Range is 3,261 masl exposed in the west and the Murder Ghar is 3,134 masl exposed to the east of the study area. The central part is somehow flat and gently sloping toward the south along the drainage pattern. The average topographic elevation of the study area is 1,650 masl.

.



Fig(1): Location map of Balochistan showing 18 River Basins. The enlarged map of Pishin River basin (orange color) shows nine subbasins including Quetta Subbasin (Study area) and the location of meteorological station Quetta(Ali & Aftab, 2022)

Datasets acquisition sources and preparation of thematic layers/maps

The acquisition of data is the most critical step in research. The selection of influencing factors is a key stage in GW recharge studies (A. A. Ahmed & Shabana, 2020; R. Ahmed & Sajjad, 2018).In the current study influencing factors were considered based on its importance to the GW recharge and extensive literature review. Thematic maps were constructed from satellite and conventional data by using ArcMap 10.8. A Digital Elevation Model (DEM) with a 30m resolution was downloaded from the open topography website (https://portal.opentopography.org/) and was further employed to generate thematic maps, such as slope, elevation, TWI, drainage density, and lineament density.

Geology thematic layer

Geology signifies the physical makeup of rocks including their mineral compositions and grain size arrangement, etc. (Freeze, 1984).The type of rock has a significant impact on how groundwater moves because it determines the flow mechanisms and infiltration (Jerbi et al., 2018; Tolche, 2021).In the current study geological map (1:250000 scale) was collected from a geological survey of Pakistan, and was rectified and digitized by using ArcGIS-10.8. Ultimately, the thematic map was transformed from vector to raster format prior to assigning weights and ranks (Fig, 2.A).

Lineament Density (LD) thematic layer

Lineaments provided valuable details on the underground geology and physical characteristics like fractures, faults, and joints. Lineaments express local and regional tectonic behavior; and also act as reservoirs and channels for hydrocarbons and mineral deposits (El-Sawy et al., 2016).The automatic line extraction in PC1 was done with Geomatica 2016. Discontinuities were verified using the "Split Line Tool" in ArcMaphe "Split Line Tool" in ArcMap. Ultimately, the density map of lineaments was created by employing the "Line Density Tool" in ArcMap (Fig, 2. B).

Soil types thematic layer

The infiltration process is greatly influenced by the texture of the soil, which makes soil one of the main influencing factors in GW recharge studies (Das, 2019).The soil map was downloaded from ISRIC (https://www.isric.org/). The study area comprised seven types of soil namely; calcisols, combisols, fluvisols, gypsisols, leptosols, luvisols, and regosols (Fig, 2. C).

Slope thematic layer

The slope represents the angle between the tangent plane and the horizontal plane at any given point (Maidment, 1993). The slope plays a crucial role in determining the flow formation process and infiltration rate (Simmers, 1990). Many of researchers reported an inverse relation between slope and infiltration rate (Chaplot & Le Bissonnais, 2000; Essig et al., 2009; Yuan et al., 2001). Gentle slope areas have a high infiltration rate, so more suitable for GW recharge and vice versa (Liu et al., 2018).The slope map of the study area was generated from DEM using the "Spatial Analysis tools" in ArcGIS 10.8.(Fig, 2.D). The study area includes steep areas, with high slopes found in the northern and eastern sections due to the mountainous terrain, making slope a key factor in the current study.

Topographic Wetness Index (TWI) thematic layer

TWI describes how topography affects hydrologic processes. It relates to GW flow movement and its retentions in subsurface zones(Raduła et al., 2018). TWI is computed as (Equation.1);

$$\mathrm{TWI} = \ln(\alpha | \tan \beta) \quad (1)$$

Where, α denotes Specific contributing area and β denotes Topographic slope of the area.

Areas with higher topographic wetness index (TWI) values are more suitable for GW recharge, as they indicate higher GW potential zones. This is in contrast to areas with lower TWI values. (Arulbalaji et al., 2019).To achieve this, in ArcMap, we first projected the digital elevation model (DEM) to WGS84/UTM Zone 42 N. Then, we followed a series of steps including filling the DEM, determining the flow direction and accumulation, calculating the slope in degrees, calculating the radiance of slope, and scaling the flow accumulation. Finally, we determined the TWI using the natural logarithm of the scaled flow accumulation divided by the tangent of the slope (Fig, 2.E).

Drainage Density (DD) thematic layer

Drainage density represents spatial distribution of the streams length per unit area (Adiat et al., 2012; Carlston, 2018; Selvam et al., 2016).Drainage density is one of the key factors in assessing and distribution of GW potentials over an area (Arshad et al., 2020b; Harinarayana et al., 2000; Saranya & Saravanan, 2020). It describe the occurrence and flow pattern of water under the surface(A. Khan et al., 2020; Selvam et al., 2016). The DD has an inverse relationship with the permeability (Chowdhury et al., 2010). DD and surface runoff have a direct relationship with each other. In regions with low DD, infiltration is greater compared to regions with high DD (Magesh et al., 2012) and good sources of high GW recharge (Srivastava & Bhattacharya, 2006).

The DD value is computed as (Equation.2) (Yeh et al., 2009):

$$\mathrm{DD} = \frac{\sum_{i=1}^{i=n} Si}{A} \quad (2)$$

Where, Si denotes the total length of drainage in km and A is the area in km².

The Stream Network was generated using "Hydrology Tool" in ArcMap. The following steps were taken: Fill DEM> Flow Direction> Flow Accumulation> Stream Order> Stream to Feature> and line density (Fig. 2.F).

Elevation thematic layer

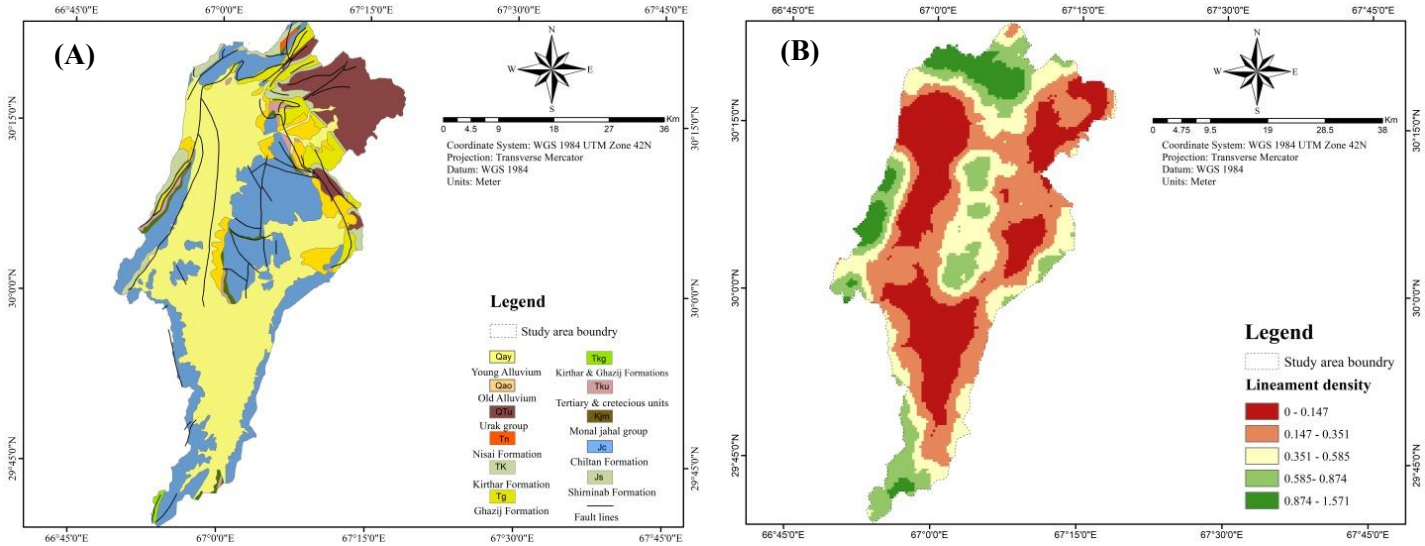
Altitude is a crucial factor in GW recharge as it triggers water flow under gravity(R. Ahmed & Sajjad, 2018; Gebreyohannes et al., 2017). Studies have indicated that the transfer of water from higher to lower altitudes is more pronounced in mountainous regions due to their elevated levels. Moreover, it has been established that flat surfaces are more effective in recharging water sources as compared to inclined surfaces and high-altitude regions(Liu et al., 2018). The study area consists mostly of mountainous regions with steep altitudes, leading altitude to be a critical factor that impacts groundwater recharge in the study. (Fig. 2.G).

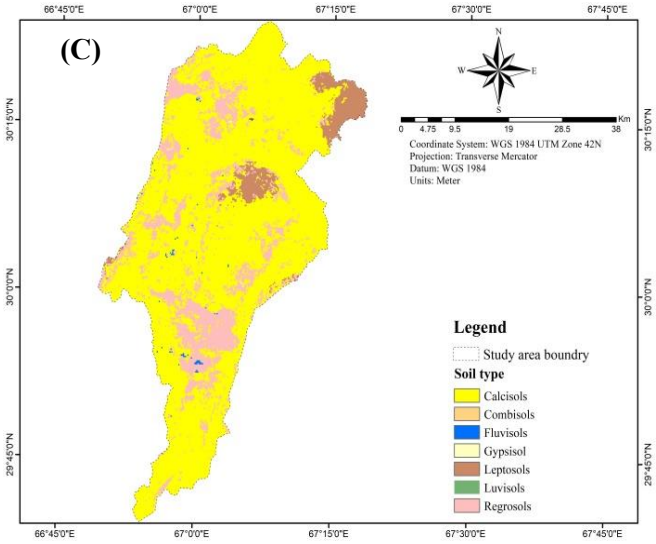
Land use land cover (LULC) thematic layer

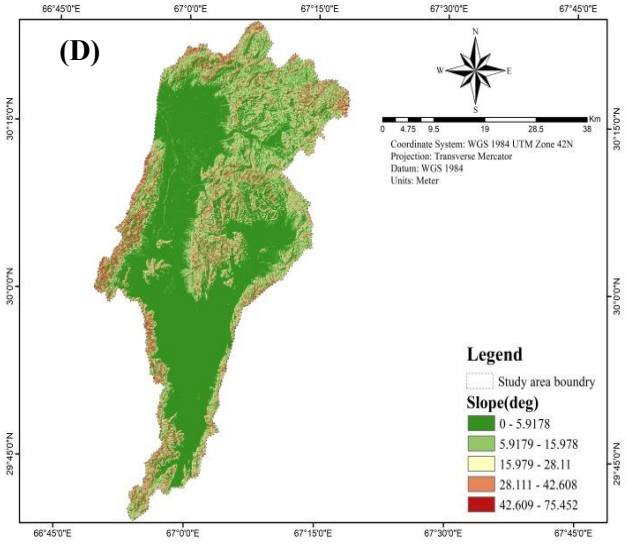
The Land Use and Land Cover (LULC) is a crucial factor in determining appropriate locations for GW recharge (Singh et al., 2013). For the purposes of our current study, we utilized a LULC map that was conveniently available for download from the Living Atlas by Esri. The exact website that we obtained the map from can be found at https://livingatlas.arcgis.com/.The study area having six classes; waterbody, trees, cropland, builtup, barenland and rangeland (Fig, 2.H).

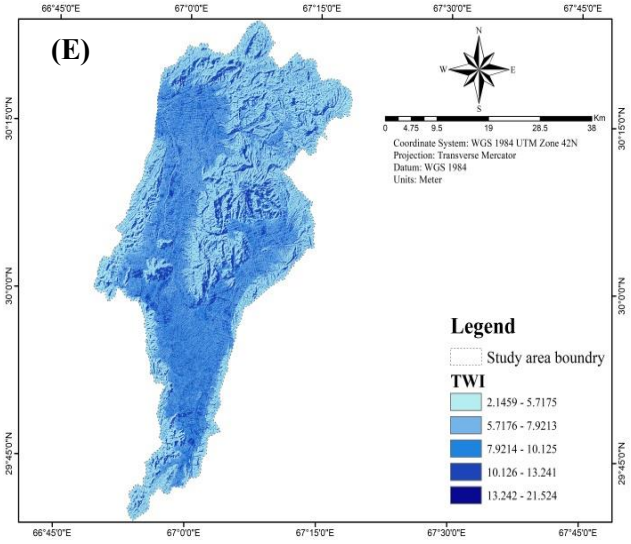
Rainfall thematic layer

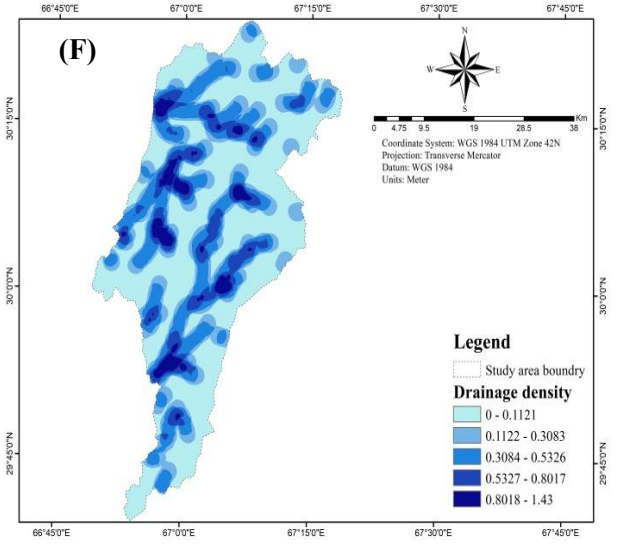
The characteristics of rainfall affect infiltration, runoff, and GW recharge(Kotchoni et al., 2018; Mahalingam & Vinay, 2015). The study has obtained rainfall data from the department of irrigation, Balochistan. The data covers the last 30 years (1980 to 2010), and the average rainfall data from multi-rain gauge stations were interpolated using the “Spatial Analyst Tools” > Interpolation > IDW. This process produced a rainfall contour map that was used to extract the rainfall map for the study area by applying the "Spatial Analyst Tool" > Extraction > Extract by Mask (Fig, 2.I)

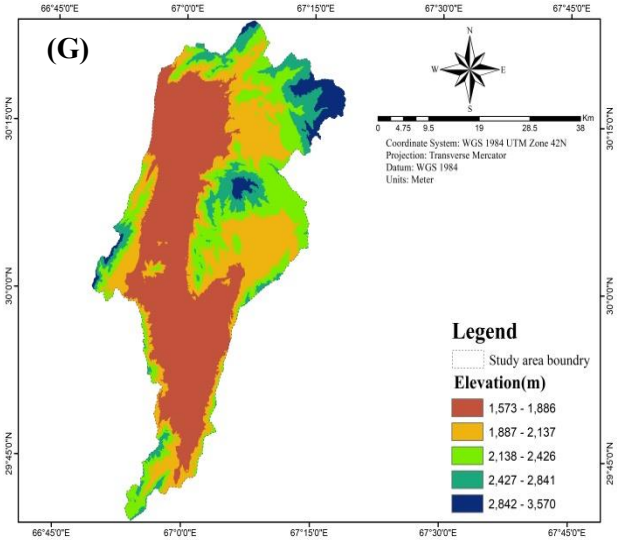


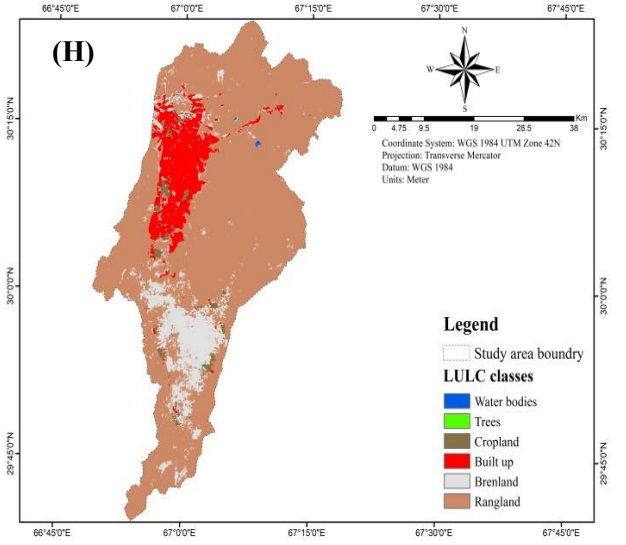

(C)
Coordinate System: WGS 1984 UTM Zone 42N
Projection: Transverse Mercator
Datum: WGS 1984
Units: Meter
Legend
Study area boundry
Soil type
Calcisols
Combisols
Fluvisols
Gypsisol
Leptosols
Luvisols
Regrosols

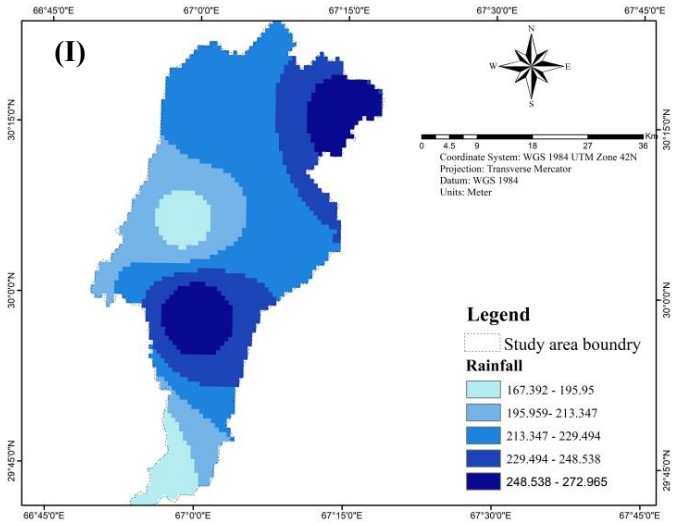

(D)
Coordinate System: WGS 1984 UTM Zone 42N
Projection: Transverse Mercator
Datum: WGS 1984
Units: Meter
Legend
Study area boundry
Slope(deg)
0 - 5.9178
5.9179 - 15.978
15.979 - 28.11
28.111 - 42.608
42.609 - 75.452


(E)
Coordinate System: WGS 1984 UTM Zone 42N
Projection: Transverse Mercator
Datum: WGS 1984
Units: Meter
Legend
Study area boundry
TWI
2.1459 - 5.7175
5.7176 - 7.9213
7.9214 - 10.125
10.126 - 13.241
13.242 - 21.524


(F)
Coordinate System: WGS 1984 UTM Zone 42N
Projection: Transverse Mercator
Datum: WGS 1984
Units: Meter
Legend
Study area boundry
Drainage density
0 - 0.1121
0.1122 - 0.3083
0.3084 - 0.5326
0.5327 - 0.8017
0.8018 - 1.43


(G)
Coordinate System: WGS 1984 UTM Zone 42N
Projection: Transverse Mercator
Datum: WGS 1984
Units: Meter
Legend
Study area boundry
Elevation(m)
1,573 - 1,886
1,887 - 2,137
2,138 - 2,426
2,427 - 2,841
2,842 - 3,570


(H)
Coordinate System: WGS 1984 UTM Zone 42N
Projection: Transverse Mercator
Datum: WGS 1984
Units: Meter
Legend
Study area boundry
LULC classes
Water bodies
Trees
Cropland
Built up
Brenland
Rangland



Fig(2): Thematic/factors maps (A)Geology(B)Lineament density (C) Soil type (D) Slope (E)TWI (F) drainage density(G)Elevation (H)LULC (I)Rainfall.

Methodological overview

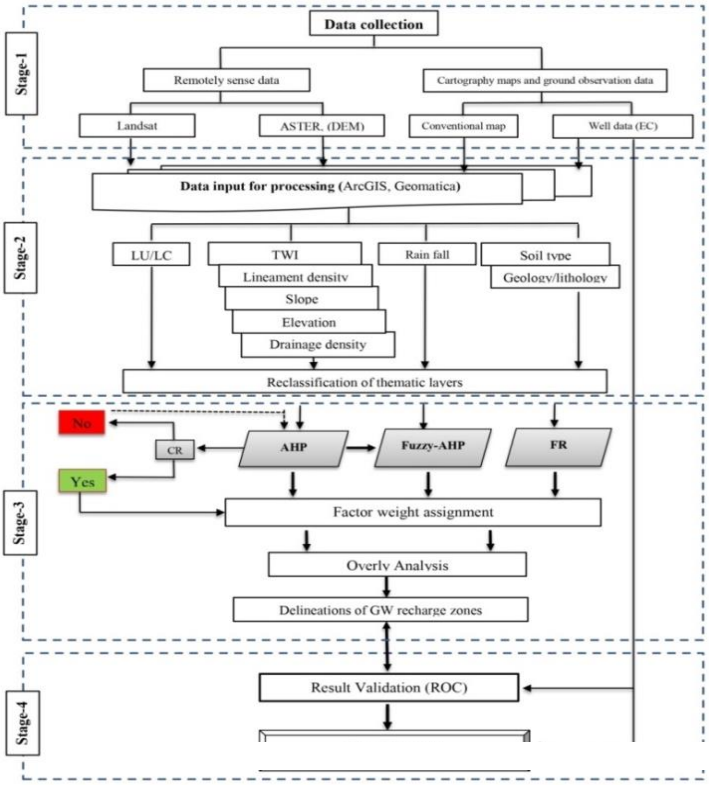
The current study utilizes a multi-parameter dataset consisting of geology, lineament density, drainage density, soil type, slope, elevation, TWI, average rainfall, and LULC to identify GW recharge potential zones. The study employs three models -AHP, FAHP, and FR - to delineate these zones, providing a comprehensive understanding of the factors that contribute to GW recharge potential in the area. The methodological framework for this study is outlined in Figure 3. The mapping of the GW recharge zone is divided into four stages, as given below.

Stage 1.Data acquisition and database generation: In the initial stage, a thorough evaluation was conducted to identify nine key factors that impact GW recharge zones. Based on this evaluation, a comprehensive geospatial database was created, which forms the foundation for further analysis.

Stage.2 Preprocessing and the generation of thematic maps: The second stage included preprocessing of all acquired data and generating thematic maps from satellite and conventional data using the ArcGIS environment.

Stage.3 Weight assignment and reclassification of thematic layers: In the third stage of analysis, three models were employed to assign weights to different thematic maps based on their importance to GW recharge. These maps were then divided into three distinct classes, which corresponded to high, moderate, and low recharge zones. To produce final maps of GW recharge potential, various techniques such as AHP-Weighted linear combination, AHP-Weighted sum, fuzzy-AHP overlay, and FR-based models were used in ArcGIS. By merging all the layers, the final maps were created.

Stage.4 Results validation: In the fourth and final stage, the results were validated to ensure their accuracy. This was done through the use of receiver operating characteristics (ROC) curves for each of the models (AHP, FAHP, and FR). Additionally, the electrical conductivity of wells was used for cross-validation. The final results have been verified using these methods.



Fig(3): Methodological flowchart of the current study

Results and Discussions

AHP model-based weight assignment

Thomas Saaty developed the Analytic Hierarchy Process (AHP) at the Wharton School of Business in 1980. It offers decision-makers a method to analyze and address intricate issues within a hierarchical framework. It clearly displays the relationships among goals, objectives, sub-objectives, and alternatives (Dabral et al., 2014). The AHP method was used in ArcGIS to determine the Normalized Principal Eigenvector (NPEV) or Percent Weight in the weighted overlay Analysis. The process involves entering contributing criteria based on their importance in mapping GW recharge zones. Factors are given scores between 1-9,indicating their relative importance in pairwise comparisons(Saaty, 1980).A pairwise comparison matrix (PCM) was constructed based on saaty scale and expert opinion (shown in table.1).

Table (1): Analytic hierarchy process pairwise compression matrix (PCM)

PCM	GE	ST	SL	LULC	LD	EL	TWI	DD	RF
GE	1	1	2	3	3	3	5	5	5
ST	1	1	1	2	3	3	5	5	5
SL	0.50	1	1	2	3	3	4	5	5
LULC	0.33	0.50	0.50	1	2	3	5	5	4
LD	0.33	0.33	0.33	0.50	1	1	3	4	2
EL	0.33	0.33	0.33	0.33	1	1	3	3	3
TWI	0.20	0.20	0.25	0.20	0.33	0.33	1	1	1
DD	0.20	0.20	0.20	0.20	0.25	0.33	1	1	1
RF	0.20	0.20	0.20	0.25	0.50	0.33	1	1	1
Σ(columns)	4.10	4.77	5.82	9.48	14.08	15.00	28.00	30.00	27.00

Where, GE represents geology, ST represents soil type, SL represents slope, LULC represents land use/land cover, LD denotes lineament density, EL denotes elevation, DD denotes drainage density, TWI represents topographic wetness index and RF represents rainfall.

Once the Pairwise comparison matrix was created, normalized weights (Wn) were computed

Table (2): Normalized relative weight (Wn) and Normalized Principal Eigen Vector (NPEV).

NPCM	GE	ST	SL	LULC	LD	EL	TWI	DD	RF	Eigen Vector	NPEV (%)
GE	0.244	0.210	0.344	0.316	0.213	0.200	0.179	0.167	0.185	0.229	22.9
ST	0.244	0.210	0.172	0.211	0.213	0.200	0.179	0.167	0.185	0.198	19.8
SL	0.122	0.210	0.172	0.211	0.213	0.200	0.143	0.167	0.185	0.180	18.0
LULC	0.081	0.105	0.086	0.105	0.142	0.200	0.179	0.167	0.148	0.135	13.5
LD	0.081	0.070	0.057	0.053	0.071	0.067	0.107	0.133	0.074	0.079	7.9
EL	0.081	0.070	0.057	0.035	0.071	0.067	0.107	0.100	0.111	0.078	7.8
TWI	0.049	0.042	0.043	0.021	0.024	0.022	0.036	0.033	0.037	0.034	3.4
DD	0.049	0.042	0.034	0.021	0.018	0.022	0.036	0.033	0.037	0.032	3.2
RF	0.049	0.042	0.034	0.026	0.036	0.022	0.036	0.033	0.037	0.035	3.5
Σ(columns)	1	1	1	1	1	1	1	1	1		100.0

Finally Normalized weights (wn) were verified using consistency ratio matrix (Saaty, 1980).

A Consistency Ratio (CR) is the ratio of the Consistency Index (CI) to the Random Consistency Index. (RI).The value of CI for GW potential and recharge zone parameters investigated in this study was calculated as (Equation.3);

$$CI = \frac{\lambda max - n}{n - 1} \quad (3)$$

Where n represents the quantity of criteria (thematic layers in this study) and λmax stands for the Principal Eigenvalue value(Ratio of weight sum to the criteria weight) obtained from consistency ratio matrix (Table.4). The Random index (RI) was derived from Table 3.of Satty (1980), which depends on number of criteria (n) adopted in study

Table 3:Random Index (RI) value related to the number of criteria (n).(Saaty, 1980)

n	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
RI	0	0	0.58	0.9	1.12	1.24	1.32	1.41	1.45	1.49

The CR value is utilized to evaluate the consistency of the matrix.The CR value must be determined less than 0.1(Malczewski, 1999; Saaty, 1980).If the value of CR is less than or equal to 0.1(10%), the inconsistency is acceptable. However, if the CR value is higher than 0.1(10%), then the comparison judgment must be re-evaluated. In the present study the λmax value obtained is 9.274 and RI is 1.45 (from table 3).The value of CR=0.023 < 0.10, which suggest that the inconsistency is acceptable for this 9 parameters under consideration in current study.

Table (4): Consistency Ratio Matrix

Matrix	GE	ST	SL	LULC	LD	EL	TWI	DD	RF	ΣWeight	λmax
GE	0.229	0.198	0.361	0.404	0.238	0.233	0.170	0.162	0.175	2.170	9.494
ST	0.229	0.198	0.180	0.270	0.238	0.233	0.170	0.162	0.175	1.855	9.380
SL	0.114	0.198	0.180	0.270	0.238	0.233	0.136	0.162	0.175	1.707	9.469
LULC	0.076	0.099	0.090	0.135	0.159	0.233	0.170	0.162	0.140	1.265	9.383
LD	0.076	0.066	0.060	0.067	0.079	0.078	0.102	0.130	0.070	0.729	9.194
EL	0.076	0.066	0.060	0.045	0.079	0.078	0.102	0.097	0.105	0.709	9.120
TWI	0.046	0.040	0.045	0.027	0.026	0.026	0.034	0.032	0.035	0.311	9.130
DD	0.046	0.040	0.036	0.027	0.020	0.026	0.034	0.032	0.035	0.296	9.103
RF	0.046	0.040	0.036	0.034	0.040	0.026	0.034	0.032	0.035	0.322	9.196

Before applying weighted overlay analysis, the ranks were assigned to each factor of all thematic layers, and the weight was assigned according to their relative importance to GW recharge potential using the Analytic Hierarchical Process (AHP) technique (Brunelli, 2014).After assigning weights to all thematic layers, ranks/scale values from 1 to 3 were given for the sub variable of every thematic layer, in line with their importance for GW recharge potential occurrence. According to this study, 1 represents less vital (low recharge zones), and 3 represents more vital (high recharge) for GW recharge potential zoning. Final weighted overlay was calculated (Fig, 5.A).

In weighted sum, all classified thematic were multiplied with their corresponding weights and sum in the " weighted sum" tool in overlay analysis (Fig, 5B).

Table (5): Thematic layer rank and weight in terms of GW recharge perspective

Thematic layer	Feature Classes	GWR Perspective	Rank assigned	Weight (%)
Geology	Tg/ KJm/ TKu/ Tk/ Tkg/ Tn/Js	Low	1	23
	QTu/Jc	Moderate	2	
	Qay/Qao	High	3	
Soil Type	Gypsisols/ Regosols	Low	1	20
	Luvisol/ Combisols	Moderate	2	
	Calcisols/ Fluvisols/ Leptosols	High	3	
Slope(degree)	29.88 - 75.45	Low	1	18
	10.35 - 29.88	Moderate	2	
	0-10.35	High	3	
LULC	Built Up/ Bare land/ Rangland	Low	1	13
	Waterbodies/ Trees/ CropLand	High	3	
Lineament Density	0 - 0.308	Low	1	8
	0.308 - 0.696	Moderate	2	
	0.696 - 1.571	High	3	
Elevation(m)	488.93 - 3569.53	Low	1	8
	1987.789 - 2488.9	Moderate	2	
	1572.776 - 1987.7	High	3	
TWI	2.145925 - 6.3848	Low	1	03
	6.384852 - 9.7154	Moderate	2	
	9.715438 - 21.523	High	3	
Drainage Density (km/km²)	0.560598 - 1.4295	Low	1	03
	0.196209 - 0.5605	Moderate	2	
	0 - 0.196209	High	3	
Rainfall(mm)	167.392 - 209.207	Low	1	04
	209.207 - 237.360	Moderate	2	
	237.360 - 272.965	High	3	

FAHP model-based weight assignment

The Fuzzy-Analytic Hierarchy Process (FAHP) is a decision-making model that combines the AHP method with fuzzy logic theory. This hybrid model is designed to handle uncertainty and vagueness in the decision-making process. In simpler terms, fuzzy logic theory is used to apply the theory of fuzzy sets in decision-making(Zadeh, 1965). The fuzzy set theory is a mathematical framework for dealing with uncertainty and vagueness in data by allowing partial membership in a set (Tiwari et al., 2017). Fuzzy set values range from 0 to 1, indicating gradual class transition(Mallick et al., 2019). Fuzzy-AHP was used to upgrade the AHP analysis by introducing fuzzy weight. The analysis involved two stages. In the first stage of the analysis, weight was assigned to each thematic layer based on pairwise-comparison matrices and triangular fuzzy numbers (TFNs). The TFNs are represented by *l* (lowest possible value), *m* (most likely possible value),and *u* (highest possible value) (shown in Table 6.a-b).In the second step the geometric mean and the fuzzy weights for the thematic layers were calculated by employing Buckley's geometric mean method
(Equations. 4 and 5).(Buckley, 1985)

$$Ri = (a_{i1} \otimes a_{i2} \otimes \ldots\ldots \otimes a_{in})^{1/n} \quad (4)$$

$$Wi = R_i \otimes (R_1 \oplus R_2 \oplus \ldots\ldots R_n)^{-1} \quad (5)$$

Where *Ri* denotes the geometric mean values of criterion *i* to each criterion and a_{in} is fuzzy comparisons value of criterion *i* to criterion *n*; Wi is the fuzzy-weight of the i^{th} criterion(Mallick et al., 2019).

Table (6): a. Fuzzy pairwise comparison matrix (FPCM)

FPCM	GE	ST	SL	LULC	LD	EL	TWI	DD	RF
GE	(1,1,1)	(1,1,1)	(1,2,3)	(2,3,4)	(2,3,4)	(2,3,4)	(4,5,6)	(4,5,6)	(4,5,6)
ST	(1,1,1)	(1,1,1)	(1,1,1)	(1,2,3)	(2,3,4)	(2,3,4)	(4,5,6)	(4,5,6)	(4,5,6)
SL	(0.33,0.50,1.00)	(1,1,1)	(1,1,1)	(1,2,3)	(2,3,4)	(2,3,4)	(3,4,5)	(4,5,6)	(4,5,6)
LULC	(0.25,0.33,0.50)	(0.33,0.50,1.00)	(0.33,0.50,1.00)	(1,1,1)	(1,2,3)	(2,3,4)	(4,5,6)	(4,5,6)	(3,4,5)
LD	(0.25,0.33,0.50)	(0.25,0.33,0.50)	(0.25,0.33,0.50)	(0.33,0.50,1.00)	(1,1,1)	(1,1,1)	(2,3,4)	(3,4,5)	(1,2,3)
EL	(0.25,0.33,0.50)	(0.25,0.33,0.50)	(0.25,0.33,0.50)	(0.25,0.33,0.50)	(1,1,1)	(1,1,1)	(2,3,4)	(2,3,4)	(2,3,4)
TWI	(0.17,0.20,0.25)	(0.17,0.20,0.25)	(0.20,0.25,0.33)	(0.17,0.20,0.25)	(0.25,0.33,0.50)	(0.25,0.33,0.50)	(1,1,1)	(1,1,1)	(1,1,1)
DD	(0.17,0.20,0.25)	(0.17,0.20,0.25)	(0.17,0.20,0.25)	(0.17,0.20,0.25)	(0.20,0.25,0.33)	(0.25,0.33,0.50)	(1,1,1)	(1,1,1)	(1,1,1)
RF	(0.17,0.20,0.25)	(0.17,0.20,0.25)	(0.17,0.20,0.25)	(0.20,0.25,0.33)	(0.33,0.50,1.00)	(0.25,0.33,0.50)	(1,1,1)	(1,1,1)	(1,1,1)

The Fuzzy weights were later standardized in order to determine the weight of each criteria (6.b) utilizing (Equation.6);

$$Ni = \frac{Mi}{\sum_{i=1}^{n} Mi} \quad (6)$$

Where Mi=*lwi*+*mwi*+*uwi*/3, and Ni=1, i=*1,2….n. lwi* , *mwi* , *uwi* represents the lower, middle, and upper values of the fuzzy weights of the *ith* criterion, respectively.

Table (6):b. Fuzzy geometric mean (Ri), fuzzy-weight (Wi), and normalized weight (Ni) of each criterion

	Fuzzy geometric mean (*Ri*)			*Mi*			Fuzzy Weight (*Wi*)	Normalized weight (*Ni*)
				l	*m*	*u*		
GE	2.00	2.66	3.26	0.134	0.228	0.365	0.2428	0.217
ST	1.85	2.36	2.79	0.124	0.202	0.312	0.2133	0.191
SL	1.59	2.13	2.74	0.107	0.182	0.306	0.1988	0.178
LULC	1.12	1.54	2.17	0.075	0.132	0.243	0.1504	0.135
LD	0.68	0.91	1.25	0.045	0.078	0.140	0.0881	0.079
EL	0.68	0.89	1.17	0.045	0.075	0.130	0.0842	0.075
TWI	0.34	0.39	0.48	0.022	0.033	0.053	0.0367	0.033
DD	0.32	0.37	0.44	0.112	0.031	0.049	0.0648	0.058
RF	0.35	0.41	0.52	0.023	0.035	0.057	0.0389	0.035

In the second phase of the analysis, fuzzy membership values were allocated to the each thematic layer. The ArcGIS platform was utilized to assign the fuzzy membership values by employing the linear transformation function. The fuzzy linear transformation is a frequently utilized technique in research related to GW recharge(Aouragh et al., 2017). After the linear transformation of classified maps, normalized fuzzy weights were multiplied with each thematic map using a raster calculator in the spatial analyst tool. Finally, fuzzy overlay analysis was employed to get the final GW recharge zones map. The Final map was reclassified into three GW recharge potential zones viz. high, moderate, and low recharge zones (Fig, 5. C)

FR model-based weight assignment

The FR model is a statistical model that can be used to assess the relationship between independent and dependent variables in geospatial analysis. This model is bi-variate and provides a convenient way to define the probability of this relationship. Additionally, the FR model can be applied to multi-classified maps, making it a versatile tool for geospatial analysis(Oh et al., 2011). Many researchers have successfully applied FR models for GW recharge mapping (Arshad et al., 2020a; Manap et al., 2014; Moghaddam et al., 2015; Ozdemir, 2011; Pourtaghi & Pourghasemi, 2014a). The

structural composition of the FR model relies heavily on the correlations and observed relationships between each groundwater conditioning factor and the distribution of well locations. The FR value attributed to each class of groundwater-related factors can be effectively expressed via the utilization of Equation.7;

$$FR = \frac{\frac{W}{G}}{\frac{M}{T}} \quad (7)$$

Where W denotes the count of pixels with GW wells and G represent the total number of GW wells within the study area. M represents the number of pixels within the class area of the factor, while T represents the total count of pixels within the study area. In a given pixel, GW potential can be determined by the summation of pixel values according to the Equation. 8;

$$GRPZ = \sum_{i=1}^{n} FRi \quad (8)$$

Where Where GRPZ represents the GW recharge potentials zones and FRi is the FR value of each factor.
In comparison to AHP and FAHP, in FR technique, the weight to the each class is not assigned on the bases of properties of the influencing factors but given on the bases of spatial occurrence of the wells in each class. Similarly, the FR is calculated for all the conditioning factors (Table.7). Finally, the GW recharge zones map has been created by using raster calculator in ArcGIS environment (Fig, 5.D)

Table (7): Frequency ratio values for each thematic layer and its classes.

Thematic layers	Assigned rank	Number of pixels in domain	Percentage of domain	Number of wells	Percent of wells	FR
GE	1	248378	11.98	5	6.67	0.56
	2	821228	39.61	4	5.33	0.45
	3	1003759	48.41	66	88.00	7.35
LD	1	1119729	53.96	63	84.00	1.56
	2	682608	32.90	11	14.67	0.27
	3	272740	13.14	1	1.33	0.02
DD	1	256820	12.39	15	20.00	1.61
	2	675677	32.59	22	29.33	2.37
	3	1140980	55.03	38	50.67	4.09
RF	1	615263	29.68	28	37.33	1.26
	2	941832	45.43	47	62.67	2.11
	3	516018	24.89	0	00.00	0.00
ST	1	369915	17.84	11	14.67	0.82
	2	7726	0.37	0	0.00	0.00
	3	1696393	81.79	64	85.33	1.04
SL	1	209427	10.18	4	5.33	0.52
	2	425130	20.67	1	1.33	0.13
	3	1422180	69.15	70	93.33	9.17
TWI	1	736991	35.83	12	16.00	0.45
	2	802555	39.02	9	12.00	0.31
	3	517191	25.15	54	72.00	2.86
EL	1	219230	10.57	1	1.33	0.13
	2	795597	38.37	1	1.33	0.13
	3	1058650	51.06	73	97.33	9.21
LULC	1	2040414	98.42	75	100.00	1.02
	3	32831	1.58	0	0.00	0.00

Thematic layers reclassification according to GW rechargeability

Geology & Reclassified Geology Layer

Lithology refers to the physical characteristics of rocks, including mineral composition and grain size (Freeze, 1984). Lithology controls the infiltration and flow processes of GW (Jerbi et al., 2018; Tolche, 2021). The study area is mostly covered by young alluvium (Qay), which makes up 46% of the area, followed by chiltan formation (Jc) at 29.8%, Urak formation (QTu) at 8%, old alluvium (Qao) at 5.2%, Ghazij formation (Tg) at 4.5%, Shirinab formation (Js) at 2.4%, kirthar formation (Tk) at 1.4%, Tertiary and cretaceous (Tku) at 1.3%, Monal jahal formation (Kjm) at 1% and Nasai formation (Tn) at 0.2%. The major lithologies exposed in wide areas are limestone, conglomerates, and sandstone. Geology was reclassified into three recharge potential classes based on permeability and porosity: low (Tg/KJm/TKu/Tk/Tkg/Tn/Js), moderate (QTu/Jc), and high (Qay/Qao) (Fig, 4a).

Lineament density & Reclassified Lineament density Layer

Lineaments are critical geological features that act as reservoirs and conduits for minerals and hydrocarbons and reveal local and regional tectonic behavior (El-Sawy et al., 2016). The Chaman Fault's tectonic movements have caused the formation of various folding, faulting, fractures and joint systems in the limestone formations of the area. These fractured zones and joint systems show promise for the occurrence and movement of GW. The lineaments may lead to the development of secondary porosity and permeability in rocks(Freeze, 1984; Maidment, 1993). Therefore high lineament density areas are likely to have significant potentials for GW recharge. Lineament density map was reclassified using natural breaks (Jenks) into three classes; Low (0-0.308), moderate (0.308-0.696), and high (0.696 - 1.571) (Fig, 4b).

Soil types & Reclassified Soil types Layer

The area under study consists of seven distinct soil types: Calcisols, cambisols, fluvisols, gypsisols, leptosols, luvisols, and regosols. Calcisols are the most prevalent soil type, covering 1347.64km² of the study area. Regosols cover nearly 300km², while leptosols cover 88.36 km², cambisols cover 5.5 km², fluvisols cover 3 km², gypsisols cover 0.65km², and luvisols cover an area of 0.1 km². (https://soilgrids.org/).The classification of the soils was revised based on their grain size and the proportion of sand, clay, and silt in them. (https://www.isric.org/).Coarse-grained soils are known for their ability to infiltrate water at a high rate and are given high recharge potential values (Brady et al., 2008; FitzPatrick, 1978). The reclassified soil type map shows leptosols, fluvisol, and calcisol characterize the high recharge areas because they are coarse-grained and have high sand contents (De Wit & Nachtergaele, 1990). Moderate value is assigned to cambisols and luvisols due to their ability to hold water well and good internal drainage. (P.M. & R. Dudal, 1989).Regosols and gypsisol have mostly high clay and fine texture(P.M. & R. Dudal, 1989),therefore assigned low recharge potentiality(Fig, 4c).

Slope & Reclassified Slope Layer

Slope has an inverse relation between infiltration rate (Chaplot & Le Bissonnais, 2000; Essig et al., 2009; Yuan et al., 2001).The areas with gentle slopes have high infiltration rate, so more suitable to GW recharge and vice versa (Liu et al., 2018; Simmers, 1990).In the mountainous region high slope is the main impediment in GW recharge whereas low slopes are favorable for GW recharge. Accordingly slope map was reclassified using natural breaks (Jenks) into three classes; Low (2.145- 6.384), moderate (6.384- 9.715), and high (9.715 - 21.523) GW recharge zones (Fig, 4d).

TWI & Reclassified TWI Layer

TWI describes the impact of topography on hydrologic processes. It relates GW flow movement and its retentions in subsurface zones (Raduła et al., 2018).There is a positive correlation between TWI and GW recharge potentials. Higher TWI values shows a higher GW potential zones so areas with higher TWI are more suitable for GW recharge as compared to area with low TWI values (Arulbalaji et al., 2019; Nampak et al., 2014; Yıldırım, 2021).TWI map was reclassified using natural breaks (Jenks) into three classes; Low (2.145 - 6.384), moderate (6.384 - 9.715), and high (9.715 - 21.523) GW recharge zone (Fig, .4e).

Drainage density & Reclassified Drainage density Layer

The Drainage density is a crucial factor in the assessment and distribution of GW potentials in an area (Arshad et al., 2020b; Harinarayana et al., 2000; Saranya & Saravanan, 2020).In terms of GW recharge, low drainage density implies

more infiltration (Magesh et al., 2012) and good sources of high GW recharge potentials (Srivastava & Bhattacharya, 2006). Accordingly, Low drainage density areas were given more importance than high drainage density areas, as illustrated in Fig. 4f. The drainage density map has been reclassified using natural breaks (Jenks) into three classes marked as low (0.560 - 1.429), moderate (0.196 - 0.560) and high (0 - 0.196), recharge zones.

Elevation & Reclassified Elevation Layer

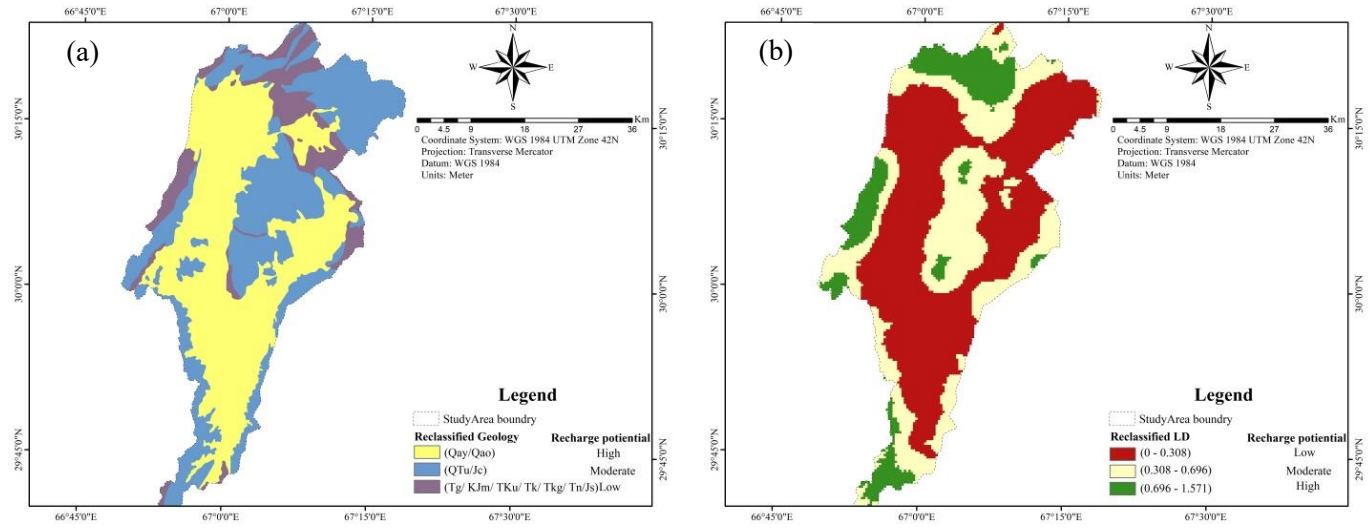
The study area comprised of mountainous regions having high elevations. Based on GW rechargeability, elevation has been reclassified using natural breaks (Jenks) into three classes Low (488.93 - 3569.53), moderate (1987.789 - 2488.9), and high (1572.776 - 1987.7). The recharge potential of flat surfaces is greater than that of inclined surfaces and higher elevations, resulting in a higher rank being assigned to lower elevations (Liu et al., 2018) (Fig, 4g).

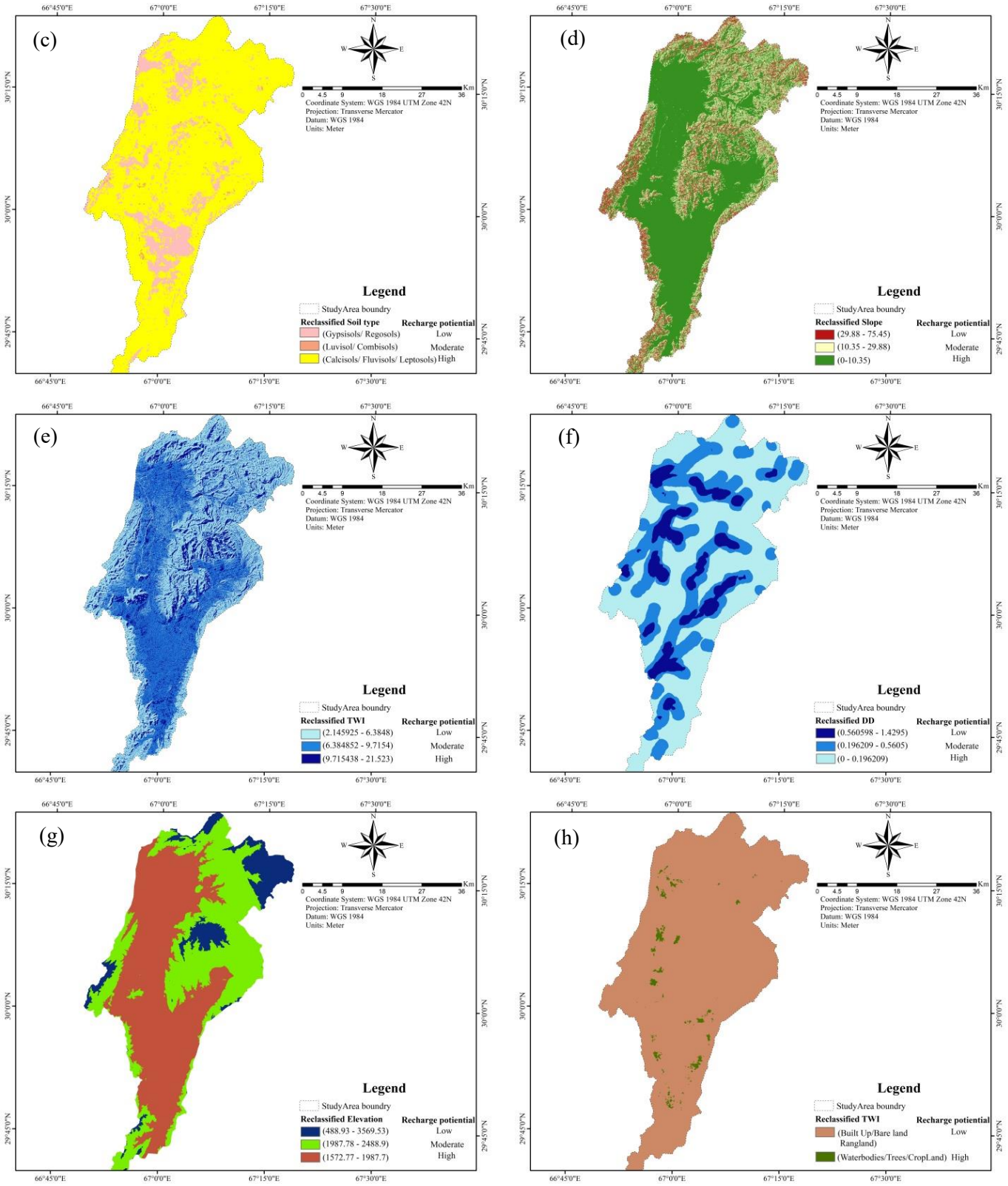
LULC & Reclassified LULC Layer

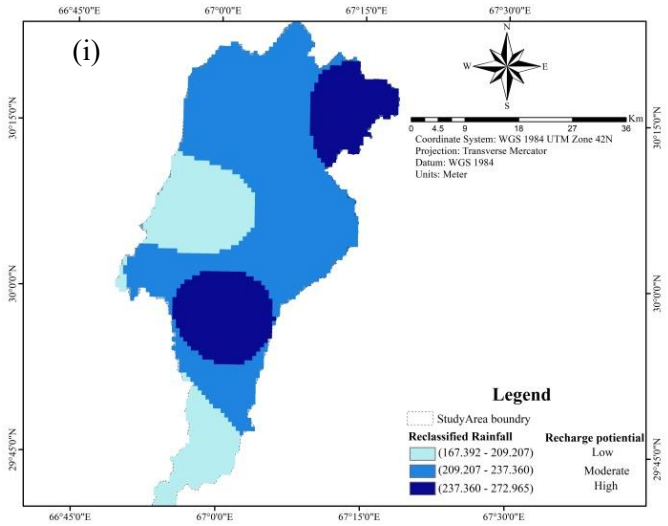
The LULC is an important indicator that helps in identifying suitable locations for GW (GW) recharge(Singh et al., 2013).LULC comprised of areal distribution soil, vegetation cover, cropland and residential. The study area have six classes; waterbody, trees, cropland, builtup, barenland and rangeland (Fig,2(H)).According to GW recharge perspective the LULC has been classified into two classes (Fig, 4h).The vegetation cover, waterbody and cropland assigned high weight as it has high GW inflation (Shaban et al., 2006),while builtup, barenland and rangland assigned low weight because of having high run-off and low infiltration rate (Anbazhagan et al., 2005).

Rainfall & Reclassified Rainfall Layer

The study area falls in semiarid-arid region receiving average rainfall of 180-250mm/annul. The province is affected by two different meteorological systems (Western disturbances and Monsoon). In extreme cases oceanic currents and monsoon currents originating from the Arabian Sea can also reach southern part of the watershed and cause significant rainfall. In the north Western disturbances are the major cause of rainfall. Western disturbances are predominant in northern areas and high rainfalls occur. Monsoon is predominant more in southern parts.(*I & P Department,GOB.*, 2016).The generated rainfall map has been reclassified using natural breaks (Jenks) into three classes marked as low (167.392 - 209.207), moderate (209.207 - 237.360) and high (237.360 - 272.965), recharge potential zones (Fig, 4i).




(c)
Coordinate System: WGS 1984 UTM Zone 42N
Projection: Transverse Mercator
Datum: WGS 1984
Units: Meter
Legend
StudyArea boundry
Reclassified Soil type
Recharge potential
(Gypsisols/ Regosols) Low
(Luvisol/ Combisols) Moderate
(Calcisols/ Fluvisols/ Leptosols) High
(d)
Reclassified Slope
(29.88 - 75.45) Low
(10.35 - 29.88) Moderate
(0-10.35) High
(e)
Reclassified TWI
(2.145925 - 6.3848) Low
(6.384852 - 9.7154) Moderate
(9.715438 - 21.523) High
(f)
Reclassified DD
(0.560598 - 1.4295) Low
(0.196209 - 0.5605) Moderate
(0 - 0.196209) High
(g)
Reclassified Elevation
(488.93 - 3569.53) Low
(1987.78 - 2488.9) Moderate
(1572.77 - 1987.7) High
(h)
Reclassified TWI
(Built Up/Bare land Rangland) Low
(Waterbodies/Trees/CropLand) High



Fig(4): Reclassified Layers (a) Geology (b) Lineament density (c) Soil type (d) Slope (e) TWI(f) drainage density (g)Elevation (h)LULC (i) Rainfall.

Final GW recharge potential zones mapping in ArcGIS environment

Prior to the overlay analysis, all thematic layers underwent projection using WGS84/UTM Zone 14 N datum coordinate system. This was carried out to ensure a uniform resolution of 29*29m for optimal utilization within the ArcGIS environment.The GW recharge maps were created by overlaying all reclassified thematic layers (Geology, Soil type, Slope, LULC, Elevation, Lineament density, Drainage density, TWI, Rainfall) in the ArcGIS environment, as illustrated in Figure 4.a-i. To determine the final weight for each thematic layer, we used the AHP, FAHP, and FR models, which are outlined in Tables 5, 6.b, and 7. The resulting maps were then divided into three descriptive zones based on the recharge zone, namely "Low," "Moderate," and "High," each represented by distinct colors, as shown in Figures 5.A-D.

Table 8 displays the statistical and spatial distribution of each model (Fig. 5. A-D). The results of the AHP model-l show that 1449 km² (84%) of the study area falls under the moderate GW recharge zone, 254 km² (15%) falls under the high recharge zone, and 19 km² (1%) falls under the low recharge zone. On the other hand, the AHP model-ll indicates that 321 km² (19%) of the area falls under the low recharge zone, 721 km² (42%) falls under the moderate zone, and 680 km² (39%) falls under the high recharge zone. Similarly, the FAHP model reveals that 269 km² (16%) of the region falls under the low zone, 718 km² (42%) falls under the moderate zone, and 736 km² (43%) falls under the high recharge zone. Finally, the FR model statistics show that 391 km² (23%) of the area falls under the low zone, 610 km² (35%) falls under the moderate zone, and 721 km² (42%) of the study area falls under the high recharge zone.

Table (8): Spatial distribution of GW recharge zone

GWR zones	AHP Model-l		AHP Model-ll		FAHP Model		FR Model	
	Area (Km²)	Area (%)	Area (Km²)	Area (%)	Area (Km²)	Area (%)	Area(Km²)	Area (%)
Low	18.53	1.08	321.09	18.64	268.54	15.59	391.04	22.71
Moderate	1449.28	84.15	721.31	41.88	717.93	41.69	609.73	35.40
High	254.40	14.77	679.81	39.47	735.75	42.72	721.45	41.89

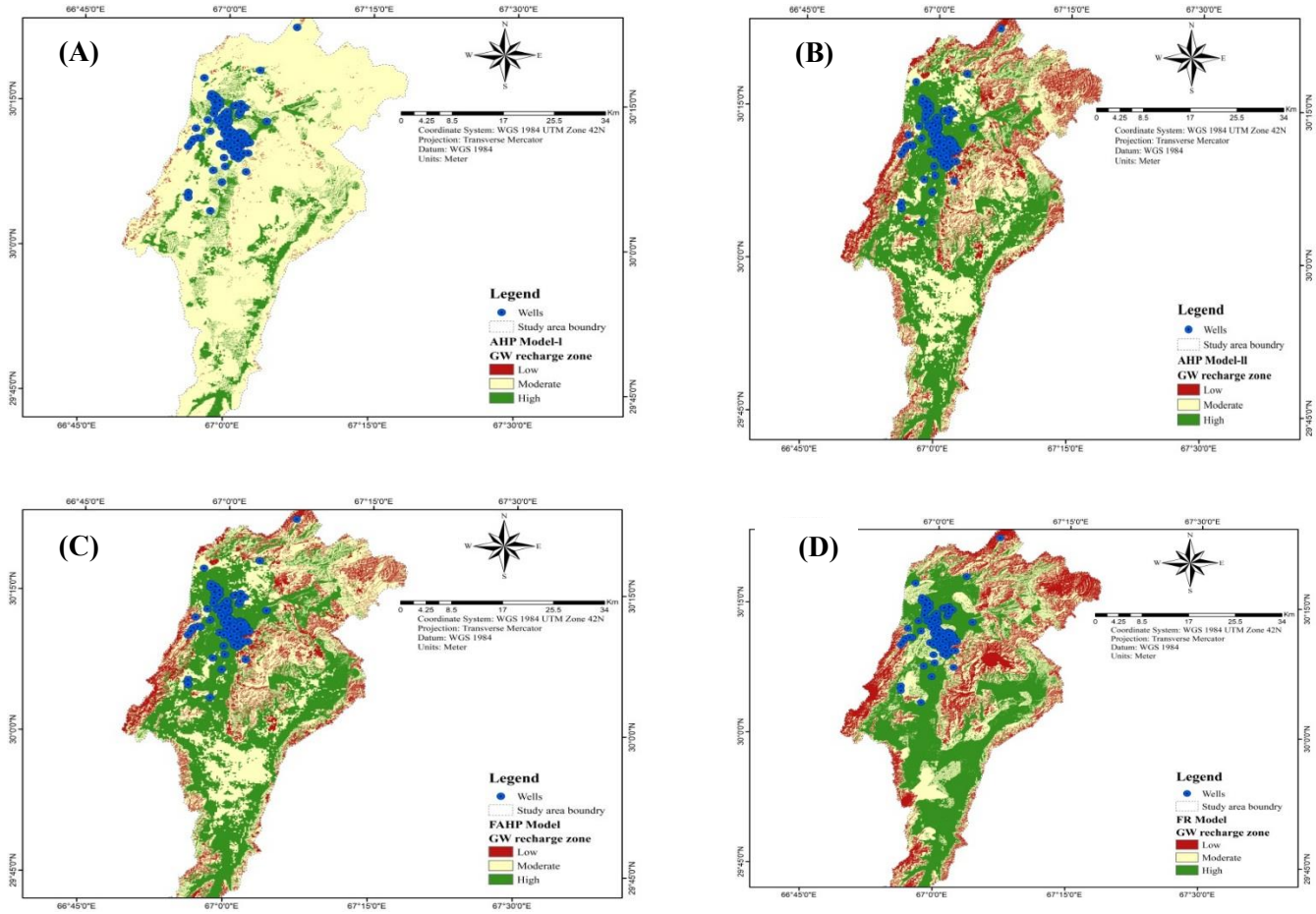
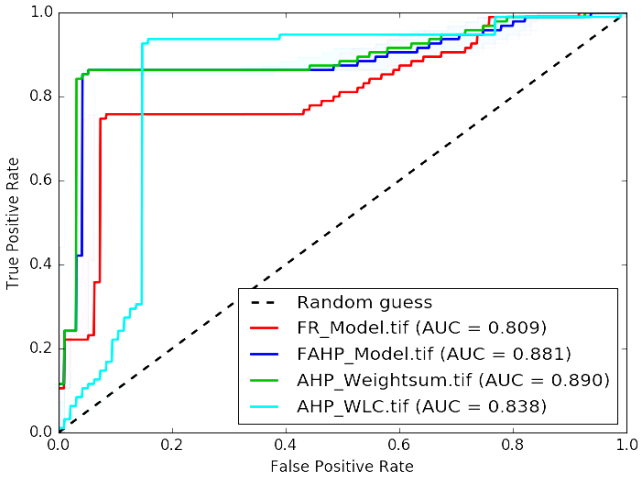


Fig (5): GW recharge zone maps using (A)AHP Model-l(WLC) (B)AHPModel-ll(Wsum) (C)FAHP Model (D)FR Model

Models validation

The Receiver operating characteristic curve (ROC) and area under the curve (AUC) are used to predict classification accuracy (Boughariou et al., 2021; Razandi et al., 2015). Many of the researchers (Arshad et al., 2020a; Elvis et al., 2022; Githinji et al., 2022; Razandi et al., 2015; Tiwari et al., 2017) have used ROC for validation of their research. In the current study, resultant maps of GW recharge potential zone, developed by GIS-based models (AHP, FAHP, FR) have been validated through the ROC curve. AHP model-l, AHP model-ll, FAHP, and FR models showed 84%, 89%, 88%, and 81% prediction accuracy respectively (Fig, 6). Since all these results fall in (0.8-0.9) very good class (Yesilnacar & Topal, 2005),hence applications of all models (AHP, FAHP, FR) showed very good accuracy in spatial prediction of GW recharge zone mapping, but AHP model-ll showed more effectiveness than FAHP and FR in the current study.For cross-validation electrical Conductivity (EC) was used to verify the GW recharge areas. Many researchers (Githinji et al., 2022; Njumbe et al., 2023; Pourtaghi & Pourghasemi, 2014b; Tiwari et al., 2017)used EC to verify demarcated GW recharge zones. The concentration of salt in GW is measured by EC, which reflects the level of ionic concentration in GW(Tiwari et al., 2017). Based on EC readings, GW can be classified into three types. Type-1 GW has EC less than 1500 µS/cm and is fresh-water with a low concentration of salts. Type-2 GW has EC between 1500-3000 µS/cm, indicating a moderate concentration of salts. Type-3 GW has EC greater than 3000 µS/cm, indicating high salinity(Hem, 1985; Sarath Prasanth et al., 2012). In the current analysis 141 wells data, acquired from the Pakistan Council of Research in Water Resources (PCRWR) report, were used.EC range 300-1401 in study area. Based on EC, wells were divided into two types viz, type-1(EC<=1000) considered as High-moderate GW recharge, and type-ll (EC>1000) were considered as low GW recharge zones.



Fig(6): Receiver operating characteristics (ROC) curves for AHP, FAHP and FR models

Based on the outcomes of the Analytic Hierarchy Process (AHP) model-ll, which exhibited a higher accuracy of prediction at 89%, this model was employed for cross-validation, as outlined in Annexure-l-Table.9. The well locations studied were divided into three categories based on their GW (GW) recharge zones: high, moderate, and low. Of the 141 wells surveyed, 119 wells (84%) were located in high GW recharge zones, while 17 wells were in moderate zones and 5 wells were in low recharge zones. In Table.10, the electrical conductivity (EC) of the wells is provided, and it indicates that 98 of the 119 wells (82%) located in high GW recharge zones are in agreement, as well as 13 of the 17 wells (76%) in moderate zones, which fall into type-1 wells. Among the 5 wells classified as type-ll, 3 (60% agreement) are included in this category. Overall, our study demonstrates a high level of agreement (81%) between electrical conductivity and GW recharge.

Conclusions

The study showcases the use of geospatial technology to identify GW recharge potentials in the Quetta region of Pakistan, which is a semiarid-arid area. The study employed AHP, Fuzzy-AHP, and FR models to assign weights to influencing factors and then reclassified selected thematic maps into three classes based on GW recharge zones. Each class was assigned weights based on its significance to GW recharge, and all layers were combined using an AHP-Weighted linear combination, AHP-Weighted sum, fuzzy-AHP overlay, and FR-based models through ArcGIS. The final map resulted in three distinct GW recharge potential zones viz: high, moderate, and low GW recharge zones.

The maps derived from the various models indicate that the central region constitutes the high GW recharge area, while the southern part is characterized by moderate recharge potential. On the other hand, the zones with low recharge potential are located in the mountains, ridges, and residual hills with steeper slopes and higher elevation, where the infiltration capacity is reduced due to high runoff, leading to a decrease in recharge potential. The AHP model-l, AHP model-ll, FAHP model, and FR model demarcated 15%, 39%, 43%, and 42% respectively of an area as high GW recharge The validation of GW recharges potential zones maps, created with GIS-based models (AHP, FAHP, and FR), and was conducted using ROC curves. The accuracy of the predictions made by the AHP model-l, AHP model-ll, FAHP, and FR models were 84%, 89%, 88%, and 81% respectively. These results indicate that the AHP model-ll was the most effective model in this study, outperforming both the FAHP and FR models.These documents will provide a firsthand and valuable guidance to decision-makers in GW resources management and future planning in land use for urban extension especially in water scarce region. This will also help in implementation of future dug/tube wells or boreholes installation in study area which can minimize the cost and effort of hydrogeological investigation.The study area is situated in a remote and mountainous region, which poses a challenge for the availability of well data. The scarcity of well data, in turn, presents a significant obstacle to the development of robust GW modeling and validation.

(Annex-I) Table(9): Accuracy assessment of GWRPZs map with electrical conductivity of GW.

Well No.	Well location		Electrical conductivity (µS/cm)	Well location of GWRZs map	Validation Remarks
	X	Y			
1	308563.156	3340877.000	970	High	Agree
2	307775.166	3340500.220	880	High	Agree
3	308871.500	3340888.000	840	High	Agree
4	309493.000	3338251.000	467	High	Agree
5	307791.737	3341182.345	700	High	Agree
6	307760.940	3341188.381	624	High	Agree
7	309610.000	3337830.000	530	Moderate	Agree
8	308237.757	3341207.013	339	High	Agree
9	309784.814	3340292.468	790	high	Agree
10	308351.883	3340614.400	920	high	Agree
11	309563.568	3339903.804	1080	high	Disagree
12	309661.000	3339781.000	1020	high	Disagree
13	309119.000	3338994.000	1140	high	Disagree
14	308336.000	3339926.000	906	high	Agree
15	308357.593	3340026.000	660	high	Agree
16	308387.000	3339890.000	806	high	Agree
17	308694.765	3338790.898	790	high	Agree
18	309522.448	3340957.000	710	high	Agree
19	307569.603	3340060.000	497	high	Agree
20	308084.000	3339719.000	706	high	Agree
21	308123.000	3340171.000	980	high	Agree
22	309545.289	3340009.100	1184	high	Disagree
23	309545.289	3340009.100	1169	high	Disagree
24	308773.000	3338425.000	690	high	Agree
25	308509.000	3339649.000	670	high	Agree
26	309784.000	3338210.000	1153	high	Disagree
27	309427.650	3338246.109	808	high	Agree
28	308797.269	3340271.800	1280	high	Disagree
29	309108.000	3337984.000	1104	high	Disagree
30	307606.572	3340726.516	1293	high	Disagree
31	308815.907	3339857.828	632	high	Agree
32	307650.958	3340786.330	1104	high	Disagree
33	308526.669	3341385.462	1320	high	Disagree
34	308526.669	3341385.462	1220	high	Disagree
35	309426.000	3338467.000	680	high	Agree
36	308575.934	3340650.413	630	high	Agree
37	308094.000	3338825.000	630	high	Agree
38	307761.000	3339784.000	790	high	Agree
39	308666.915	3341400.250	728	high	Agree
40	307592.864	3339674.378	945	high	Agree
41	307944.000	3341224.000	980	high	Agree
42	309194.000	3339830.000	600	Moderate	Agree
43	308009.279	3339421.000	718	High	Agree
44	310866.389	3338377.250	780	High	Agree

45	308589.000	3340371.000	798	High	
46	309891.965	3342260.664	1134	High	
47	308277.652	3342485.620	926	High	Disagree
48	307889.722	3342028.331	830	High	Agree
49	310561.682	3341355.000	728	High	Agree
50	310932.837	3340538.480	790	High	Agree
51	309221.000	3341707.000	1103	High	Agree
52	310601.652	3340258.691	790	Moderate	Disagree
53	308389.202	3341634.000	1069	High	Agree
54	309165.915	3340800.827	980	High	Disagree
55	309500.756	3342404.540	1016	High	Agree
56	310965.344	3340430.814	530	High	Partially
57	309917.932	3341007.510	709	High	Agree
58	309688.856	3342063.989	820	High	Agree
59	310300.683	3341059.563	448	High	Agree
60	310384.670	3341434.900	906	High	Agree
61	308618.691	3341387.130	1133	High	Agree
62	309725.864	3342320.450	870	High	Disagree
63	309824.372	3342002.303	1214	High	Agree
64	310247.406	3341869.866	1094	High	Disagree
65	311172.660	3340435.700	950	Low	Disagree
66	309709.803	3341783.957	908	High	Agree
67	308644.404	3337722.015	482	Moderate	Agree
68	307029.000	3335841.000	980	High	Agree
69	308559.000	3337729.000	1130	Moderate	Agree
70	306184.420	3340152.147	848	High	Disagree
71	310507.000	3334837.000	1401	Moderate	Agree
72	309198.000	3337346.000	970	High	Disagree
73	306512.774	3332866.735	486	High	Agree
74	309198.000	3337346.000	1121	High	Agree
75	305722.815	3344710.689	880	High	Disagree
76	306928.000	3342211.000	670	High	Agree
77	307169.780	3343364.000	650	High	Agree
78	307619.003	3344827.120	880	High	Agree
79	307479.318	3345461.204	800	High	Agree
80	307283.511	3342152.203	470	High	Agree
81	307246.000	3342133.000	403	High	Agree
82	307201.717	3342022.078	540	High	Agree
83	307013.163	3342004.202	978	High	Agree
84	307331.839	3343607.303	300	High	Agree
85	307687.364	3343051.560	510	High	Agree
86	307192.702	3345739.558	597	High	Agree
87	307192.702	3345739.558	690	High	Agree
88	306992.000	3345961.000	760	High	Agree
89	307035.000	3343162.000	761	High	Agree
90	305636.515	3346935.233	372	High	Agree
91	307495.709	3344417.919	821	High	Agree
92	307655.437	3344507.430	672	High	Agree

93	307860.000	3342880.000	501	High	Agree
94	305293.921	3348142.424	796	High	Agree
95	306711.126	3343950.735	975	High	Agree
96	306545.000	3345344.000	393	High	Agree
97	305182.201	3345967.539	925	High	Agree
98	306910.000	3342089.000	433	High	Agree
99	305285.000	3346953.000	697	High	Disagree
100	304564.000	3342605.000	1238	Moderate	Disagree
101	306456.139	3343395.200	1120	High	Agree
102	306131.088	3344573.008	916	High	Agree
103	302188.000	3343194.000	582	High	Agree
104	307113.179	3344902.111	470	High	Agree
105	302984.413	3341208.276	795	High	Agree
106	302527.000	3341332.000	1280	Low	Agree
107	301777.000	3341078.000	1187	Low	Agree
108	301395.000	3340476.000	651	Moderate	Disagree
109	300879.000	3339678.000	471	Low	Agree
110	307373.000	3340935.000	556	High	Agree
111	307440.411	3345881.936	832	High	Agree
112	308527.284	3347387.985	508	High	Agree
113	303577.764	3352820.245	1003	Moderate	Agree
114	304641.465	3349116.193	489	High	Agree
115	304641.465	3349116.193	580	High	Agree
116	304641.465	3349116.193	458	High	Agree
117	305040.000	3335108.000	928	Moderate	Agree
118	305922.000	3348580.000	865	High	Agree
119	308775.629	3347561.232	556	Moderate	Agree
120	305526.326	3349237.237	513	High	Agree
121	306152.000	3348500.000	489	High	Disagree
122	307582.359	3346108.920	1098	High	Agree
123	309683.262	3347829.949	584	Moderate	Disagree
124	304131.511	3344777.615	1117	Moderate	Agree
125	310216.000	3347108.000	580	Moderate	Agree
126	304775.468	3349752.496	487	High	Agree
127	307377.030	3346341.032	936	High	Agree
128	309367.000	3345719.000	441	High	Agree
129	309506.990	3346265.253	571	Moderate	Agree
130	309618.409	3346345.536	470	High	Agree
131	310341.000	3347096.000	546	Moderate	Agree
132	306849.000	3337545.000	728	High	Agree
133	309020.610	3339120.136	792	High	Agree
134	300828.433	3330412.920	792	High	Agree
135	300912.930	3330906.907	792	High	Disagree
136	306859.000	3339692.000	1195	High	Agree
137	300902.000	3329911.000	511	High	Agree
138	312889.000	3354248.000	490	High	Disagree
139	319012.000	3362469.000	548	Low	Agree
140	313978.000	3344466.000	797	High	Agree
141	304565.000	3327386.000	780	High	Agree

References

Adiat, K., Nawawi, M., & Abdullah, K. (2012). Assessing the accuracy of GIS-based elementary multi criteria decision analysis as a spatial prediction tool–a case of predicting potential zones of sustainable groundwater resources. *Journal of hydrology, 440* ,89-95 .

Aher, P. D., Adinarayana, J., Gorantiwar, S. D., & Sawant, S. A. (2014). Information System for Integrated Watershed Management Using Remote Sensing and GIS. 17-34. doi:10.1007/978-3-319-05906-8_2

Ahmed, A. A., & Shabana, A. R. (2020). Integrating of remote sensing, GIS and geophysical data for recharge potentiality evaluation in Wadi El Tarfa, eastern desert, Egypt. *Journal of African Earth Sciences, 172*, 103957 .

Ahmed, R., & Sajjad, H. (2018). Analyzing factors of groundwater potential and its relation with population in the Lower Barpani Watershed, Assam, India. *Natural Resources Research, 27*(4), 503-515 .

Alam, F., Azmat, M., Zarin, R., Ahmad, S., Raziq, A., Vincent Young, H.-W., . . . Liou, Y.-A. (2022). Identification of Potential Natural Aquifer Recharge Sites in Islamabad, Pakistan, by Integrating GIS and RS Techniques. *Remote Sensing*. doi:10.3390/rs14236051

Ali, I., & Aftab, S. M. (2022). Climate Change and Human-Induced Factor Impacts on Quetta Valley Aquifer, Baluchistan, Pakistan. *Journal of Himalayan Earth Sciences, 55*(2), 21-45 .

Allafta, H., Opp, C., & Patra, S. (2021). Identification of Groundwater Potential Zones Using RemoteSensing and GIS Techniques: A Case Study of the Shatt Al-Arab Basin. *Remote Sensing, 13*, 112 . doi:10.3390/rs13010112

Anbazhagan, S., Ramasamy, S., & Das Gupta, S. (2005). Remote sensing and GIS for artificial recharge study, runoff estimation and planning in Ayyar basin, Tamil Nadu, India. *Environmental geology, 48*, 158-170 .

Aouragh, M. H., Essahlaoui, A., El Ouali, A., El Hmaidi, A., & Kamel, S. (2017). Groundwater potential of Middle Atlas plateaus, Morocco, using fuzzy logic approach, GIS and remote sensing. *Geomatics, Natural Hazards and Risk, 8*(2), 194-206 .

Argaz, A., Ouahman, B., Darkaoui ,A., Bikhtar, H., Yabsa, K., & Laghzal, A. (2019). Application of Remote Sensing Techniques and GIS-Multicriteria decision Analysis for Groundwater Potential Mapping in Souss Watershed, Morocco. *Environmental Sciences, 10*(5), 411-421 .

Arshad, A., Zhang ,Z., Zhang, W., & Dilawar, A. (2020a). Mapping favorable groundwater potential recharge zones using a GIS-based analytical hierarchical process and probability frequency ratio model: A case study from an agro-urban region of Pakistan. *Geoscience Frontiers* .۱۸۱۹-۱۸۰۵ ,(۵)۱۱ ,

Arshad, A., Zhang, Z., Zhang, W., & Dilawar, A. (2020b). Mapping favorable groundwater potential recharge zones using a GIS-based analytical hierarchical process and probability frequency ratio model: A case study from an agro-urban region of Pakistan. *Geoscience Frontiers*. doi:10.1016/j.gsf.2019.12.013

Arulbalaji, P., Padmalal, D., & Sreelash, K. (2019). GIS and AHP techniques based delineation of groundwater potential zones: a case study from southern Western Ghats, India. *Scientific reports, 9*(1), 2082 .

Ashraf, M., & Routray, J. K. (2015). Spatio-temporal characteristics of precipitation and drought in Balochistan Province, Pakistan. *Natural Hazards, 77*, 229-254 .

Ashraf, M., Routray, J. K., & Saeed, M. (2014). Determinants of farmers' choice of coping and adaptation measures to the drought hazard in northwest Balochistan, Pakistan. *Natural Hazards, 73*, 1451-1473 .

Bayati khatibi ,M.,Rostami,F.,Valizadeh Kamran,K.(2022).Investigation and Assessment of Groundwater Vulnerability to Pollution using DRASTIC Model and Fuzzy Logic,Hydrogeomorphology,8(29),81-108.

Boughariou, E., Allouche, N., Ben Brahim, F., Nasri, G., & Bouri, S. (2021). Delineation of groundwater potentials of Sfax region, Tunisia, using fuzzy analytical hierarchy process, frequency ratio, and weights of evidence models. *Environment, Development and Sustainability, 23*(10), 14749-14774 .

Brady, N. C., Weil, R. R., & Weil, R. R. (2008). *The nature and properties of soils* (Vol. 13): Prentice Hall Upper Saddle River, NJ.

Brunelli, M. (2014). *Introduction to the analytic hierarchy process*: Springer.

Buckley, J. J. (1985). Fuzzy hierarchical analysis. *Fuzzy sets and systems, 17*(3), 233-247 .

Carlston, C. (2018). Drainage density and streamflow. Geological Survey Professional Paper 422-C.

Chandra, S. (2006). Contribution of geophysical properties in estimating hydrogeological parameters of an aquifer. *Ph. D. Thesis. BHU, Varanasi*, 176 .

Chandramohan, R., Kanchanabhan, T. E., & Siva Vignesh, N. (2019). Identification of Artificial Recharges Structures Using Remote Sensing and GIS for Arid and Semi-arid Areas. *Nature Environment and Pollution Technology*, 183-189 .

Chaplot, V., & Le Bissonnais, Y. (2000). Field measurements of interrill erosion under different slopes and plot sizes. *Earth Surface Processes and Landforms: The Journal of the British Geomorphological Research Group, 25*(2), 145-153 .

Chen, W., Li, H., Hou, E., Wang, S., Wang, G., Panahi, M . . . ,.Niu, C. (2018). GIS-based groundwater potential analysis using novel ensemble weights-of-evidence with logistic regression and functional tree models. *Science of The Total Environment, 634*, 853-867 .

Chowdhury, A., Jha, M. K., & Chowdary, V. (2010). Delineation of groundwater recharge zones and identification of artificial recharge sites in West Medinipur district, West Bengal, using RS, GIS and MCDM techniques. *Environmental Earth Sciences, 59*, 1209-1222 .

Dabral, S., Bhatt, B., Joshi, J. P., & Sharma ,N. (2014). Groundwater suitability recharge zones modelling – A GIS application. *The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences, XL-8*, 347-353. doi:10.5194/isprsarchives-XL-8-347-2014

Das, S. (2019). Comparison among influencing factor, frequency ratio, and analytical hierarchy process techniques for groundwater potential zonation in Vaitarna basin, Maharashtra, India. *Groundwater for Sustainable Development, 8*, 617-629 .

De Wit, P., & Nachtergaele, F.(1990) .Explanatory note on the soil map of the Republic of Botswana. Annex 1: Typifying pedons and soil analytical data .

Dini.M,Mohammadi,A.(2018).The Zoning of Groundwater Level in the Marand Plain Based on the Existing Potential. Hydrogeomorphology,5(15),17-35.

El-Sawy, K., Ibrahim, A. M., El-Bastawesy, M. A., & El-Saud, W. A. (2016). Automated, manual lineaments extraction and geospatial analysis for Cairo-Suez district (Northeastern Cairo-Egypt), using remote sensing and GIS. *International Journal of Innovative Science, Engineering & Technology, 3*(5), 491-500 .

Elvis, B. W. W., Arsene, M., Theophile, N. M., Bruno, K. M. E., & Olivier, O. A .(۲۰۲۲) .Integration of shannon entropy (SE), frequency ratio (FR) and analytical hierarchy process (AHP) in GIS for suitable groundwater potential zones targeting in the Yoyo river basin, Méiganga area, Adamawa Cameroon. *Journal of Hydrology: Regional Studies, 39*, 100997 .

Essig, E. T., Corradini, C., Morbidelli, R., & Govindaraju, R. S. (2009). Infiltration and deep flow over sloping surfaces: Comparison of numerical and experimental results. *Journal of hydrology, 374*(1-2), 30-42 .

Faust, N., Anderson ,W., & Star, J. (1991). Geographic information systems and remote sensing future computing environment. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing, 57*(6), 655-668 .

Ffolliott, P. F., Baker, M. B., Edminster, C. B., Dillon, M. C., & Mora, K. L. (2012 .(*Land stewardship through watershed management: perspectives for the 21st century*: Springer Science & Business Media.

FitzPatrick, E. A. (1978). An introduction to soil science. *Soil Science, 125*(4), 271 .

Freeze, R. A. (1984). Groundwater contamination: Wiley Online Library.

Gebreyohannes, T., De Smedt, F., Walraevens, K., Gebresilassie, S., Hussien, A., Hagos, M., . . . Gebrehiwot, K. (2017). Regional groundwater flow modeling of the Geba basin, northern Ethiopia. *Hydrogeology Journal, 25*(3), 639 .

Gebrie, T., Gadissa, E., Ahmad, I., Dar, M. A., Teka, A. H., Tolosa, A. T., . . . Fenta, A. (2018). Groundwater resources evaluation using geospatial technology. *Environmental Geosciences, 25*(1), 25-35 .

Githinji, T. W., Dindi, E. W., Kuria, Z. N., & Olago, D .O. (2022). Application of analytical hierarchy process and integrated fuzzy-analytical hierarchy process for mapping potential groundwater recharge zone using GIS in the arid areas of Ewaso Ng'iro–Lagh Dera Basin, Kenya. *HydroResearch, 5*, 22-34 .

Harinarayana, P., Gopalakrishna, G., & Balasubramanian, A. (2000). Remote sensing data for groundwater development and management in Keralapura watersheds of Cauvery basin, Karnataka, India. *Indian Mineral, 34*(2), 11-17 .

Hayat, S., Szabó, Z., Tótha, Á., & Szőnyia, J. M. (2021). MAR site suitability mapping for arid–semiarid regions by remote data and combined. *Acque Sotterranee - Italian Journal of Groundwater,, 10*(3), 17-28. doi:10.7343/as-2021-526as-2021-505

Hem, J. D. (1985). *Study and interpretation of the chemical characteristics of natural water* (Vol. 2254): Department of the Interior, US Geological Survey.

Israil, M., Al-Hadithi, M., & Singhal, D. (2006). Application of a resistivity survey and geographical information system (GIS) analysis for hydrogeological zoning of a piedmont area, Himalayan foothill region, India. *Hydrogeology Journal, 14*(5), 753-759 .

Jerbi, H., Massuel, S., Leduc, C., & Tarhouni, J. (2018). Assessing groundwater storage in the Kairouan plain aquifer using a 3D lithology model (Central Tunisia). *Arabian Journal of Geosciences, 11*, 1-10 .

Kabeto, J., Adeba, D., Regasa, M. S., & Leta, M. K. (2022). Groundwater Potential Assessment Using GIS and Remote Sensing Techniques: Case Study ofWest Arsi Zone, Ethiopia. *Water, 14*. doi:10.3390/w14121838

Khan, A., Govil, H., Taloor, A. K., & Kumar, G. (2020). Identification of artificial groundwater recharge sites in parts of Yamuna River basin India based on Remote Sensing and Geographical Information System. *Groundwater for Sustainable Development, 11*, 100415 .

Khan, A. S., & Khan, S. D. (2013). Land subsidence and declining water resources in Quetta Valley, Pakistan. *Environmental Earth Sciences, 70*(6), 2719-2727. doi:10.1007/s12665-013-2328-9

Khan, A. S ,.Khan, S. D., & Kakar, D. M. (2013). Land subsidence and declining water resources in Quetta Valley, Pakistan. *Environmental Earth Sciences, 70*(6), 2719-2727 .

Kotchoni, D. V., Vouillamoz, J.-M., Lawson, F. M., Adjomayi, P., Boukari, M., & Taylor, R. G .(٢٠١٨) . Relationships between rainfall and groundwater recharge in seasonally humid Benin: a comparative analysis of long-term hydrographs in sedimentary and crystalline aquifers. *Hydrogeology Journal* .

Liu, J., Gao, G., Wang, S., Jiao, L., Wu, X., & Fu ,B. (2018). The effects of vegetation on runoff and soil loss: Multidimensional structure analysis and scale characteristics. *Journal of Geographical Sciences, 28*, 59-78 .

Ma, Y. (2004). GIS Application In Watershed Management. *Nature and Science, 2*(2 .(

Magesh, N. S., Chandrasekar, N., & Soundranayagam, J. P. (2012). Delineation of groundwater potential zones in Theni district, Tamil Nadu, using remote sensing, GIS and MIF techniques. *Geoscience Frontiers, 3*(2), 189-196 .

Mahalingam, B., & Vinay, M. (201 .(٥Identification of ground water potential zones using GIS and Remote Sensing Techniques: A case study of Mysore taluk-Karnataka. *International journal of Geomatics and Geosciences, 5*(3), 393-403 .

Maidment, D. R. (1993). *Handbook of hydrology*: McGraw-Hill.

Malczewski, J. (1999). *GIS and multicriteria decision analysis*: John Wiley & Sons.

Mallick, J., Khan, R. A., Ahmed, M., Alqadhi, S. D., Alsubih, M., Falqi, I., & Hasan, M. A. (2019). Modeling groundwater potential zone in a semi-arid region of Aseer using fuzzy-AHP and geoinformation techniques. *Water, 11*(12), 2656 .

Manap, M. A., Nampak, H., Pradhan, B., Lee, S., Sulaiman, W. N. A., & Ramli, M. F. (2014). Application of probabilistic-based frequency ratio model in groundwater potential mapping using remote sensing data and GIS. *Arabian Journal of Geosciences, 7*, 711-724 .

Maqsoom, A., Aslam, B., Khalid, N., Ullah, F., Anysz, H., Almaliki, A. H., . . . Hussein, E. E. (2022). Delineating Groundwater Recharge Potential through Remote Sensing and Geographical Information Systems. *Water, 14*(11), 1824. doi:10.3390/w14111824

Miller, G. T., & Spoolman, S. E. (2007). *Living in the environment: principles, connections, and solutions.* (16 ed.): Thomson Brooks/Cole.

Moghaddam, D. D., Rezaei, M., Pourghasemi, H ,.Pourtaghie, Z., & Pradhan, B. (2015). Groundwater spring potential mapping using bivariate statistical model and GIS in the Taleghan watershed, Iran. *Arabian Journal of Geosciences, 8*, 913-929 .

Mondal, P., & Dalai, A. K. (2017). *Sustainable utilization of natural resources*: CRC Press.

Nampak, H., Pradhan, B., & Abd Manap, M. (2014). Application of GIS based data driven evidential belief function model to predict groundwater potential zonation. *Journal of hydrology, 513*, 283-300 .

Njumbe, L. J. N., Lordon, A. E. D., & Agyingi, C. M. (2023). Determination of Groundwater Potential Zones on the Eastern Slope of Mount Cameroon using Geospatial Techniques and Seismoelectric Method .

Oh, H.-J., Kim, Y.-S., Choi, J.-K., Park, E., & Lee, S. (2011). GIS mapping of regional probabilistic groundwater potential in the area of Pohang City, Korea. *Journal of hydrology, 399*(3-4), 158-172 .

Ozdemir, A. (2011). GIS-based groundwater spring potential mapping in the Sultan Mountains (Konya, Turkey) using frequency ratio ,weights of evidence and logistic regression methods and their comparison. *Journal of hydrology, 411*(3-4), 290-308 .

P.M., D., & R. Dudal. (1989). Lecture notes on the geography, formation, properties and use of major soils of the world

Pourtaghi, Z. S., & Pourghasemi, H. R. (2014a). Avaliação e mapeamento do potencial em nascentes de água subterrânea com base em SIG no município de Birjand, sul da Província de Khorasan, Irão. *Hydrogeology Journal, 22* .٦٦٢-٦٤٣ ,

Pourtaghi, Z. S., & Pourghasemi, H. R. (2014b). GIS-based groundwater spring potential assessment and mapping in the Birjand Township, southern Khorasan Province, Iran. *Hydrogeol J, 22*(3), 643-662 .

Qureshi, A. S. (2020). Groundwater Governance in Pakistan: From Colossal Development to Neglected Management. *Water, 12*(11), 3017. doi:10.3390/w12113017

Raduła, M. W., Szymura, T. H., & Szymura, M. (2018). Topographic wetness index explains soil moisture better than bioindication with Ellenberg's indicator values. *Ecological indicators, 85*, 172-179 .

Razandi, Y., Pourghasemi, H. R., Neisani, N. S., & Rahmati, O. (2015). Application of analytical hierarchy process, frequency ratio, and certainty factor models for groundwater potential mapping using GIS. *Earth Science Informatics, 8*(4), 867-883 .

Saaty, T. L. (1980). The analytical hierarchy process, planning, priority. *Resource allocation. RWS publications, USA* .

Saranya, T., & Saravanan, S. (2020). Groundwater potential zone mapping using analytical hierarchy process (AHP) and GIS for Kancheepuram District, Tamilnadu, India. *Modeling Earth Systems and Environment, 6*(2), 1105-1122 .

Sarath Prasanth, S., Magesh, N., Jitheshlal, K., Chandrasekar, N., & Gangadhar, K. (2012). Evaluation of groundwater quality and its suitability for drinking and agricultural use in the coastal stretch of Alappuzha District, Kerala, India. *Applied Water Science, 2*, 165-175 .

Sardar, H., Akhter, G., Ge, Y., & Ammar Haider, S. (2022). Delineation of potential managed aquifer recharge sites of Kuchlak sub-basin, Balochistan, using remote sensing and GIS. doi:10.3389/fenvs.2022.916504

Selvam, S., Dar, F. A., Magesh, N., Singaraja, C., Venkatramanan, S., & Chung, S. (2016). Application of remote sensing and GIS for delineating groundwater recharge potential zones of Kovilpatti Municipality, Tamil Nadu using IF technique. *Earth Science Informatics, 9*, 137-150 .

Selvam, S., Manimaran, G., Sivasubramanian, P., & Seshunarayana, T. (2014). Geoenvironmental Resource Assessment Using Remote Sensing and GIS: A case study from southern coastal region. *Research Journal of Recent Sciences, 2277*, 2502 .

Senthilkumar, M., Gnanasundar, D., & Arumugam, R. (2019). Identifying groundwater recharge zones using remote sensing & GIS techniques in Amaravathi aquifer system, Tamil Nadu, South India. *Sustainable Environment Research, 29*(1), 1-9 .

Shaban, A., Khawlie, M., & Abdallah, C. (2006). Use of remote sensing and GIS to determine recharge potential zones: the case of Occidental Lebanon. *Hydrogeology Journal, 14*, 433-443 .

Simmers, I. (1990). Aridity, groundwater recharge and water resources management. *Groundwater recharge. A guide to understanding the natural recharge. Hannover: Ed. R. van Acken GmbH*, 1-20 .

Singh, A., Panda, S., Kumar, K & ,.Sharma, C. S. (2013). Artificial groundwater recharge zones mapping using remote sensing and GIS: a case study in Indian Punjab. *Environmental management, 52*, 61-71 .

Srivastava, P. K., & Bhattacharya, A. K. (2006). Groundwater assessment through an integrated approach using remote sensing, GIS and resistivity techniques: a case study from a hard rock terrain. *International Journal of Remote Sensing, 27*(20), 4599-4620 .

Thakur, D., Bartarya, S. K., & Nainwal, H. C. (2018). Mapping groundwater prospect zones in an intermontane basin of the Outer Himalaya in India using GIS and remote sensing techniques. *Environmental Earth Sciences, 77* .

Tiwari, A. K., Lavy, M., Amanzio, G., De Maio, M., Singh, P. K., & Mahato, M. K. (2017). Identification of artificial groundwater recharging zone using a GIS-based fuzzy logic approach: a case study in a coal mine area of the Damodar Valley, India. *Applied Water Science, 7*, 4513-4524 .

Todd, D. K., & Mays, L. W. (2004). *Groundwater hydrology*: John Wiley & Sons.

Tolche, A .D. (2021). Groundwater potential mapping using geospatial techniques: a case study of Dhungeta-Ramis sub-basin, Ethiopia. *Geology, Ecology, and Landscapes, 5*(1), 65-80 .

Uc Castillo, J. L., Martínez Cruz, D. A., Ramos Leal , J. A., Tuxpan Vargas, J., Rodríguez Tapia, S. A., & Marín Celestino, A. E. (2022). Delineation of Groundwater Potential Zones (GWPZs) in a Semi-Arid Basin through Remote Sensing, GIS, and AHP Approaches. *Water, 14*. doi:10.3390/w14132138

V.Keshavan, S.Ranjith, J.Sabarish, J.Srinivasan, & D.Sivasankar. (2017). Identification of Groundwater Recharge Potential Zones for a Watershed Using Remote Sensing and GIS. *International Journal of Innovative Research in Science, Engineering and Technology, 16*(4). doi:10.15680/IJIRSET.2017٠٦٠٤٠٤٨.

Watto, M. A. (2015). The economics of groundwater irrigation in the Indus Basin, Pakistan: Tube-well adoption, technical and irrigation water efficiency and optimal allocation. University of Western Australia .

Xu, G., Su, X., Zhang, Y., & You ,B. (2021). Identifying Potential Sites for Artificial Recharge in the Plain Area of the Daqing River Catchment Using GIS-Based Multi-Criteria Analysis. *Sustainabilty, 13*. doi:10.3390/su13073978

Yeh, H.-F., Lee, C.-H., Hsu, K.-C., & Chang, P.-H. (2009). GIS for the assessment of the groundwater recharge potential zone. *Environmental geology, 58*, 185-195 .

Yesilnacar, E., & Topal, T. (2005). Landslide susceptibility mapping: a comparison of logistic regression and neural networks methods in a medium scale study, Hendek region (Turkey). *Engineering Geology, 79*(3-4), 251-266 .

Yıldırım, Ü. (2021). Identification of groundwater potential zones using GIS and multi-criteria decision-making techniques: a case study upper Coruh River basin (NE Turkey). *ISPRS International Journal of Geo-Information, 10*(6), 396 .

Yuan, J., Lei, T., Guo, S., & Jiang, D. (2001). Study on spatial variation of infiltration rates for small watershed in loess plateau. *J. Hydraul. Eng, 10*, 88-92 .

Zadeh, L. A. (1965). Fuzzy sets. *Information and control, 8*(3), 338-353 .

مقاله پژوهشی

بررسی تغذیه آبهای زیرزمینی و مسـّاحی مکان های تغذیه با استفاده از سیستم های تصمیم گیری فضایی یکپارچه مبتنی بر GIS ، مطالعه موردی : از منطقه کویته پاکستان

عماد علی [۱]*،مریم بیاتی خطیبی [۲] ،صدراکریم زاده [۳]

1- دانشجوی دکتری سنجش از دور وسیستم اطلاعات جغرافیایی، دانشکده برنامه ریزی وعلوم محیطی، دانشگاه تبریز، تبریز ، ایران. Imadali_khan@yahoocom

2-استاد گروه سنجش از دور وسیستم اطلاعات جغرافیایی دانشکده برنامه ریزی وعلوم محیطی دانشگاه تبریز،تبریز، ایران. m_bayati@tabrizu.ac.ir

3- استادیارگروه سنجش از دور وسیستم های اطلاعات جغرافیایی دانشکده برنامه ریزی وعلوم محیطی، دانشگاه تبریز،تبریز، ایران. skharimzadeh@tabrizu.ac.ir

کلیدواژه‌ها

منطقه بندی تغذیه آب های زیر زمینی،فرایندتحلیل سلسله مراتبی ،فرایند سلسله مراتب تحلیلی یکپارچه ،نسبت فرکانس ،کویته پاکستان .

چکیده

آب های زیرزمینی یک منبع حیاتی در مناطق خشک و نیمه خشک محسوب می شوند.منطقه کویته پاکستان ازمناطق کمبود آب دنیا به شمار می آیدکه برای مدیریت منابع آب زیرزمینی به مطالعه و مساحی های دقیق نیاز دارد تا محدوده های تغذیه آب های زیر زمینی مشخص گردند. این مطالعه با هدف ترسیم مناطق تغذیه آب های زیرزمینی با استفاده از ترکیبی از مدل‌های فرآیند تحلیل سلسله مراتبی (AHP)، فازی-AHP و نسبت فرکانس (FR) انجام شد. هدف دیگر ،مطالعه مقایسه اثربخشی مدل‌ها در نقشه‌برداری محدوده هایی از منطقه با پتانسیل تغذیه آب زیرزمینی بود. برای دستیابی به این اهداف، ۹ عامل موثر بر آب های زیرزمینی شامل زمین شناسی، انواع خاک، تراکم آبراهه ها، ارتفاع، شیب، شاخص رطوبت توپوگرافی، پوشش اراضی کاربری و بارندگی در نظر گرفته شد. نقشه های موضوعی برای همه عوامل با استفاده از داده های ماهواره ای در محیط ArcGIS تولید شد. وزن هر لایه موضوعی بر اساس اهمیت آن برای تغذیه مجددآبخوان ها تعیین شد. همه لایه‌های موضوعی با استفاده از AHP model-l (WLC)، AHP model-II (جمع وزنی)، پوشش فازی-AHP، و مدل مبتنی بر FR با استفاده از ArcGIS ترکیب شدند. یافته‌ها نشان داد که ۱۵٪ و ۳۹٪ منطقه مورد مطالعه به ترتیب دارای پتانسیل شارژ مجدد بر اساس مدل-I مبتنی بر AHP و مدل-II هستند. مدل FAHP ۴۳درصد از منطقه را به عنوان مناطقی با تغذیه بالا مشخص می کند ،در حالی که مدل FR ۴۲درصد از منطقه را به عنوان مناطقی با تغذیه بالا نشان می دهد. اکثر مناطق با تغذیه آب زیرزمینی بالا در بخش مرکزی منطقه قراردارند، در حالی که بخش جنوبی به عنوان یک منطقه با تغذیه متوسط و قسمت های شرقی و غربی به عنوان مناطق با پتانسیل تغذیه کم مشخص شده اند. برای تأیید صحت این مدل‌ها، از منحنی‌های اعتبارسنجی مشخصه عملکرد گیرنده (ROC) استفاده شد. منحنی‌های ROC نشان داد که مدل AHP-II دارای بالاترین دقت (AUC=89%) است در حالی که مدل FAHP (88=AUC=%)، AHP model-I (AUC=84%) و FR (AUC=81%) درمرحله بعدی قراردارند. در نتیجه، مدل AHP-II در مقایسه با مدل‌های FAHP و FR در مطالعه حاضر در تعیین محدوده منطقه شارژ مؤثرتر نشان داده شد.

تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۰۲/۰۱

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۰۴/۰۴

تاریخ انتشار: ۱۴۰۳/۰7/30

نویسنده مسئول: عماد علی

رایانامه: E-mail:Imadali_khan@yahoo.com

ارجاع به این مقاله: عماد؛ علی، مریم، بیاتی خطیبی، صدرا؛ کریم زاده(.۱۴۰۳). بررسی تغذیه ی آب های زیرزمینی ومساحی مکان های تغذیه با استفاده از سیستم های تصمیم گیری فضایی یک پارچه مبتنی برGIS، مطالعه موردی: از منطقه کویته پاکستان. هیدروژئومورفولوژی ۱۱(۴۰):۸۶-۵۸.

DOI:10.22034/hyd.2024.61290.1734

Copyright: ©2024 by the authors

Publisher: University of Tabriz

Hydrogeomorphology Vol. 11, No. 40, 2024

Research Paper

Estimation of river bank erosion and effective factors in Polealmas-Gilande reach, Balkhlochai River in Ardabil

Abazar Esmali Ouri[1*], Arezoo Eshaghzadeh[2], Shokrollah Asghari[3], Raoof Mostafazadeh[4]

1. Professor, Department of Natural Resources, Faculty of Agriculture and natural Resources, and Member of Water Management Research Center, University of Mohaghegh Ardabili, Ardabil, Iran. abazar.esmali@gmail.com
2. M. Sc in Watershed Management Sciences & Engineering, Faculty of Agriculture and natural Resources University of Mohaghegh Ardabili, Ardabil, Iran. arezoo.eshaghzadeh@gmail.com
3. Professor, Department of Soil Sciences, Faculty of Agriculture and natural Resources, University of Mohaghegh Ardabili, Ardabil, Iran. shasghari@uma.ac.ir
4. Assocaite Professor, Department of Natural Resources, Faculty of Agriculture and natural Resources, and Member of Water Management Research Center, University of Mohaghegh Ardabili, Ardabil, Iran. raoofmostafazadeh@uma.ac.ir

Keywords

River morphology, River bank erosion, Multivariate regression, Balikhlouchai River, Ardabil province.

Received: 2024/04/22

Accepted: 2024/07/12

Published: 2024/10/21

ABSTRACT

Determining the extent of riverbank erosion and displaying it as a map in a GIS environment is effective in the optimal management of water and soil resources. The aim of the current research is to delineate the riverbank erosion zone from aerial photographs, perform regression modeling, and identify factors influencing the development of riverbank erosion using various spatial data including physiographic, hydrological, geological, and environmental data in different sections of the Balikhlouchai River in Ardabil Province. Initially, influential parameters in riverbank erosion in the region, including topographic, soil and land factors, hydrology, and land use changes, were calculated. Accordingly, the variables under study were obtained for four time periods: 1955 using aerial photographs, 1980 using TM satellite images, and years 2010 and 2013 using Google Earth images, and the effective extent of riverbank erosion was compared. Subsequently, multivariate regression analysis was performed using independent variables (including topographic, hydrological, soil erodibility, and land factors) and the effective extent of riverbank erosion as the dependent variable, using SPSS software, and suitable models were developed to estimate the amount of different riverbank erosion. Based on the results of regression analysis, environmental parameters such as slope of the river reaches, peak discharge, area under irrigated agriculture, concentration time, pasture coverage, and residential areas played a more significant role in exacerbating riverbank erosion.

* Corresponding Author: Abazar Esmali Ouri E-mail: esmaliouri@uma.ac.ir

How cite to this article: Esmali Ouri, Abazar; Eshaghzadeh, Arezoo; Asghari, Shokrollah; Mostafazadeh, Raoof. (2024). Estimation of river bank erosion and effective factors in Polealmas-Gilande reach, Balkhlochai River in Ardabil. *Hydrogeomorphology*, 11(40): 87 – 101.

DOI:10.22034/hyd.2024.61311.1735

Copyrigh: ©2024 by the authors. Publisher: University of Tabriz

Introduction

Determining the extent of riverbank erosion and displaying it as a map in a GIS environment is effective in the optimal management of water and soil resources. The aim of the current research is to delineate the riverbank erosion zone from aerial photographs, perform regression modeling, and identify factors influencing the development of riverbank erosion using various spatial data including physiographic, hydrological, geological, and environmental data in different sections of the Balikhlouchai River in Ardabil Province.

Methodology

Initially, influential parameters in riverbank erosion in the region, including topographic, soil and land factors, hydrology, and land use changes, were calculated. Accordingly, the variables under study were obtained for four time periods: 1955 using aerial photographs, 1980 using TM satellite images, and years 2010 and 2013 using Google Earth images, and the effective extent of riverbank erosion was compared. Subsequently, multivariate regression analysis was performed using independent variables (including topographic, hydrological, soil erodibility, and land factors) and the effective extent of riverbank erosion as the dependent variable, using SPSS software, and suitable models were developed to estimate the amount of different riverbank erosion.

Results and Discussion

Based on the results of regression analysis, environmental parameters such as slope of the river reaches, peak discharge, area under irrigated agriculture, concentration time, pasture coverage, and residential areas played a more significant role in exacerbating riverbank erosion. Based on regression analysis, the most influential factors in riverbank erosion occurrence in the study intervals can be prioritized as follows. In the physiographic category, the slope interval and the area of the upstream area are among the important factors identified. It is noteworthy that in the hydrological variables approach, none of the variables showed a significant relationship with riverbank erosion values. Among the land factors, the variable of residential area extent was introduced as an important variable. Overall, considering all variables in the modeling process, the two environmental factors of slope interval and peak discharge have the greatest impact on the amount of riverbank erosion. The use of these relationships enables estimation of riverbank erosion in the study area based on available data.

Conclusions

In the current study, the extent of riverbank erosion was determined from aerial photographs, followed by the identification of factors influencing the development of riverbank erosion. Subsequently, attempts were made to model riverbank erosion using various spatial data including physiographic, hydrological, geological, and environmental data. According to the results of regression equations, it was revealed that among the physiographic factors, variables such as slope interval and the extent of the upstream area are the most influential factors in the occurrence and exacerbation of riverbank erosion in the study intervals. It is worth noting that none of the variables related to hydrology showed a significant relationship with riverbank erosion values. Therefore, it can be concluded that hydrological factors alone are not effective in the changes of riverbank erosion in the Balfeluchay River area, and simultaneously, other environmental factors also play a role in exacerbating erosion. The examination of the status of riverbank erosion morphology and changes in influential variables indicates an increase in the area affected by riverbank erosion in the study area. This is while changes in factors such as effective riverbank erosion area, drainage density, average discharge, riverbank coverage, and the percentage of different land uses vary in different periods.

مقاله پژوهشی

برآورد فرسایش کنار رودخانه‌ای و تعیین عوامل موثر در بازه پل‌الماس-گیلانده رودخانه بالخلوچای اردبیل

اباذر اسمعلی عوری[1*]، آرزو اسحق‌زاده[2]، شکراله اصغری[3]، رئوف مصطفی‌زاده[4]

۱- استاد گروه منابع طبیعی و عضو پژوهشکده مدیریت آب، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل، ایران. esmaliouri@uma.ac.ir
2-کارشناسی ارشد مهندسی آبخیزداری، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل، ایران. arezoo.eshaghzadeh@gmail.com
۳- استاد گروه علوم و مهندسی خاک، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل، ایران. shasghari@uma.ac.ir
4-دانشیار گروه منابع طبیعی و عضو پژوهشکده مدیریت آب، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل، ایران. raoofmostafazadeh@uma.ac.ir

کلیدواژه‌ها

مورفولوژی رودخانه، فرسایش کناری رودخانه، رگرسیون چندمتغیره، حوضه بالخلوچای، استان اردبیل.

چکیده

تعیین وسعت فرسایش کناره رودخانه‌ای خاک و نمایش آن به‌صورت نقشه در محیط GIS، در مدیریت بهینه از منابع آب و خاک موثر است. هدف تحقیق حاضر تعیین محدوده فرسایش رودخانه‌ای از روی عکس‌های هوایی، مدل‌سازی رگرسیونی و تعیین عوامل موثر بر توسعه فرسایش کنار رودخانه‌ای با استفاده از داده‌های مکانی مختلف فیزیوگرافی، هیدرولوژی، زمین‌شناسی و محیطی در بازه‌هایی از رودخانه بالخلوچای در استان اردبیل است. ابتدا پارامترهای موثر در ایجاد فرسایش کنار رودخانه‌ای موجود در منطقه شامل عوامل توپوگرافی، خاک و زمین، هیدرولوژی، تغییرات کاربری محاسبه شدند. در این راستا، متغیرهای مورد مطالعه در چهار مقطع زمانی ۱۳۳۴ با استفاده از عکس‌های هوایی، سال ۱۳۵۹ با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای TM، سال‌های ۱۳۸۹ و ۱۳۹۲ با تصاویر Google Earth تهیه شد و سطح موثر فرسایش رودخانه‌ای مورد مقایسه قرار گرفت. سپس با استفاده از متغیرهای مستقل (شامل عوامل توپوگرافی، هیدرولوژی، فرسایش پذیری خاک و عوامل زمینی) و سطح موثر فرسایش رودخانه‌ای به‌عنوان متغیر وابسته، تجزیه و تحلیل رگرسیونی چند متغیره در نرم‌افزار SPSS انجام و مدل‌های مناسب برآورد مقدار فرسایش کنار رودخانه‌ای مختلف به‌دست آمدند. بر اساس نتایج تحلیل رگرسیونی، پارامترهای محیط بازه، دبی اوج، مساحت تحت کشت زراعت آبی، زمان تمرکز، پوشش مرتع و مناطق مسکونی نقش مهم‌تری در تشدید فرسایش کنار رودخانه‌ای داشته اند.

تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۰۲/۰۳
تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۰۴/۲۲
تاریخ انتشار: ۱۴۰۳/۰۷/30

* نویسنده مسئول: اباذر اسمعلی عوری
رایانامه: esmaliouri@uma.ac.ir

ارجاع به این مقاله: اسمعلی‌عوری، اباذر؛ اسحق‌زاده، آرزو؛ اصغری، شکراله، ؛ مصطفی‌زاده، رئوف. (۱۴۰۳). برآورد فرسایش کنار رودخانه‌ای و تعیین عوامل موثر در بازه پل‌الماس-گیلانده رودخانه بالخلوچای اردبیل. *هیدروژئومورفولوژی*، ۱۱ (۴۰): 101 -87.

DOI:10.22034/hyd.2024.61311.1735

Copyrigh: ©2024 by the authors. Publisher: University of Tabriz

مقدمه

تامین آب شرب و کشاورزی از اصلی‌ترین نیازهای بشر است که از رودخانه‌ها تامین می‌شود. در حاشیه بعضی رودخانه‌ها فرسایش کنار رودخانه‌ای سالانه مساحت بسیاری از اراضی زیرکشت را از بین می‌برد (داس و همکاران[1] ۲۰۱۴: ۲). یکی از مهم‌ترین اشکال فرسایش خاک، فرسایش کنار رودخانه‌ای است که سالانه بخش قابل توجهی از اراضی مجاور را کاهش می‌دهد (مالیک و همکاران[2] ۲۰۲۳: ۱۰۰۰۷۵). رودخانه‌ها و آبراهه‌ها تحت تأثیر عوامل طبیعی و یا دخالت‌های انسان دچار فرسایش بستر، فرسایش کناره‌ها و جابه‌جایی عرضی و تغییر مورفولوژی می‌شوند (مصطفی‌زاده و همکاران، ۲۰۲۳: ۹۸). فرسایش کناره رودخانه‌ها عامل ناپایداری، جابه‌جایی و انتقال ذرات یا توده‌های خاک کناره است (اصغری سراسکانرود و همکاران، ۲۰۱۵: ۳؛ اسفندیاری درآباد و همکاران، ۲۰۲۱: ۱۲۱). اگرچه فرسایش در رودخانه‌ها به‌صورت فرسایش بستر و کناره‌ها توأماً دیده می‌شود، ولی رخداد فرسایش در کناره‌ها به‌صورت عمومی‌تر موجب بروز مشکلات بیش‌تری نسبت به فرسایش کف می‌شود (رولند و همکاران[3] ۲۰۲۳). فرسایش کنار رودخانه‌ای، موجب ایجاد مشکلات فراوانی در حاشیه رودخانه‌های آبرفتی می‌شود. تعریض بستر رودخانه‌ها، تخریب اراضی کشاورزی، تخریب راه‌های مجاور ساحل رودخانه‌ها، افزایش شدید غلظت رسوب و آلودگی آب رودخانه و تهدید پایداری سازه‌های احداث شده، بخشی از مشکلات ناشی از فرسایش کنار رودخانه‌ای است (احمد و همکاران[4] ۲۰۲۴: ۱۳۲؛ کوتالاکیس و همکاران[5] ۲۰۲۴: ۲۳۲). فرسایش کنار رودخانه‌ای در اثر عواملی مانند برداشت شن و ماسه، سرعت زیاد جریان، تر و خشک شدن متناوب خاک دیواره‌ها، انجماد و ذوب متناوب و تخریب و افزایش حساسیت خاک دیواره‌ها، انتقال و برخورد تنه درختان، ریشه‌ها و سایر اجسام با دیواره‌ها و تغییر جریان به سمت دیواره‌ها، و رواناب تولیدی از زمین‌های اطراف و آبشستگی تشدید می‌شوند (اصغری سراسکانرود، ۲۰۱۵: ۲؛ کوپر[6] ۲۰۰۴: ۳۸۸). فرسایش کنار رودخانه‌ای وسعت زمین‌های اطراف رودخانه را کاهش می‌دهد، به جاده‌های مجاور رودخانه خسارت وارد می‌سازد و با تولید مواد معلق سبب پر شدن مخازن می‌شود (حسین‌زاده و همکاران، ۲۰۱۹: ۲۶۶). فرسایش کنار رودخانه‌ای رودخانه‌های کشور، هر ساله زیان‌های جبران ناپذیری را وارد می‌کند و عموماً به‌صورت‌های گوناگون و با شدت و ضعف متفاوتی در رودخانه‌های آبرفتی به‌طور طبیعی دیده می‌شود. در هنگام وقوع سیلاب و پرآبی رودخانه تغییرات سریع‌تری در مقطع رودخانه و کناره‌ها رخ خواهد داد ولی دخالت‌ها و اقداماتی که بشر در حاشیه و بستر رودخانه‌ها انجام می‌دهد، در بسیاری مواقع موجب تشدید روند فرسایش و منشأ بسیاری از خسارت‌های قابل توجه شده است (کیم و همکاران[7] ۲۰۲۳: ۵۵۴). دلایل عمده تخریب سواحل و دیواره‌های رودخانه را می‌توان شسته شدن ذرات خاک در اثر جریان و امواج، شسته شدن پاشنه شیب سواحل و ریزش و گسیختگی داخلی آن، افزایش شیب سواحل در اثر فرسایش و آب شستگی، افزایش فشار آب منفذی در حالت کاملاً اشباع، گسیختگی درونی شیب به علت نشت آب به سمت رودخانه، فرسایش ناشی از ورود زه‌آبهای کشاورزی و عوامل متعدد دیگر برشمرد (گوش و ساها[8] ۲۰۲۴: ۸۲). رسوبات ناشی از فرسایش حوضه‌های آبریز معمولاً پس از بارندگی‌ها به رودخانه رسیده و با رسوبات ناشی از فرسایش دیواره بستر رودخانه همراه می‌شوند (لفرانکویس و همکاران[9] ۲۰۰۷: ۲۹۲۴). این رسوبات تاسیسات آبی در مسیر رودخانه‌ها را تحت تاثیر قرار داده و عمر مفید مخازن را کاهش می‌دهند. در ایران همه ساله پهنه‌های وسیعی از اراضی مرغوب و حاصل‌خیز سواحل رودخانه و مسیل‌ها بر اثر عبور جریان‌های سیلابی فرسایش یافته و تخریب می‌شوند (شریفی و همکاران، ۲۰۲۱: ۱۱۴۱). بنابراین به‌منظور ساماندهی و مدیریت رودخانه‌ها و کنترل فرسایش لازم است که ضمن شناخت و پیش بینی رفتار هیدرولیکی جریان، نواحی مستعد فرسایش کنار رودخانه‌ای شناسایی شده و اقدامات لازم جهت کنترل و احیای آن‌ها به عمل آید (اسفندیاری درآباد و همکاران، ۲۰۲۱: ۱۲۰؛ ونگ و همکاران[10] ۲۰۰۷: ۲۴۷).

1 -Das et al
2 -Mallick et al
3 -Rowland et al
4 -Ahmad et al
5 -Koutalakis et al
6 -Couper
7 -Kim et al
8 -Ghosh and Sah
9 -Lefrançois et al
10 -Wang et al

فرسایش کنار رودخانه‌ای معمولاً در دیواره نهرها و رودخانه‌ها در اثر نیروی برشی آب بوجود می‌آید (جولین و تورس[1] ۲۰۰۶: ۱۹۴). فرسایش در امتداد کناره‌ها و بستر نهرهای دائمی همواره فعال است در حالی که فرسایش‌های دیگر فقط در حین بارندگی و یا کمی پس از شروع آن فعال هستند. کنترل این نوع فرسایش باعث حفظ اراضی کشاورزی حاشیه‌ای جاده‌ها، پل‌ها و حفظ کیفیت آب می‌شود (بویان و همکاران[2] ۲۰۱۰: ۵۸۴). به‌طور کلی فرسایش کناره‌ای ناشی از جنس تشکیلات زمین‌شناسی دیواره و کف رودخانه، حساسیت خاک، شیب رودخانه، سرعت آب و سایر خصوصیات هیدرولیکی جریان آب و هم‌چنین فعالیت‌های انسان است (هنشاو و همکاران[3] ۲۰۱۳: ۱۰۸). از آنجا که فرسایش رودخانه‌ای مختص مناطق تحت تأثیر رودخانه‌ها است، بنابراین مکان‌یابی و مطالعه عوامل موثر بر وضعیت فرسایشی آن‌ها ضروری است که استفاده از عکس‌های هوایی و تصاویر ماهواره‌ای مطالعه آن را تسهیل می‌کند (مظفری و همکاران، ۲۰۲۲: ۵۸؛ اسپیکرمن و همکاران[4] ۲۰۱۷: ۱۹۴).

پژوهش‌های متعددی در خصوص ارزیابی فرسایش کناری رودخانه انجام شده است، به‌عنوان مثال، کومو و همکاران[5](۲۰۰۸: ۱۰۰) با هدف آشکارسازی تغییرات کناری رودخانه میکونگ با استفاده از سنجش از دور، میزان متوسط فرسایش کنار رودخانه‌ای در دو دوره ۱۹۶۱-۱۹۹۲ و ۲۰۰۵-۱۹۹۲ را به‌ترتیب ۰/۸ و ۱ متر برسال و میزان انباشت را ۰/۴ و ۰/۷ متر برسال برآورد کردند. شارما و همکاران[6] (۲۰۱۰: ۲۱۱) با استفاده ازداده‌های ماهواره‌ای به بررسی خطر فرسایش کنار رودخانه‌ای در حوضه رودخانه براهماپوترا پرداختند و بر کاهش اکوسیستم‌های حاشیه رودخانه و اراضی کشاورزی و آلودگی آب تاکید کردند و هم‌چنین رفتار هیدرولیکی و هیدرولوژیکی رودخانه ممکن است بی‌ثباتی رودخانه را تشدید کند. یمانی و شرفی (۲۰۱۲: ۱۵) در مطالعه ژئومورفولوژی و عوامل موثر در فرسایش کنار رودخانه‌ای هررود دریافتند که ساختمان زمین‌شناسی و لیتولوژی بستر و کناره رودخانه، مهم‌ترین عوامل تغییر پایداری بستر رودخانه به شمار می‌روند. ناث و همکاران[7](۲۰۱۳: ۴۵۴) به تجزیه و تحلیل روند فرسایش کنار رودخانه‌ای در سنگاپور بنگلادش با سیستم اطلاعات جغرافیایی و سنجش از دور پرداختند و با ترسیم تغییرات تاریخی ساحل رودخانه نشان دادند که نرخ فرسایش در سال‌های ۱۹۹۰-۲۰۰۲ بیش‌تر بوده است. رضایی مقدم و همکاران (۲۰۱۳: ۱) با ارزیابی تغییرات کناری مناطق خطر رودخانه آجی‌چای از طریق ویژگی‌های ژئومورفولوژیک، مناطق کناری حاشیه رودخانه را از نظر خطر فرسایش به سه بخش آسیب‌پذیر، بحرانی و بسیار بحرانی طبقه‌بندی کردند. حسین‌زاده و همکاران (۲۰۱۹: ۲۶۵) با هدف برآورد میزان فرسایش کناری رودخانه با استفاده از مدل پایداری کناره و فرسایش پای کرانه در رودخانه لاویج بر اساس نتایج شبیه‌سازی رودخانه با استفاده از مدل BSTEM در دبی‌های مقطع پر و حداکثر لحظه‌ای دریافتند که فاکتور امنیت کرانه در هر دو مورد کمتر از ۱ است که نشان‌دهنده پتانسیل فرسایش کناری، ناپایداری و سقوط کرانه در همه جریان‌های سیلابی است که برابر دبی مقطع پر و حداکثر لحظه‌ای باشند. محمدزاده و همکاران (۲۰۲۳: ۱۸۹۰) با هدف کمی‌نمودن فرسایش کناری رودخانه آمو در افغانستان دریافتند که متوسط فرسایش کناری در سال ۵/۴ کیلومترمربع در سال بوده است و یک رابطه خطی بین محدوده فرسایش کناری با شدت دبی و توان جریان رودخانه به‌دست آمد. حسن‌الزمان و همکاران[8](۲۰۲۳: ۱۱۶۳) با ارزیابی تغییرات فرسایش کناری رودخانه گنگ در هندوستان دریافتند که مدل‌سازی فرسایش و تشدید آن می‌تواند تصمیم گیران را در مدیریت مکانی و درک روندهای آتی مقادیر فرسایش کنار رودخانه‌ای برای مدیریت بهتر کاربری زمین و استراتژی‌های محافظت از سواحل رودخانه کمک کند. بوتا و همکاران[9](۲۰۲۴: ۲۰۴۱) با هدف مدل‌سازی هیدرودینامیکی دوبعدی به‌منظور پیش‌بینی فرسایش کنار رودخانه‌ای در رودخانه سند به شواهدی از مداخلات انسانی و جنبه‌های هیدرودینامیکی در وقوع دوره‌های سیلابی ای سیلاب دست یافتند و فرسایش کناری را با دقت بالا و ضریب تبیین معادل ۰/۸۳ با تلفیق عواملی مانند ضریب فرسایش پذیری و تکنیک تنش برشی محاسبه نمودند. نتایج مطالعه ایشان در کمک به اجرای اقدامات حفاظتی رودخانه به‌عنوان چارچوبی برای سایر رودخانه‌های مشابه پیشنهاد شد. هم‌چنین، هوانگ[10](۲۰۲۴) با هدف برآورد فرسایش کنار رودخانه‌ای از ترکیب مدل‌های مورفولوژیکی کانال با

1 -Julian and Torres
2 -Bhuiyan et al
3 -Henshaw et al
4 -Spiekermann et al
5 -Kummu et al
6 - Sharma et al
7 -Nath et al
8 - Hasanuzzaman et al
9 - Boota et al
10 - Huang

تکنیک‌های هوش مصنوعی استفاده نمود و نتیجه گرفتند که تلفیق و استفاده از داده‌های هیدرولوژیکی، ویژگی‌های ژئومورفولوژیکی و ویژگی‌های خاک می‌تواند به تغییرات هندسه کانال، جابجایی عمودی بستر رودخانه، جابجایی افقی ساحل رودخانه، و عرض کانال را با دقت مناسبی (ضریب تبیین برابر ۰/۹۶۳)پیش‌بینی نماید. بررسی فرسایش کنار رودخانه‌ای به‌منظور جلوگیری از کاهش ظرفیت رودخانه و اصلاح و بهبود مسیر و هندسه مقطع رودخانه و کاهش تراز سیل و جلوگیری از ورود خاک‌های آلوده اراضی اطراف به محیط آبی رودخانه و مدل‌سازی فرسایش و رسوب‌گذاری در رودخانه‌ها ضروری است. حوضه آبخیز بالخلوچای در استان اردبیل یکی از زیرحوضه‌های حوضه آبخیز قره‌سو است که در نهایت به رودخانه ارس می‌ریزد. با توجه به اقلیم نیمه‌خشک منطقه، تنوع کاربری‌های اراضی و عوامل موثر بر فرسایش کنار رودخانه‌ای و نیز اهمیت رودخانه بالخلوچای از نظر تامین آب شرب و نیز احتمال ایجاد خسارت به تاسیسات و دارایی‌های اطراف رودخانه برای این پژوهش انتخاب شده است. بنابراین هدف تحقیق حاضر تعیین محدوده فرسایش رودخانه‌ای از روی عکس‌های هوایی، مدل‌سازی رگرسیونی و تعیین عوامل موثر بر توسعه فرسایش کنار رودخانه‌ای با استفاده از داده‌های مکانی مختلف فیزیوگرافی، هیدرولوژی، زمین‌شناسی و محیطی است.

مواد و روش پژوهش

منطقه مورد مطالعه

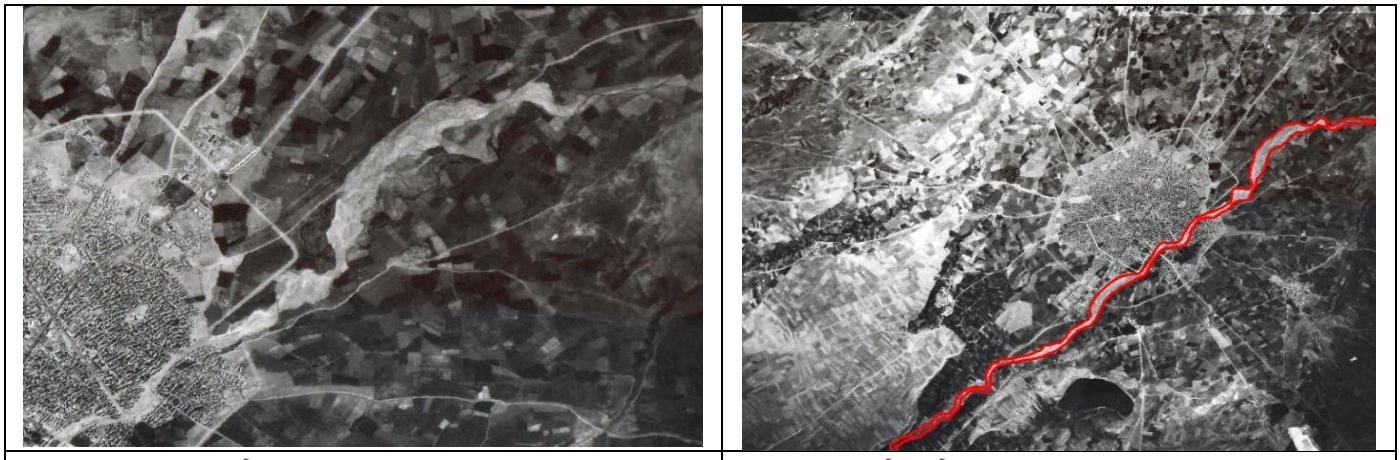
رودخانه بالخلوچای از سرشاخه‌های اصلی رودخانه قره‌سو است که از پیوستن رودخانه‌های متعدد که از دامنه کوه‌های بزقوش و سبلان سرچشمه می‌گیرند تشکیل شده است و در ادامه مسیر خود از محدوده کناری دشت اردبیل می‌گذرد و در نهایت به ارس می‌ریزد. بر روی رودخانه مذکور در سال ۱۳۸۴ سد ذخیره‌ای یامچی احداث شده است که ضمن تامین نیاز شرب شهر اردبیل و تامین حقابه دریاچه شورابیل، برای آبیاری شبکه آبیاری یامچی هم استفاده می‌شود. در مخروط افکنه رودخانه بالخلوچای، روستاهای پر جمعیت و آبادی استقرار یافته‌اند. در محدوده پایین‌دست سد، روستای الماس قرار گرفته است که پس از عبور از روستاهای قاسم‌قشلاقی و شام اسبی، وارد شهر اردبیل می‌شود و سپس با گذر از محدوده روستای آق‌بلاغ از گیلانده می‌گذرد و در نهایت وارد رودخانه قره‌سو می‌شود. رودخانه مذکور در حین عبور از محدوده شهری اردبیل، دست‌خوش تغییرات متعدد ناشی از فعالیت‌های انسانی و ساماندهی رودخانه شده است. در مسیر عبور رودخانه، اراضی دارای کاربری‌های کشاورزی، باغ، و مناطق مسکونی هستند و در برخی بازه‌ها هم اراضی طبیعی اطراف رودخانه را فرا گرفته‌اند (مصطفی‌زاده و همکاران، ۱۴۰۳: ۶۸). مساحت بالادست دو ایستگاه هیدرومتری پل الماس و گیلانده به‌ترتیب ۱۰۷۰ و ۱۶۳۸ کیلومترمربع می‌باشد و مقادیر دبی متوسط رودخانه بالخلوچای در محل ایستگاه‌های هیدرومتری پل الماس و گیلانده به‌ترتیب برابر ۳/۰۴ و ۲/۴۰ مترمکعب در ثانیه است.

روش پژوهش

داده‌های مورد استفاده

در این پژوهش عوامل توپوگرافی (شیب، جهت، ارتفاع) با استفاده از سامانه اطلاعات جغرافیایی و با استفاده از مدل رقومی ارتفاع محاسبه شدند. مدل رقومی ارتفاع بر اساس نقشه توپوگرافی ۱:۲۵۰۰۰ منطقه مورد مطالعه و با قدرت تفکیک ۲۰ متری تهیه شد. در ادامه با استفاده از نقشه ۱:۱۰۰۰۰۰ سازمان زمین‌شناسی کشور، نوع سازندها مشخص شد و حساسیت آنها به فرسایش مشخص شدند (فیض‌نیا و زارع خوش اقبال، ۲۰۰۴). برای تعیین نوع استفاده از اراضی از عکس‌های هوایی، تصاویر ماهواره‌ای مربوط به سنجنده TM ماهواره لندست و تصاویر گوگل ارث مربوط به سال‌های ۱۹۵۵، ۱۹۸۸ ، ۲۰۱۰ و ۲۰۱۳ استفاده شده است (شکل ۱ تا ۴). برای انجام پژوهش حاضر، در عملیات میدانی از ۲۱ نقطه از بازه مورد مطالعه رودخانه با فواصل تقریبی ۱/۵ کیلومتری در نظر گرفته شد با استفاده از دوربین نقشه‌برداری تئودولیت پروفیل برداری شدند و در محاسبات مورد استفاده قرار گرفتند. در ادامه، با استفاده از تصاویر فوق سطح موثر فرسایش رودخانه‌ای (دشت سیلابی)، مجموع طول آبراهه، تراکم زهکشی، نسبت پوشش کناره و درصد هریک از پوشش‌های اراضی

مربوطه در هر بازه محاسبه شدند. هم‌چنین، مشخصات فیزیوگرافی محدوده بالادست حوضه‌های مورد مطالعه شامل (شامل مساحت، محیط، زمان تمرکز[1]، قطر دایره هم‌سطح، ضریب گراولیوس[2]، ارتفاع متوسط، شیب متوسط در جدول ۲ ارائه شده است. علاوه بر این، با استفاده از آمار دبی دو ایستگاه هیدرومتری مربوطه دبی‌های سیلابی تعیین شدند. قابل ذکر است که برای روابط تجربی نیاز به دبی نرمال با دوره بازگشت ۱/۵۸ ساله و موثر در فرسایش کنار رودخانه‌ای بوده است که از داده‌های دبی طولانی‌مدت ایستگاه پل الماس و گیلانده (در بازه زمانی ۱۳۴۸ تا ۱۳۹۲) استفاده شد. علاوه براین، مقادیر دبی متوسط و دبی سیلابی (با دوره بازگشت ۲۵ ساله) نیز در روابط رگرسیونی مورد نیاز بود که از داده‌های موجود در ایستگاه‌های هیدرومتری پل الماس و گیلانده در دوره آماری مذکور استفاده شده است.

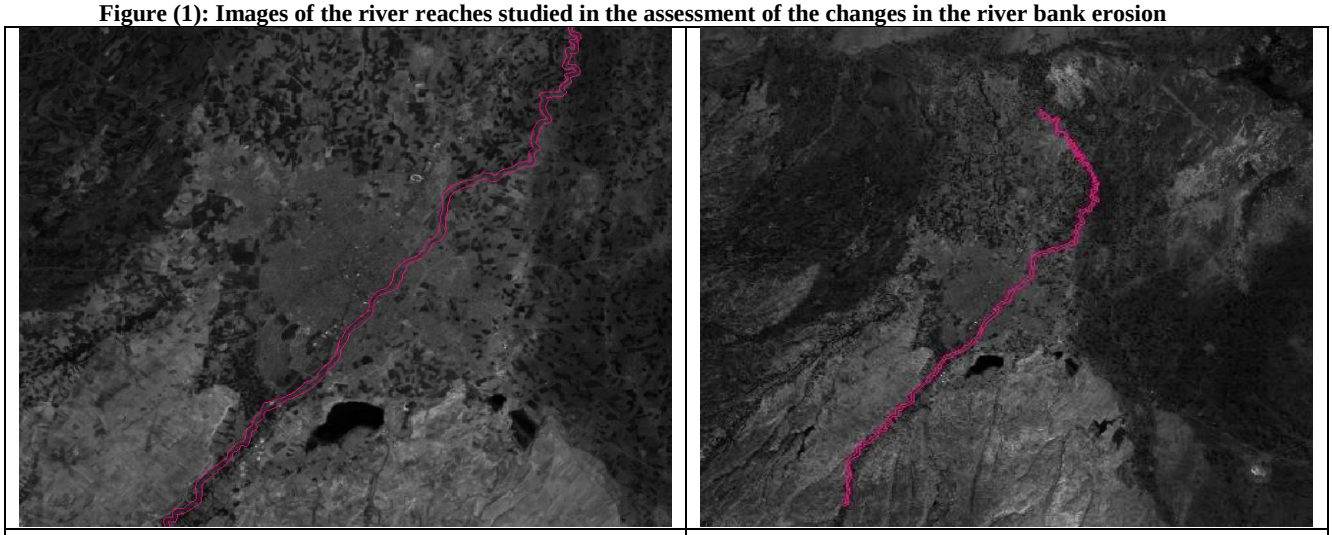


الف) بازه مطالعاتی در سال ۱۹۵۵ (عکس هوایی محدوده آق‌بلاغ آقاجان‌خان تا شام اسبی)

ب) بازه مطالعاتی در سال ۱۹۵۵ (عکس هوایی سلطان آباد الی شهرک توحید)

شکل (۱): تصاویری از بازه‌های رودخانه مورد مطالعه در ارزیابی تغییرات فرسایش کناری رودخانه

Figure (1): Images of the river reaches studied in the assessment of the changes in the river bank erosion



الف) بازه مطالعاتی در سال ۱۹۸۰ (تصاویر ماهواره‌ای پل الماس تا گیلانده)

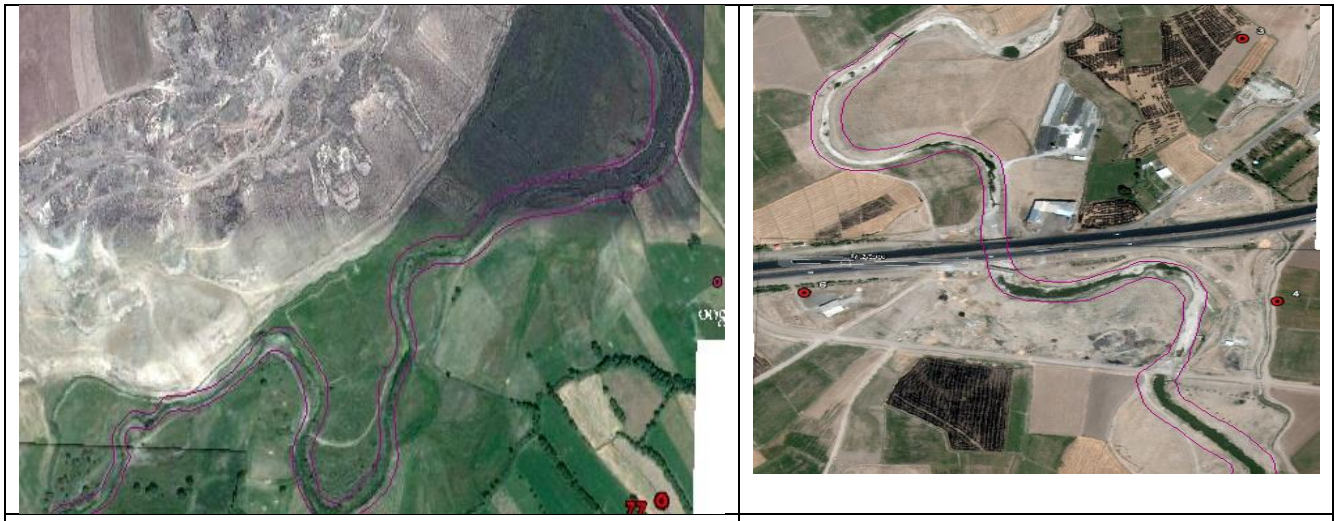
ب) بازه مطالعاتی در سال ۱۹۸۰ (تصاویر ماهواره‌ای سلطان آباد تا شام اسبی)

شکل (۲): تصاویری از بازه‌های رودخانه مورد مطالعه در ارزیابی تغییرات فرسایش کناری رودخانه

Figure (1): Images of the river reaches studied in the assessment of the changes in the river bank erosion

1- Time of concentration

2 -Compactness Coefficient



الف) بازه مطالعاتی در سال ۲۰۱۰ (تصاویر ماهواره‌ای گیلانده تا سلطان آباد) | ب) بازه مطالعاتی در سال ۲۰۱۰ (تصاویر ماهواره‌ای شام اسبی)

شکل (۳): تصاویری از بازه‌های رودخانه مورد مطالعه در ارزیابی تغییرات فرسایش کناری رودخانه

Figure (1): Images of the river reaches studied in the assessment of the changes in the river bank erosion



الف) بازه مطالعاتی در سال ۲۰۱۳ (تصاویر گوگل ارث بالادست شهر اردبیل) | ب) بازه مطالعاتی در سال ۲۰۱۳ (تصاویر گوگل ارث محدوده شهر اردبیل)

شکل (۴): تصاویری از بازه‌های رودخانه مورد مطالعه در ارزیابی تغییرات فرسایش کناری رودخانه

Figure (1): Images of the river reaches studied in the assessment of the changes in the river bank erosion

محاسبه فرسایش کنار رودخانه‌ای با روابط تجربی

در این پژوهش، با روابط تجربی برآورد فرسایش کنار رودخانه‌ای در سال‌های مختلف و نیز در بازه‌های مطالعاتی با روش‌های مندرج در جدول ۱ محاسبه شدند. قابل ذکر است در مرحله اول پژوهش، ارزیابی کارائی و مقایسه نتایج روابط تجربی موجود در برآورد فرسایش کناری رودخانه، بر اساس داده‌ها و شرایط منطقه مورد مطالعه مدنظر بوده است.

جدول (۱): روابط تجربی مورد استفاده در برآورد فرسایش کنار رودخانه‌ای در بازه‌های مورد مطالعه

Table (1): Empirical equations used in the estimation of river bank erosion in the studied reaches

ردیف	رابطه	توضیحات	منبع
(۱)	$BE_X = 0.016(Q_{1.58})^{0.6}$	BEx، میزان فرسایش کناری به متر در سال، $Q_{1.58}$ دبی سیلاب (متر مکعب بر ثانیه) با دوره بازگشت ۱/۵۸سال با فرض جریان مقطع پر	(اسمعلی و عبداللهی، ۲۰۱۰)
(۲)	$BE_X = 0.008(1 - PR_X)(Q_{1.58})^{0.6}$	BEx، میزان فرسایش کناری به متر در سال، PRx، نسبت کناره با پوشش گیاهی طبیعی دست نخورده	(هوگز و پروسر، ۲۰۰۳)
(۳)	$BC_X = 18(1 - PR_X)(Q_{1.58})^{0.6}L_X$	BCx فرسایش کناری در هر انشعاب رود بر حسب تن در سال، Lx، طول رودخانه (متر)، ارتفاع متوسط کناره ۳ متر و وزن مخصوص رسوب ۱/۵ (تن بر متر مکعب)	(اسمعلی و عبداللهی، ۲۰۱۰)
(۴)	$BE_X = 0.00002\rho g Q_X S_X(1 - PR_X)(1 - e^{-0.008fx})$	Qx متوسط جریان سالانه به میلیون لیتر در سال، fx عرض دشت سیلابی (متر)، ρ وزن مخصوص آب، g شتاب ثقل، Sx شیب	(اسمعلی و عبداللهی، ۲۰۱۰)

تحلیل رگرسیونی مقادیر فرسایش کنار رودخانه‌ای

در ادامه، متغیرهای مستقل (در ۴ دسته کلی شامل عوامل توپوگرافی، هیدرولوژی ، فرسایش‌پذیری خاک و عوامل زمینی) و متغیر وابسته (مساحت تحت تأثیر فرسایش کناری) برای برآورد فرسایش کناری رودخانه با استفاده از نقشه‌های مکانی محاسبه شدند. در بخش عوامل توپوگرافی، متغیرهای شیب زمین، و عامل طول به‌منظور ارزیابی خطر فرسایش کناری انتخاب شدند. در بخش عوامل مربوط به خاک و زمین،مواردی مانند نوع خاک، وضعیت زمین‌شناسی، ژئومرفولوژی و استفاده از اراضی انتخاب شدند. در تجزیه و تحلیل آماری از آزمون رگرسیون چندمتغیره و روش گام به گام، برای مدل‌سازی عوامل موثر بر فرسایش کناره‌ای از نرم‌افزار SPSS16 استفاده شد (سعدون[1] و همکاران، ۲۰۲۱: ۱۰۴۹۱۷).

نتایج و بحث

ویژگی‌های فیزیوگرافی بالادست محدوده‌های مورد مطالعه

مشخصات فیزیوگرافی محدوده بالادست حوضه‌های مورد مطالعه شامل مساحت، محیط، زمان تمرکز، قطر دایره هم‌سطح، ضریب گراولیوس، ارتفاع متوسط، شیب متوسط و سایر متغیرهای موثر بر فرسایش کناری رودخانه در جدول ۲ ارائه شده است.

جدول (۲): مشخصات فیزیوگرافی محدوده بالادست حوضه‌های موردمطالعه

Table (2): Physiographic characteristics of the upstream area of the studied river reaches

ویژگی	پل الماس	گیلانده
مساحت (کیلومترمربع)	۱۰۱۲/۰۶	۱۵۴/۳۳
قطر دایره هم‌سطح (کیلومتر)	۳۵/۹۱	۱۴/۰۲
تراکم زهکشی (کیلومتردر کیلومترمربع)	۳/۴۹	۳/۱۶
زمان تمرکز (ساعت)	۱۷/۴۴	۱۱/۲۹
ضریب گراولیوس	۱/۳۸	۱/۵
طول آبراهه اصلی (کیلومتر)	۵۷/۷۷	۲۶/۸۶
ضریب فشردگی (عکس ضریب هورتون)	۱/۳۹	۱/۵۱
شیب خالص (٪)	۰/۹	۰/۴۴
دبی اوج	۱۰۱/۵۶	۲۷/۲۳
محیط (کیلومتر)	۱۵۶/۳۳	۶۶/۴۸

ویژگی‌های زمین‌شناسی و مقاومت به فرسایش منطقه مورد مطالعه

بر اساس اطلاعات نقشه‌های زمین شناسی، حوضه آبریز بالخلوچای دارای انواع رخساره های سنگی و رسوبی متعلق به دوران سنوزوئیک است که تحت تأثیر رخدادها و فرآیندهای زمین ساختی به وقوع پیوسته و در گستره حوضه پراکنده‌اند (جدول ۳).

جدول (۳): ویژگی‌ها و مقاومت سازندها و سنگ‌ها به فرسایش در منطقه مورد مطالعه

Table (3): Characteristics and resistance of geological formations and rocks to erosion in the study area

بازه	علامت	خصوصیات سنگ‌شناسی	ضریب مقاومت به فرسایش
۱	Ng ml 2	توف، مارن و آهک آب شیرین	۱
۲	Ng t 2	تناوب توف،لاپیلی توف، توف برش، پومیس، لاهار و آهک آب شیرین	۱
۳	Ng c 2	کنگلومرا همراه با لایه‌هایی از ماسه سنگ مارن و آهک آب شیرین	۴
۴	Qt2	رسوبات دشت، پادگانه‌های آبرفتی جوان و مخروط افکنه‌ها	۷

1 -Saadon

ویژگی‌های خاک و تیپ اراضی بازه‌های مورد مطالعه

خصوصیات خاک‌های مربوط به بازه‌های منطقه مورد مطالعه بر اساس روش فائو در جدول ۴ ارائه شده است.

جدول (۴): مشخصات واحد اراضی، شیب، مشخصات خاک‌های بازه‌های مورد مطالعه و تقسیم بندی آن‌ها به روش فائو

Table (4): Characteristics of the land units, slope, soil characteristics of the study areas according to the FAO method

تیپ اراضی	مشخصات واحد اراضی	شیب (٪)	مشخصات خاک‌ها و تقسیم بندی آن‌ها به روش فائو	پوشش گیاهی	محدودیت‌های اساسی اراضی	قابلیت استفاده
کوهها	تپه‌های مرتفع سنگی با قلل تیز و فرسایش بسیار زیاد	۲۵ تا ۵۵	خاک خیلی کم‌عمق تا کم‌عمق غیریکنواخت/برون‌زدگی سنگی	بدون پوشش گیاهی/اراضی بایر	شیب بسیار تند/فرسایش بسیار زیاد/محدودیت عمق خاک	اراضی بایر/تناسب بسیار کم برای چراگاه
فلات‌ها و تراس‌های فوقانی	فلاتها و تراس‌های مرتفع و سطوح فرسایش یافته قدیمی	۱ تا ۸	خاک کم‌عمق تا نیمه‌عمیق با بافت متوسط تا سنگین	پوشش کم تا متوسط گیاهان مرتعی/دیم	پستی و بلندی/ فرسایش/سنگریزه	نسبتاً مناسب برای چراگاه/تناسب کم تا متوسط برای دیم
دشت‌های رسوبی	دشت‌های رسوبی مسطح با شیب بسیار ملایم	کمتر از ۰/۵	خاک نسبتاً عمیق با بافت متوسط و مطبق سنگین	کشت آبی/باغات میوه	سنگریزه در طبقات زیرین	مناسب برای زراعت آبی و باغات
دشت‌های سیلابی	دشت‌های سیلابی نسبتاً مسطح با شوری زیاد	کمتر از ۱	خاک عمیق با بافت سنگین و شوری زیاد/سطح ایستابی بالا	گیاهان مقاوم به شوری با پراکندگی زیاد/اراضی بایر	شوری بسیار زیاد/سیلگیری/زهکشی نامناسب	اراضی بایر/تناسب کم برای چراگاه
دشت‌های رسوبی	دشت‌های رسوبی مسطح/شیب بسیار ملایم	کمتر از ۰/۵	خاک نسبتاً عمیق با بافت متوسط و مطبق سنگین	کشت آبی/باغات میوه	سنگریزه در طبقات زیرین	مناسب برای زراعت آبی و باغات

نتایج برآورد فرسایش کنار رودخانه‌ای با استفاده از روابط تجربی

به‌منظور برآورد میزان فرسایش کناری، ابتدا محاسبه دبی سیلابی انجام شد و جهت برآورد دبی نرمال با دوره بازگشت ۱/۵۸ ساله، از داده‌های دبی طولانی‌مدت ایستگاه پل الماس و گیلانده (در بازه زمانی ۱۳۴۸ تا ۱۳۹۲) استفاده شد و برابر ۲/۸۹ محاسبه شد. نتایج برآورد مقادیر فرسایش کنار رودخانه‌ای بر اساس روابط تجربی ارائه شده نشان داد که مقادیر برآوردی دارای بیش‌برآوردی و یا کم‌برآوردی هستند و نتایج مناسبی ارائه نمی‌دهند. در این خصوص می‌توان گفت که روابط ارائه شده برای مناطقی متفاوت ارائه شده اند که شرایط و خواستگاه توسعه مدل‌ها با منطقه مورد مطالعه متفاوت است. در مجموع می‌توان گفت که با توجه به تفاوت در رژیم رودخانه، خصوصیات فیزیوگرافی و سازند در مناطق مختلف، برآورد فرسایش باید در هر بازه از رودخانه به‌صورت مستقل ارائه شود.

نتایج تحلیل رگرسیونی مقادیر فرسایش کنار رودخانه‌ای

نتایج متغیرهای وارد شده به مدل‌های رگرسیونی برآورد فرسایش کنار رودخانه‌ای در جدول ۵ ارائه شده است.

جدول (۵): نتایج پارامترهای مختلف بازه‌های مورد مطالعه در برآورد فرسایش کنار رودخانه‌ای

Table (5): The results of different parameters of the study river reaches in the estimation of river bank erosion

ویژگی	متغیر / بازه	۱	۲	۳	۴	۵	۶
فیزیوگرافی	سطح موثر رودخانه (هکتار)	۵/۹۳	۲۱/۶۰	۱۹/۴۲	۵/۳۱	۹/۶۹	۷/۰۸
	مساحت زیرحوضه (کیلومترمربع)	۱۶/۹۷	۴۴/۹۴	۶۷/۶۲	۱۰/۵۳	۹/۹۸	۴/۴۵
	محیط زیرحوضه (کیلومتر)	۲۴/۵۷	۳۹/۴۲	۴۲/۵۶	۳۰/۶۰	۱۹/۶۴	۱۴/۵۵
	مساحت بالادست (کیلومترمربع)	۱۰۲۹/۰۲	۱۰۳۷/۹۵	۱۰۷۹/۶۷	۱۰۹۰/۲۰	۱۰۲۲/۰۳	۱۰۲۶/۴۸
	قطر دایره هم‌سطح (کیلومتر)	۴/۶۵	۷/۵۷	۹/۲۸	۳/۶۶	۳/۵۷	۲/۳۸
	محیط بازه (کیلومتر)	۵/۹۹	۱۹/۲۷	۱۶/۰۶	۳/۷۱	۹/۹۲	۶/۷۲

	طول بازه بالادست (کیلومتر)	۵۹/۶۲	۶۸/۷	۷۶/۵۳	۷۸/۳۴	۸۲/۴۰	۸۴/۸۲
	عرض متوسط بازه (متر)	۸/۱۷	۲۲/۹۱	۱۷/۸۳	۲۰/۸۵	۱۶/۸	۱۵/۶۹
	ضریب گراولیوس (-)	۱/۶۷	۱/۶۵	۱/۴۵	۲/۶۴	۱/۷۴	۱/۹۳
	شیب (٪)	۰/۷۱	۰/۳۲	۰/۴۱	۰/۰۶	۰/۳۳	۰/۱۰
	شیب بالادست (٪)	۰/۸۹	۰/۸۲	۰/۷۸	۰/۷۶	۰/۷۴	۰/۷۲
	سطح مقطع متوسط (مترمربع)	۲۴/۳۶	۱۸/۰۵	۲۳/۹۷	۱۶/۱۳	۳۷/۲۶	۲۰/۲۵
	ضریب پیچان‌رود (-)	۱/۲	۱/۱۷	۱/۰۹	۱/۱۳	۱/۲۸	۱/۲۹
هیدرولوژی	سطح موثر رودخانه (هکتار)	۵/۹۳	۲۱/۶۰	۱۹/۴۲	۵/۳۱	۹/۶۹	۷/۰۸
	زمان تمرکز (ساعت)	۱۸/۰۰	۲۱/۰۲	۲۳/۶۵	۲۴/۲۹	۲۵/۸۶	۲۶/۷۴
	دبی اوج (مترمکعب در ثانیه)	۱۰۲/۷۵	۱۰۵/۸۷	۱۰۶/۲۷	۱۰۶/۹۹	۱۰۲/۲۶	۱۰۲/۵۷
	متوسط دبی (مترمکعب در ثانیه)	۳/۴۲	۳/۴۷	۳/۵۰	۳/۵۱	۳/۵۲	۳/۵۴
	دبی سیلابی با دوره بازگشت ۲۵ ساله (مترمکعب در ثانیه)	۱۹/۱۰	۲۱/۳۰	۲۳/۱۹	۲۳/۶۳	۲۴/۶۱	۲۵/۲۰
	وزن مخصوص آب (گرم در سانتی‌متر مکعب)	۱/۰۰۱	۱/۰۰۳	۱/۰۰۲	۱/۰۰۳	۱/۰۰۴	۱/۰۰۲
زمین‌محیطی	سطح موثر رودخانه (هکتار)	۵/۹۳	۲۱/۶۰	۱۹/۴۲	۵/۳۱	۹/۶۹	۷/۰۸
	ضریب فرسایش‌پذیری سازند (-)	۳/۲۵	۶	۷	۷	۷	۷
	کشت آبی (٪)	۰	۳۰	۵	۱	۷۳	۱
	مرتع (٪)	۱	۳۶	۰	۰	۰	۰
	مسکونی (٪)	۰	۳۴	۹۵	۰	۲۷	۰
	نسبت پوشش کناره (کیلومتر)	۱	۰/۷۴	۰/۵۳	۰/۷۰	۰/۶۳	۰/۷۸

نتایج مدل‌سازی برآورد فرسایش کنار رودخانه‌ای به همراه ویژگی‌های آماری مدل‌های استفاده شده در جدول ۶ ارائه شده است.

جدول (۶): نتایج مدل‌سازی رگرسیونی فرسایش کنار رودخانه‌ای بر اساس متغیرهای هیدرولوژی در بازه‌های مورد مطالعه

Table (6): Results of river bank erosion regression modeling based on hydrological variables in the studied intervals .

پارامترها/روش	ضریب تعیین	ضریب تعیین اصلاح‌شده	خطای استاندارد برآورد	ضرایب	B	خطای استاندارد	ضریب بتا	آماره t	سطح معنی‌داری
فیزیوگرافی/گام‌به‌گام	۰/۹۹۶	۰/۹۹۳	۰/۵۸۳	ضریب ثابت	-۳۵/۷۵	۹/۲۶	-	-۳/۸۵	۰/۰۳۱
				Pr	۱/۰۹۸	۰/۰۴۵	۰/۹۴۱	۲۴/۴۶	۰/۰۰۰
				Au	۰/۰۳۴	۰/۰۰۹	۰/۱۴۷	۳/۸۲	۰/۰۳۱
هیدرولوژی/اینتر	۰/۷۷۱	۰/۴۲۸	۰/۱۹۹	ضریب ثابت	۳۸/۴۱	۲۸/۷۳	-	۱/۳۳۷	۰/۳۱۳
				Q	-۷۳/۸۶	۳۰/۵۳	-۱/۵۳	-۲/۴۱	۰/۱۳۷
				Qp	-۱/۸۹	۱۰/۰۱	-۰/۰۷۱	-۰/۱۸۹	۰/۸۶۷
				Tc	۴/۸۸	۲/۶۱	۱/۱۷	۱/۸۷۱	۰/۲۰۲
زمینی/گام‌به‌گام	۰/۹۹۳	۰/۹۸۸	۰/۷۷۳	ضریب ثابت	۵/۹۸	۰/۴۷۱	-	۱۴/۳۶	۰/۰۰۱
				Rt	۰/۱۴۱	۰/۰۰۹	۰/۷۲۹	۱۵/۰۴	۰/۰۰۱
				Ra	۰/۳۰	۰/۰۲۴	۰/۶۱۲	۱۲/۶۳	۰/۰۰۱
همه متغیرها/گام‌به‌گام	۰/۹۹۶	۰/۹۹۳	۰/۵۸۲	ضریب ثابت	-۵۱/۱۷	۱۳/۲۶	-	-۳/۸۵	۰/۰۳۱
				Pr	۱/۰۹	۰/۰۴۵	۰/۹۴۰	۲۴/۴۹	۰/۰۰۰
				Qp	۰/۴۹۲	۰/۱۲۸	۰/۱۴۷	۳/۸۳	۰/۰۳۱

علائم اختصاری مورد استفاده به‌صورت زیر هستند، Re، فرسایش کنار رودخانه‌ای، Ra، مساحت محدوده مرتع، Ag، مساحت محدوده کشت آبی، Pr، محیط بازه، Qp، دبی اوج، Au، مساحت بالادست، Q، دبی، Tc، زمان تمرکز، Rt، مساحت محدوده مسکونی، Dd، تراکم زهکشی.

روابط برتر رگرسیونی برآورد فرسایش کنار رودخانه‌ای

بدین ترتیب پس از کسب نتایج حاصل از تجزیه و تحلیل رگرسیونی، بر اساس مقادیر ثابت و ضرایب هر یک از پارامترهای مؤثر در فرسایش کنار رودخانه‌ای، مدل رگرسیونی برتر بر اساس رویکردهای مختلف و ترکیب پارامترها در جدول ۷ ارائه شده است.

جدول (۷): روابط رگرسیونی برآورد فرسایش کنار رودخانه‌ای در منطقه مورد مطالعه

Table (7): Regression modelis in river bank erosion estimation in the study area

دسته متغیر مورد استفاده	ضریب تعیین اصلاح‌شده	رابطه
فیزیوگرافی	۰/۹۹۳	$Re = 1.09\ Pr + 0.034\ Au - 35.75$
زمینی	۰/۹۸۸	$Re = 0.141\ Rt + 0.31\ Ra + 5.98$
همه متغیرها	۰/۹۹۳	$Re = 1.09\ Pr + 0.492\ Qp - 51.17$

بر اساس تحلیل روابط رگرسیونی، می‌توان گفت که مهم‌ترین عوامل مؤثر در رخداد فرسایش کنار رودخانه‌ای در بازه‌های مورد مطالعه در این پژوهش را می‌توان به‌صورت زیر اولویت‌بندی نمود. در دسته عوامل فیزیوگرافی، عامل محیط بازه و نیز مساحت محدوده بالادست با ضرایب به‌ترتیب ۱/۰۹۸ و ۰/۰۳۴ جزء عوامل مهم معرفی شده اند و مقدار ضریب تبیین معادله رگرسیونی برابر ۰/۹۹۳ به‌دست آمده است. قابل ذکر است که در رویکرد به‌کارگیری متغیرهای هیدرولوژی، هیچ‌کدام از متغیرها رابطه معنی‌داری با مقادیر فرسایش کنار رودخانه‌ای ارائه ندادند، در این خصوص سطح معنی‌داری مدل استخراج شده برابر ۰/۳۱۳ بود که از نظر اماری معنی‌دار نبود. در دسته عوامل زمینی، متغیر مساحت محدوده مسکونی و مساحت محدوده مرتعی با ضرایب مدل برابر ۰/۱۴۱ و ۰/۳۰ به‌عنوان متغیرهای مهم مدل رگرسیونی ارائه شده معرفی شده است و ضریب تبیین معادله ارائه شده برابر ۰/۹۸۸ حاصل شد. در مجموع می‌توان گفت که با در نظر گرفتن همه متغیرها در مدل‌سازی، دو عامل محیط بازه و دبی اوج (به‌ترتیب با ضرایب مدل ۱/۰۹ و ۰/۴۹۲)، بیش‌ترین تاثیر را بر مقدار فرسایش کنار رودخانه‌ای داشته‌اند و مقدار ضریب تبیین مدل ارائه شده معادل ۰/۹۹۳ به‌دست آمده است. استفاده از روابط مذکور، امکان برآورد فرسایش کنار رودخانه‌ای در منطقه مورد مطالعه را بر اساس داده‌های موجود فراهم نموده است.

تغییرات متغیرهای موثر بر فرسایش کناری رودخانه در سال‌های مورد مطالعه

مقادیر تغییرات در ویژگی‌های منطقه موردمطالعه موثر بر فرسایش کنار رودخانه‌ای در طی بازه زمانی موردمطالعه (۵۸ سال) در جدول ۸ ارائه شده است.

جدول (۸): نتایج تغییرات متغیرهای مربوط به سری زمانی سال‌های مطالعاتی در فرسایش کنار رودخانه‌ای

Table (8): The results of the changes of the time series variables of the study years in river bank erosion in the study area

سال	۱۳۳۴	۱۳۵۹	۱۳۸۹	۱۳۹۲
سطح موثر فرسایش رودخانه‌ای (هکتار)	۷۲/۸۲	۸۳/۸۲	۱۰۴/۸۲	۱۰۷/۴۸
تراکم زهکشی (کیلومتر در کیلومتر مربع)	۳/۱۵	۳/۱۵۷	۳/۱۶۴	۳/۱۶۵
متوسط دبی (مترمکعب در ثانیه)	۴/۵	۴/۵۷	۳/۲۳	۰/۵۳
نسبت پوشش کناره (کیلومتر)	۰/۸۹	۰/۷۹	۰/۶۶	۰/۵۸
کشت آبی (٪)	۶۵	۶۲	۵۵	۵۱
اراضی مرتعی (٪)	۱۵	۱۷	۲۱	۲۲
اراضی مسکونی (٪)	۱۹	۲۱	۲۳	۲۷

سطح موثر فرسایش کنار رودخانه‌ای متفاوت از دشت سیلابی است و سطح حساس به وقوع فرسایش رودخانه‌ای است که در هر بازه بر اساس تصاویر و نیز بازدیدهای میدانی مشخص شده است. بر اساس نتایج، می‌توان گفت که سطح موثر فرسایش کناره‌ای در طول زمان افزایش یافته است که در تولید رسوبات معلق موثر است. در سال‌های مختلف به‌دلیل تغییرات بستر، کناره‌ها و محدوده اطراف رودخانه

تغییر کرده است. دبی متوسط در طی دوره مورد ارزیابی کاهش یافته است، در خصوص روند کاهشی دبی جریان، می‌توان گفت که این کاهش جریان به‌دلیل کاهش آبدهی رودخانه و نیز احداث سد یامچی در بالادست رودخانه مورد مطالعه بوده است. بر اساس نتایج، محدوده اراضی مسکونی واقع در محدوده بازه‌های مطالعاتی و در خارج از محدوده دشت سیلابی در دوره مطالعاتی افزایش یافته است. بر اساس رابطه رگرسیونی استخراج شده، مشخص شد که در رویکرد استفاده از همه متغیرها در مدل‌سازی فرسایش کنار رودخانه‌ای، متغیر دبی سیلابی بیش‌ترین تاثیر را در ایجاد فرسایش کنار رودخانه‌ای دارد. لذا هر چند دبی متوسط جریان در دوره‌های مورد مطالعه کاهش یافته است، اما افزایش سطح موثر فرسایش رودخانه‌ای، می‌تواند زمینه ایجاد فرسایش کنار رودخانه‌ای در اثر وقوع دبی‌های سیلابی را فراهم نماید.

نتیجه‌گیری

در پژوهش تحقیق حاضر محدوده فرسایش رودخانه‌ای از روی عکس‌های هوایی تعیین شد و در ادامه عوامل موثر بر توسعه فرسایش کنار رودخانه‌ای تعیین شدند و در ادامه سعی شد با استفاده از داده‌های مکانی مختلف فیزیوگرافی، هیدرولوژی، زمین‌شناسی و محیطی، فرسایش کنار رودخانه‌ای مدل‌سازی شود. به‌منظور بررسی اثر عوامل مختلف در رخداد فرسایش کنار رودخانه‌ای در بازه‌های مختلف رودخانه بالیخلوچای در استان اردبیل، پس از تعیین متغیرهای مستقل و متغیر وابسته (مساحت تحت تأثیر فرسایش)، رابطه عوامل مؤثر و محدوده فرسایش کنار رودخانه‌ای از طریق رگرسیون چندمتغیره ارزیابی شد. بر اساس نتایج معادلات رگرسیونی، مشخص شد که از میان عوامل فیزیوگرافی، مواردی مانند محیط بازه و مساحت محدوده بالادست مهم‌ترین عوامل مؤثر در رخداد و تشدید فرسایش کنار رودخانه‌ای در بازه‌های مورد مطالعه هستند. قابل ذکر است که از میان متغیرهای مرتبط با هیدرولوژی، متغیر دبی اوج سیلابی در کنار سایر عوامل محیطی نیز در تشدید فرسایش نقش دارند. در همین راستا، محمدزاده و همکاران (۲۰۲۳) در مدل‌سازی فرسایش کناری در رودخانه آمو در افغانستان رابطه خطی میان فرسایش کناری و شدت دبی و توان جریان رودخانه را گزارش نمودند. این در حالی است که، بوتا و همکاران (۲۰۲۴) به تاثیر عواملی مانند ضریب فرسایش در مدل‌سازی هیدرودینامیکی و پیش‌بینی فرسایش کنار رودخانه‌ای در رودخانه سند اشاره نمودند. علاوه بر این، هوانگ (۲۰۲۴) با تلفیق داده‌های هیدرولوژیکی، ژئومورفولوژیکی و ویژگی‌های خاک به مدل‌های مناسبی در پیش‌بینی تغییرات مورفولوژی کانال استفاده نمودند. هم‌چنین مشخص شد که متغیرهای محیط بازه و دبی اوج، بیش‌ترین تاثیر را بر مقدار فرسایش کنار رودخانه‌ای دارند. بررسی وضعیت تغییرات سیمای فرسایش کنار رودخانه‌ای و تغییرات متغیرهای موثر حاکی از افزایش مساحت تحت تاثیر فرسایش کنار رودخانه‌ای در منطقه مورد مطالعه است. این در حالی است که تغییر عواملی مانند سطح موثر فرسایش رودخانه‌ای، تراکم زهکشی، متوسط دبی، پوشش کناره رودخانه و نیز درصد کاربری‌های مختلف اراضی در دوره‌های مختلف متفاوت است. بر اساس نتایج، می‌توان گفت که در بازه‌های مختلف یک رودخانه عوامل مختلفی بر وسعت فرسایش کنار رودخانه‌ای موثر است که ارتباط و تاثیر متفاوتی بر شدت فرسایش کنار رودخانه‌ای می‌گذارند. در راستای رفع محدودیت تحقیق در خصوص استفاده از تصاویر جدیدتر، می‌توان تغییرات فرسایش کناری را در دوره‌های اخیر نیز مطالعه نمود و در تحلیل‌های تکمیلی استفاده نمود. در مجموع، پیشنهاد می‌شود که در راستای کنترل فرسایش کنار رودخانه‌ای، عوامل موثر بر تشدید آن کنترل شود. در این راستا می‌توان به حفظ پوشش گیاهی حاشیه رودخانه اشاره نمود. قابل ذکر است که در اطراف بازه‌های رودخانه مورد مطالعه محدوده‌های اراضی زراعی وجود دارد که در برخی موارد تا نزدیک حریم رودخانه گسترش پیدا کرده‌اند که باعث افزایش امکان فرسایش کنار رودخانه‌ای می‌شود. از دیگر پیشنهادات رعایت حریم بستر رودخانه و دشت سیلابی است که می‌تواند جلوگیری از ساخت وساز و توسعه در اطراف رودخانه باشد که از بروز خسارت‌های ناشی از سیلاب نیز موثر خواهد بود. هم‌چنین پیشنهاد می‌شود که میزان خسارت‌های ناشی از فرسایش کناری در پژوهش‌های آتی برآورد شود.

References

Ahmad, D., Afzal, M., & Ishaq, M. (2024). Impacts of riverbank erosion and flooding on communities along the Indus River, Pakistan. Natural Hazards, 120(1), 131-152.

Asghari Sarskanroon, S., Zeinali, B., & Poornariman, N. (2015). Pattern Analysis and Erodibility of Germi Chai River Route. Hydrogeomorphology, 2(3), 1-20.

Asghari Sereskanrood, S. (2015). Analyzing the effects of gravel and sand mining on the morphology of Grango River (between Sahand Dam to Khorasanak village. Hydrogeomorphology, 1, 21-39 (in Persian.(

Bhuiyan, F., Hey, R. D., & Wormleaton, P. R. (2010). Bank-attached vanes for bank erosion control and restoration of river meanders. Journal of Hydraulic Engineering, 136(9), 583-596

Boota, M. W., Yan, C., Soomro, S. E. H., Zafar, M. A., Li, Z., Xu, J., & Yousaf, A. (2024). Two-dimensional hydrodynamic modeling for prediction of bank erosion and bed incision in the Indus River. Acta Geophysica, 72(3), 2041-2058.

Couper, P. R. (2004). Space and time in river bank erosion research: A review. Area, 36(4), 387-403.

Das, T. K., Haldar, S. K., Gupta, I. D., & Sen, S. (2014). River bank erosion induced human displacement and its consequences. Living Reviews in Landscape Research, 8(3), 1-35.

Esfandiyari Darabad, F., Bakhshandeh, R., Rahimi, M., Haji, K., & Mostafazadeh, R. (2021). Geomorphological classification and analysis of Hamzekhanloo River using the Rosgen classification model. Hydrogeomorphology, 7(25), 59-39. doi: 10.22034/hyd.2021.39301.1527

Esfandyari-darabad, F., Mostafazadeh, R., Abyat, A., & Naseri, A. (2021). Determination of Meander Pattern in Gharehsou River Using Sinuosity Coefficients and Central Angle in Anzab-Samian Bridge reach. Journal of Applied researches in Geographical sciences, 21(61), 119-131.

Esmali, A., Abdollahi, Kh. (2010). Watershed Management and Soil Conservation. University of Mohaghegh Ardabili Press, 574p.

Feyznia, S., and Zare Khosheghbal, M. (2004). Sensitivity of rocks and formations to erosion and sediment yield in Latian drainage basin Area. Natural Resources of Iran, 365-381.

Ghosh, D., & Saha, S. (2024). Identifying river bank erosion potential zones through geo-spatial and binary logistic regression modeling approach: a case study of river Ganga in Malda district (India). Modeling Earth Systems and Environment, 10(1), 81-98.

Hasanuzzaman, M., Bera, B., Islam, A., & Shit, P. K. (2023). Estimation and prediction of riverbank erosion and accretion rate using DSAS, BEHI, and REBVI models: evidence from the lower Ganga River in India. Natural Hazards, 118(2), 1163-1190.

Henshaw, A. J., Thorne, C. R., & Clifford, N. J. (2013). Identifying causes and controls of river bank erosion in a British upland catchment. Catena, 100, 107-119.

Hosein Zadeh, M. M., Sadogh, S. H., Matesh Beyranvand, S., & Esmaili, R. (2019). Predict the rate of bank erosion in Lavij river during a particular flow by using BSTEM. Geographical Planning of Space, 9(33), 265-278.

Huang, P. C. (2024). Estimation of riverbank erosion by combining channel morphological models with AI techniques. Geomatics, Natural Hazards and Risk, 15(1), 2359983.

Hughes, A. O., & Prosser, I. P. (2003). Gully and riverbank erosion mapping for the Murray-Darling Basin (p. 97). Canberra: CSIRO Land and Water.

Julian, J. P., & Torres, R. (2006). Hydraulic erosion of cohesive riverbanks. Geomorphology, 76(1-2), 193-206.

Kim, T. T., Ngoc, P., Nga, T. N. Q., Nguyet, N. T. T., Truong, H. N., Diem, P. T. M., ... & Bay, N. T. (2023). Modifying BEHI (Bank Erosion Hazard Index) to map and assess the levels of potential riverbank erosion of highly human impacted rivers: a case study for Vietnamese Mekong River system. Environmental Earth Sciences, 82(23), 554.

Koutalakis, P., Gkiatas, G., Xinogalos, M., Iakovoglou, V., Kasapidis, I., Pagonis, G., ... & Zaimes, G. N. (2024). Estimating Stream Bank and Bed Erosion and Deposition with Innovative and Traditional Methods. Land, 13(2), 232.

Kummu, M., Lu, X., Rasphone, A., Sarkkula, J., & Koponen, J. (2008). Riverbank changes along the Mekong River: Remote sensing detection in the Vientiane–Nong Khai area. Quaternary International, 186(1), 100-112 .

Lefrançois, J., Grimaldi, C., Gascuel-Odoux, C., & Gilliet, N. (2007). Suspended sediment and discharge relationships to identify bank degradation as a main sediment source on small agricultural catchments. Hydrological Processes: An International Journal, 21(21), 2923-2933.

Mahmoodzada, A. B., Varade, D., Shimada, S., Okazawa, H., Aryan, S., Gulab, G., ... & Elansary, H. O. (2023). Quantification of Amu River Riverbank Erosion in Balkh Province of Afghanistan during 2004–2020. Land, 12(10), 1890.

Mallick, R. H., Bandyopadhyay, J., & Halder, B. (2023). Impact assessment of river bank erosion in the lower part of Mahanadi River using geospatial sciences. Sustainable Horizons, 8, 100075.

Mostafazadeh, R., Esfandiary, F., Hamzeei, M., & Alaei, N. (2024). Temporal variations landscape metrics of vegetation riparian areas in Gharesou River, Ardabil Province. Journal of Applied researches in Geographical Sciences, 24(72), 65-79.

Mostafazadeh, R., Esfandyari Darabad, F., Naseri, A., Abyat, A., & Adhami, M. (2023). Determining the fractal pattern in a reach of Qharesou river, Ardabil province, Northwest of Iran. Hydrogeomorphology, 10(37), 97-81. doi: 10.22034/hyd.2023.57428.1700

Mozaffari, H., Asghari Saraskanrood, S., & Esfandiyari Darabad, F. (2022). Modeling erosion and sedimentation changes of Sojasrood River before and after construction of Glaber Dam by GCD method. Quantitative Geomorphological Research, 11(3), 57-87.

Nath, B., Naznin, S. N., & Alak, P. (2013). Trends analysis of river bank erosion at Chandpur, Bangladesh: a remote sensing and GIS approach. International Journal of Geomatics and Geosciences, 3(3), 454-463.

Parchami, N., Mostafazadeh, R., Esmali Ouri, A., & Imani, R. (2023). Spatial variations of hydrological drought in different time scales in rivers of Ardabil province. Hydrogeomorphology, 9(33), 36-21. doi: 10.22034/hyd.2022.51550.1637

Rezaei Moghadam, M., Mohammadfar, A., & Valizadeh Kamran, K. (2013). Changes Detection and identification of erosion risk areas of Aji Chay River between Khaje to Vanyar. Geography and Environmental Planning, 23(4), 1-14.

Rowland, J. C., Schwenk, J. P., Shelef, E., Muss, J., Ahrens, D., Stauffer, S., ... & Vulis, L. (2023). Scale-dependent influence of permafrost on riverbank erosion rates. Journal of Geophysical Research: Earth Surface, 128(7), e2023JF007101.

Saadon, A., Abdullah, J., Muhammad, N. S., Ariffin, J., & Julien, P. Y. (2021). Predictive models for the estimation of riverbank erosion rates. Catena, 196, 104917.

Sharafi, S., Kamangir, H., King, S. A., & Safaierad, R. (2021). Effects of extreme floods on fluvial changes: the Khorramabad River as case study (western Iran). Arabian Journal of Geosciences, 14(12), 1140.

Sharma, N., Amoako Johnson, F., W Hutton, C., & Clark, M. (2010). Hazard, vulnerability and risk on the Brahmaputra basin: a case study of river bank erosion. The Open Hydrology Journal, 4(1): 211-226.

Spiekermann, R., Betts, H., Dymond, J., & Basher, L. (2017). Volumetric measurement of river bank erosion from sequential historical aerial photography. Geomorphology, 296, 193-208.

Wang, Z., Tian, S., Yi, Y., & Yu, G. (2007). Principles of river training and management. International Journal of sediment research, 22(4), 247.

Yamani, M., & Sharafi, S. (2012). Geomorphology and effective factors on lateral erosion in Hor Rood River, Lorestan province. Geography and Environmental Planning, 23(1), 15-32.

Hydrogeomorphology Vol. 11, No. 40, 2024

Research Paper

Spatial assessment and zoning of landslide risk in Zamkan watershed using support vector machine and logistic regression

Fariba Esfandyari Darabad[1], Ghobad Rostami[2], Raoof Mostafazadeh[3*], Mousa Abedini[4]

1. Professor, Department of Physical Geography, Faculty of Social Sciences, University of Mohaghegh Ardabili, Ardabil, Iran. esfandyari@uma.ac.ir
2. Ph.D student, Department of Physical Geography, Faculty of Social Sciences, University of Mohaghegh Ardabili, Ardabil, Iran. ghobadrostami@gmail.com
3. Associate Professor, Department of Natural Resources, Faculty of Agriculture and natural Resources, and Member of Water Management Research Center, University of Mohaghegh Ardabili, Ardabil, Iran. raoofmostafazadeh@uma.ac.ir
4. Professor, Department of Physical Geography, Faculty of Social Sciences, University of Mohaghegh Ardabili, Ardabil, Iran. abedini@uma.ac.ir

Keywords

Landslide, Logistic regression, Support Vector Machine (SVM), Zamkan watershed,Kermanshah province.

Received: 2024/05/01
Accepted: 2024/06/19
Published: 2024/10/21

ABSTRACT

In the current study, the risk of landslides in the Zamkan Watershed, located in Kermanshah Province, was evaluated. Two machine learning models, Support Vector Machine (SVM), and Logistic Regression, were used to prepare a landslide susceptibility map. Toward this, 13 informational layers including elevation, slope, aspect, Melton ruggedness number, terrain convexity, stream length, valley depth, topographic wetness index, precipitation, geological formations, distance from rivers, distance from roads, and vegetation cover were utilized as independent variables. Approximately 70% of the watershed's landslide pixels were used for model training, and 30% for model validation. Model validation was performed using ROC curves. The results indicated the higher performance and accuracy of the radial basis function (RBF) kernel of the SVM model for generating landslide hazard maps in the study area. The area under the curve (AUC) for the RBF kernel was approximately 0.951 for model training and 0.944 for model testing. The results suggest that slope with a coefficient of 0.28, precipitation with a coefficient of 0.27, lithology with a coefficient of 0.26, and elevation with a coefficient of 0.22 are the main controlling factors for landslides occurrence in the Zamkan Watershed. Both the SVM model and logistic regression confirmed the deterministic effects of selected factors on landslides. About 35% of the study area as classified as highly susceptible to landslides, primarily in the eastern half of the watershed. Factors such as high elevation, steep slopes, heavy precipitation, and the Kazhdomi Formation's composition were identified as key contributors to this susceptibility.

* Corresponding Author: Raoof Mostafazadeh E-mail: Raoofmostafazadeh@uma.ac.ir

How cite to this article: Esfandyari Darabad, Fariba; Rostami, Ghobad; Mostafazadeh, Raoof; Abedini, Mousa; (2024). Spatial assessment and zoning of landslide risk in Zamkan watershed using support vector machine and logistic regression. *Hydrogeomorphology*, 11(40): 102 – 123. 10.22034/hyd.2024.61467.1737

Copyright: ©2024 by the authors. Publisher: University of Tabriz

Introduction

Identifying landslide risk involves complex interactions of internal and external factors. It poses a significant challenge for local governments and decision-makers and is valuable for assessing a region's susceptibility to landslides. Predicting the location and creating landslide hazard maps are crucial initial steps in reducing and managing landslide risk. The primary goal of landslide sensitivity modeling is to identify areas prone to mass movements based on past event distribution knowledge. This idea relies on identifying regions where a specific combination of physical features may indicate a propensity for similar events in the future. Typically, landslide sensitivity modeling involves correlating the spatial distribution of past landslides with the spatial distribution of influential factors such as morphometric features, geology, geomorphology, and land use to generate sensitivity maps. In the present study, the risk of landslides in the Zamkan Watershed, located in Kermanshah Province, was evaluated. For this purpose, two machine learning models, Support Vector Machine (SVM), and Logistic Regression were used to produce a landslide susceptibility map. The SVM model is part of machine learning and artificial intelligence models, while logistic regression falls into the category of multivariate statistical models.

Methodology

In the current study, logistic regression and support vector machine models were utilized within the Geographic Information System (GIS) framework to assess the spatial distribution of landslides in the Zamkan watershed. According to the research objectives, landslide distributions in the study area were considered as the dependent variable, and 13 explanatory variables were utilized, including elevation, slope, aspect, the Melton ruggedness number, terrain convexity, stream length, valley depth, topographic wetness index, precipitation, geological formations, distance from rivers, distance from roads, and vegetation cover. In the present study, the spatial distribution of landslides in the Zamkan watershed was analyzed using data provided by the Natural Resources Organization, Google Earth satellite imagery, and field surveys. These data were employed in the landslide hazard modeling process. Over 120 landslides were identified at the watershed level, with a total area of approximately 173 hectares. Approximately 70% of the watershed's landslide pixels were used for model training, and 30% for model validation. Model validation was performed using ROC curves.

Results and Discussion

The results indicated the higher performance and accuracy of the radial basis function (RBF) kernel of the SVM model for generating landslide hazard maps in the study watershed. In this regard, the area under the curve (AUC) for the RBF kernel was approximately 0.951 for model training and 0.944 for model testing. The results suggest that slope with a coefficient of 0.28, precipitation with a coefficient of 0.27, lithology with a coefficient of 0.26, and elevation with a coefficient of 0.22 are the main controlling factors for landslides occurrence in the Zamkan Watershed. All SVM model functions, as well as logistic regression, also demonstrated the deterministic effects of these factors on landslides occurrence in the study watershed.

Conclusions

Based on landslide zoning maps using SVM and logistic regression models, over 35% of the study watershed area was classified as high and very high susceptibility classes. These areas were predominantly distributed in the eastern half of the watershed. High elevation, dominance of steep slopes, significant precipitation, and the presence of the extensive Kazhdomi Formation comprising layers of limestone, claystone, marl, and shale were identified as the main reasons for the high sensitivity of these areas to landslides.

مقاله پژوهشی

ارزیابی مکانی و پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش حوضه آبریز زمکان با استفاده از ماشین‌بردار پشتیبان و رگرسیون لجستیک

فریبا اسفندیاری درآباد[۱]، قباد رستمی[۲]، رئوف مصطفی‌زاده[۳]*، موسی عابدینی[۴]

۱- استاد گروه جغرافیای طبیعی، دانشکده علوم اجتماعی، دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل، ایران. esfandyari@uma.ac.ir
۲- دانشجوی دکتری ژئومورفولوژی، دانشکده علوم اجتماعی، دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل، ایران. ghobadrostami@gmail.com
۳- دانشیار گروه منابع طبیعی و عضو پژوهشکده مدیریت آب، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل، ایران. raoofmostafazadeh@uma.ac.ir
۴- استاد گروه جغرافیای طبیعی، دانشکده علوم اجتماعی، دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل، ایران. abedini@uma.ac.ir

کلیدواژه‌ها

زمین‌لغزش، رگرسیون لجستیک، ماشین‌بردار پشتیبان (SVM)، حوضه آبریز زمکان، استان کرمانشاه.

چکیده

در پژوهش حاضر خطر وقوع زمین‌لغزش در حوضه آبریز زمکان، واقع در استان کرمانشاه، ارزیابی شد. دو مدل ماشین‌بردار پشتیبان (SVM) و رگرسیون لجستیک برای تهیه نقشه حساسیت زمین‌لغزش استفاده شد. در راستای اهداف تحقیق، ۱۳ لایه اطلاعاتی شامل ارتفاع، شیب، جهت شیب، عدد ناهمواری ملتون، تحدب سطح زمین، طول دامنه، عمق دره، رطوبت توپوگرافیک، بارش، سازندهای زمین‌شناسی، فاصله از آبراهه، فاصله از جاده و پوشش گیاهی به‌عنوان متغیرهای مستقل استفاده شد. حدود ۷۰ درصد پیکسل‌های لغزشی حوضه به‌منظور آموزش و ۳۰ درصد برای اعتبارسنجی مدل استفاده شدند. اعتبارسنجی مدل‌ها با کاربست منحنی ROC صورت گرفت. نتایج نشان‌دهنده کارایی و دقت بالاتر تابع پایه شعاعی (RBF) مدل SVM برای تهیه نقشه خطر زمین‌لغزش منطقه است. مساحت زیر منحنی (AUC) تابع پایه شعاعی حدود ۰/۹۵۱ برای آموزش مدل و ۰/۹۴۴ برای آزمون مدل به‌دست آمد. نتایج بیانگر این است که فاکتورهای شیب با ضریب ۰/۲۸، بارش با ضریب ۰/۲۷، لیتولوژی با ضریب ۰/۲۶ و ارتفاع با ضریب ۰/۲۲ کنترل‌کننده‌های اصلی وقوع زمین‌لغزش در سطح حوضه آبریز زمکان هستند. توابع مدل SVM و هم‌چنین رگرسیون لجستیک نیز اثرات قطعی فاکتورهای انتخابی بر وقوع زمین‌لغزش را تائید کردند. براساس نقشه پهنه‌بندی زمین‌لغزش حدود ۳۵ درصد مساحت حوضه مطالعاتی در کلاس خطرپذیری زیاد و بسیار زیاد قرار گرفته است. پهنه‌های مذکور عمدتاً در نیمه شرقی حوضه توزیع شده‌اند. ارتفاع زیاد، غلبه شیب‌های تند، دریافت نزولات جوی قابل توجه و رخنمون وسیع سازند کژدمی با تناوبی از لایه‌های آهکی، رسی، مارنی و شیلی مهم‌ترین دلایل حساسیت بالای این پهنه‌ها نسبت به زمین‌لغزش هستند.

تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۰۲/12
تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۰3/30
تاریخ انتشار: ۱۴۰۳/۰۷/۳۰

* نویسنده مسئول: رئوف مصطفی‌زاده
رایانامه: raoofmostafazadeh@uma.ac.ir

ارجاع به این مقاله: اسفندیاری درآباد، فریبا؛ رستمی، قباد؛ مصطفی‌زاده، رئوف؛ عابدینی، موسی. ارزیابی مکانی و پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش حوضه آبریز زمکان با استفاده از ماشین بردارپشتیبان (۱۴۰۳).هیدروژئومورفولوژی، و رگرسیون‌لجستیک 11(40):123-102.
hyd.2024.61467.1737/10.22034

Copyright: ©2024 by the authors.
Publisher: University of Tabriz

مقدمه

مخاطرات زمین‌شناسی و ژئومورفولوژیکی جزء مهم‌ترین مخاطراتی به‌شمار می‌روند که می‌توانند اقتصادهای جهانی و محلی و سکونتگاه‌های انسانی را تحت تاثیر قرار دهند (لی[1]و همکاران، ۲۰۲۰: ۱۱۰۸؛ وانگ[2]و همکاران، ۲۰۱۹: ۶۷۶). زمین‌لغزش، که به‌عنوان حرکت خاک، گِل، آوار یا سنگ تعریف می‌شود، یکی از متداول‌ترین و مخرب‌ترین مخاطرات ژئومورفولوژیکی در مناطق کوهستانی بوده و خسارات جانی و مالی زیادی به بار می‌آورد (عبداله‌زاده و همکاران، ۲۰۱۶: ۶؛ دانگ[3]و همکاران، ۲۰۲۰: ۱۱۸). خسارات مالی و جانی پس از زمین‌لغزش نشان می‌دهد که مناطق پرخطر باید دارای یک برنامه مدیریت بلایا و ریسک سازماندهی شده باشند. زمین‌لغزش معمولاً در اثر رویدادهای طبیعی مانند زلزله یا بارندگی شدید در محیطهای مستعد زمین‌شناسی، ژئومورفولوژیکی و هیدرولوژیکی رخ می‌دهد. با این وجود، سایر عوامل کلیدی موثر بر مکانیسم‌های گسیختگی زمین‌لغزش، مانند تنش‌های درجا، هوازدگی و ارتفاع نیز بسیار مهم هستند. در مناطق کوهستانی، زمین‌لغزش می‌تواند اثرات قابل توجهی بر ویژگی‌های توپوگرافی، جنگل‌ها، ویژگی‌های خاک (مانند انسجام، ساختار، تراکم و دما) و هم‌چنین بر زیرساخت‌ها مانند جاده‌ها و زمین‌های کشاورزی داشته باشد که میزان این اثرات به بزرگی زمین‌لغزش‌ها بستگی دارد (کائو[4]و همکاران، ۲۰۱۹: ۶۴؛ ساها[5]و همکاران، ۲۰۲۱:۲۶۶۴). عواملی که منجر به ناپایداری دامنه می‌شوند عبارتند از ساختار زمین‌شناسی، فعالیت زمین‌ساختی، سنگ‌شناسی، ناهمواری توپوگرافیک، زلزله، بارندگی، هوازدگی، آب و هوا و فعالیت‌های انسانی (نجفی ایگدیر و روستایی، ۲۰۲۰: ۸۲؛ تانیاس[6]و همکاران، ۲۰۱۹: ۱۲۷). تکامل زمین‌لغزش تحت تأثیر متقابل عوامل داخلی و خارجی است. شناسایی خطر زمین‌لغزش یک کار چالش‌برانگیز برای دولت‌های محلی و تصمیم‌گیران بوده و برای ارزیابی حساسیت یک منطقه نسبت به زمین‌لغزش ارزشمند است (قربانی و همکاران، ۲۰۲۳: ۲۰؛ ریچنباخ[7]و همکاران، ۲۰۱۸: ۶۲). می‌توان گفت که پیش‌بینی مکانی و تهیه نقشه خطر زمین‌لغزش اولین گام مهم برای کاهش و مدیریت خطر زمین‌لغزش به‌شمار می‌رود.

هدف مدل‌سازی حساسیت زمین‌لغزش، شناسایی مناطق مستعد حرکات توده‌ای براساس توزیع مکانی رخدادهای گذشته است، که در آن ترکیب خاصی از ویژگی‌های فیزیکی نشان‌دهنده تمایل به وقوع رویدادهای مشابه در آینده است. مدل‌سازی حساسیت زمین‌لغزش معمولاً از طریق ارتباط بین توزیع مکانی زمین لغزش‌های گذشته با توزیع مکانی فاکتورهای موثر مانند ویژگی‌های مورفومتریک، زمین‌شناسی، ژئومورفولوژی و کاربری اراضی حاصل می‌شود. از آنجایی که رابطه بین این ویژگی‌ها و احتمال مکانی وقوع معمولاً ناشناخته است، پیش‌بینی حساسیت از طریق استفاده از مدل‌سازی آماری یا تکنیک‌های یادگیری ماشین به‌دست می‌آید. ارزیابی حساسیت زمین‌لغزش را می‌توان به‌عنوان یک مساله طبقه‌بندی معمولی در نظر گرفت که هدف اصلی آن جداسازی نمونه‌های متعلق به دو طبقه وقوع و عم وقوع زمین‌لغزش است. بدین ترتیب، احتمال مکانی مخاطرات زمین‌لغزش را می‌توان به‌صورت احتمال وقوع مکانی گسیختگی‌های دامنه تحت مجموعه‌ای از شرایط محیطی بیان کرد (گازتی[8]و همکاران، ۲۰۰۵: ۲۷۳). با این حال، با توجه به ماهیت پیچیده زمین‌لغزش، رویکردهای مختلفی برای پیش‌بینی مکانی آن ارائه شده است. در چهار دهه اخیر با تاکید روزافزون بر کاربرد سیستم اطلاعات جغرافیایی (GIS) و تکنیک‌های محاسباتی نرم، رویکردهای متعددی برای تهیه نقشه حساسیت زمین لغزش (LSM) در سراسر جهان ارائه شده است که در سه گروه تکنیک‌های جبری، آماری و یادگیری ماشین طبقه‌بندی می‌شوند (ژائو و چن[9] ۲۰۲۰: ۲۱۸۰). روش‌های جبری، مدل‌های ریاضیاتی مکانیسم‌های فیزیکی کنترل‌کننده گسیختگی دامنه را ترکیب می‌کنند (یانگ[10]و همکاران، ۲۰۱۹: ۱۳۰۲). روش‌های جبری نیازی به لیست ثبت شده زمین‌لغزش ندارند و برای یک زمین‌لغزش منفرد و یک منطقه کوچک مقیاس مناسب هستند و فقدان داده‌های ژئوتکنیکی و هیدروژئولوژیکی در مقیاس بزرگ از موانع اصلی استفاده از مدل‌های جبری است. با توجه به چالش‌های کاربرد روش جبری، روش‌های آماری به‌طور گسترده در پهنه‌بندی حساسیت زمین‌لغزش استفاده می‌شوند که می‌توان به

[1] - Li
[2] - Wang
[3] - Dang
[4] - Cao
[5] - Saha
[6] - Tanyas
[7] - Reichenbach
[8] - Guzzetti
[9] - Zhao & Chen
[10] - Yang

روش‌های شاخص آنتروپی (چن[1]و همکاران، ۲۰۲۰: ۸۵۳)، نسبت فراوانی (ادیتیان[2]و همکاران، ۲۰۱۸: ۱۰۲)، وزن شواهد (تسانگرتوس[3] ۲۰۱۷) و رگرسیون لجستیک اشاره نمود. برای غلبه بر محدودیت‌های روش‌های آماری و لحاظ رابطه غیرخطی میان متغیرها، روش‌های یادگیری ماشین مانند شبکه‌های عصبی مصنوعی، ماشین‌بردار پشتیبان (دوئو[4]و همکاران، ۲۰۲۰: ۶۴۱)، جنگل تصادفی (چن و همکاران، ۲۰۱۸: ۸۵۳)، سیستم استنتاج عصبی- فازی تطبیقی (پناهی[5]و همکاران، ۲۰۲۰) و بیز ساده[6](لی[7]و همکاران، ۲۰۲۰)، راه‌های مؤثری را برای حل مسائل پیچیده و غیرخطی با دقت بالا ارائه می‌کنند. روش SVM در سال‌های اخیر به‌دلیل عملکرد طبقه‌بندی خوب و قابلیت پذیرش خطا مورد توجه فزاینده‌ای قرار گرفته است. در این رابطه می‌توان به پژوهش‌هایی مانند عابدینی و همکاران (۲۰۱۹: ۱۴۲۷)، کرمی و همکاران (۲۰۲۰: ۳۴۱)، اسفندیاری و همکاران (۲۰۲۰: ۱۸)، سپه‌وند و بیرانوند (۲۰۲۳)، وانگ و برنینگ[8](۲۰۲۱) و ژائو و ژائو[9](۲۰۲۱) اشاره نمود.

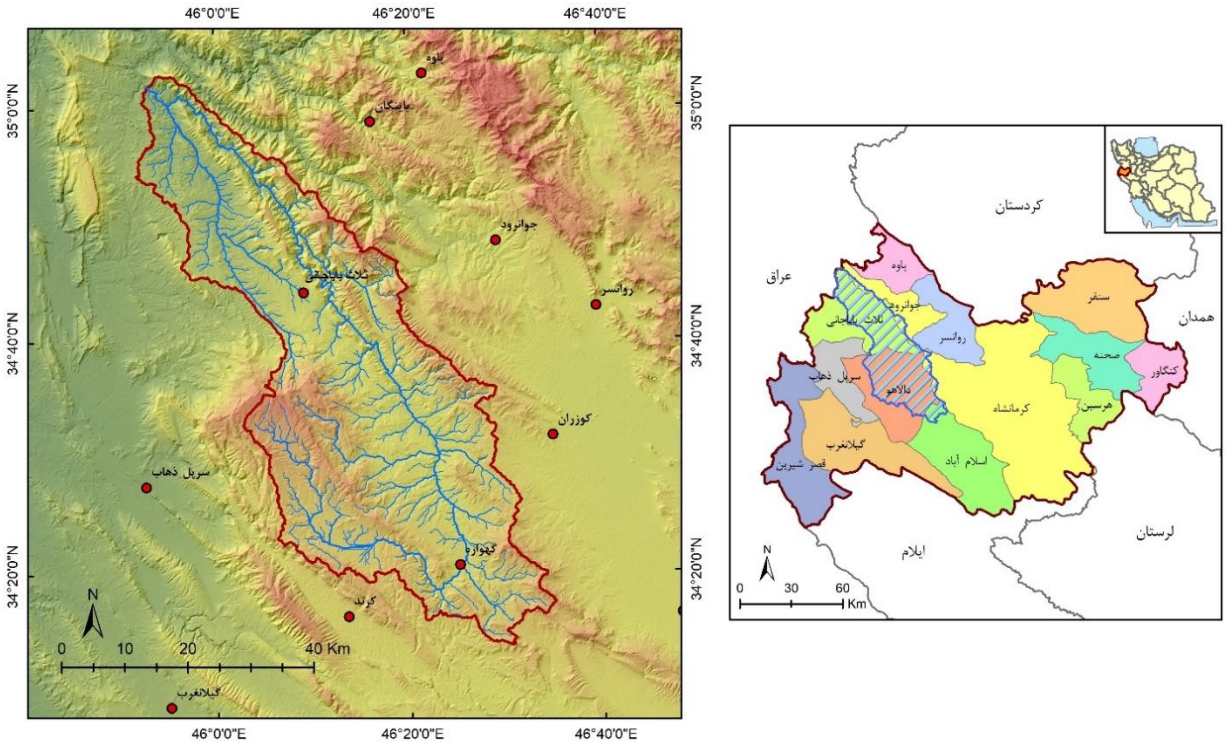
با توجه به موارد مذکور در پژوهش حاضر از دو رویکرد آماری (رگرسیون لجستیک) و ماشین‌بردار پشتیبان (SVM) برای ارزیابی خطر وقوع زمین‌لغزش در سطح حوضه آبریز زمکان استفاده شده است. حوضه آبریز زمکان یکی از حوضه‌های بزرگ استان کرمانشاه است و بخش‌های قابل توجهی از رشته کوه زاگرس را زهکشی می‌کند. وقوع زمین‌لغزش در محدوده این حوضه از پتانسیل بالایی برخوردار بوده و رخداد این پدیده را می‌توان یکی از مهم‌ترین مخاطرات ژئومورفولوژیکی منطقه به‌شمار آورد. عوامل متعددی باعث شده‌اند که این حوضه مستعد وقوع زمین‌لغزش باشد که از جمله می‌توان به وجود سازندهای زمین‌شناسی حساس، فعالیت‌های نوزمین‌ساختی، بارش قابل توجه (حضور رطوبت کافی)، وجود شیب‌های مستعد و دخالت‌های عامل انسانی اشاره نمود. لذا هدف پژوهش حاضر ارزیابی مکانی و پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش حوضه آبریز زمکان با استفاده از ماشین‌بردار پشتیبان و رگرسیون لجستیک است.

مواد و روش پژوهش

منطقه مورد مطالعه

در پژوهش حاضر خطر وقوع زمین‌لغزش در محدوده حوضه آبریز زمکان مورد ارزیابی قرار گرفته است. از نظر موقعیت جغرافیایی حوضه مطالعاتی در مختصات ۴۵ درجه و ۵۱ دقیقه و ۳۵ ثانیه تا ۴۶ درجه و ۳۶ دقیقه و ۱۰ ثانیه طول شرقی و ۳۴ درجه و ۱۳ دقیقه و ۴۰ ثانیه تا ۳۵ درجه و ۳ دقیقه و ۵ ثانیه عرض شمالی واقع شده است (شکل ۱). حوضه مطالعاتی در محدوده استان کرمانشاه و در محدوده شهرستان‌های دالاهو و ثلاث باباجانی، جوانرود، روانسر، کرمانشاه و اسلام‌آباد قرار گرفته است. مساحت منطقه حدود ۲۳۲۹ کیلومترمربع و محیط آن ۴۲۶ کیلومتر محاسبه شد. رودخانه زمکان درواقع زهکش تشکیلات آهکی شمال کرند محسوب می‌شود به رودخانه سیروان می‌پیوندد. حوضه مطالعاتی جزئی از زاگرس شمال‌غربی است که در آن، امواج چین‌خوردگی در زاگرس، بیش‌تر به‌صورت ساخت‌های طاقدیسی (دالاهو) و ناودیسی مرکب (دست اسلام‌آباد) ظاهر شده است و هیچ‌گونه دگرشکلی حاصل از تزریق توده‌های نمک نیز در آن ایجاد نشده است. کوه‌های این منطقه به‌علت قرارگیری در مسیر بادهای مرطوب غربی از بارش قابل‌توجهی برخوردار بوده و درنتیجه دشت‌های ناودیسی بین کوه‌ها، زمین‌های کشاورزی حاصل‌خیزی را تشکیل داده‌اند (علایی طالقانی، ۱۳۸۴: ۱۵۴).

[1] - Chen
[2] - Aditian
[3] - Tsangaratos
[4] - Dou
[5] - Panahi
[6] - Naïve Bayes
[7] - Lee
[8] - Wang & Brenning
[9] - Zhao & Zhao



شکل (۱): موقعیت جغرافیایی حوضه آبریز زمکان در استان کرمانشاه واقع در غرب ایران

Figure (1): Geographical location of Zamkan watershed in Kermanshah province located in the west of the Iran

روش پژوهش

امروزه به‌منظور ارزیابی مکانی و تهیه نقشه‌های خطر زمین‌لغزش از فن‌آوری‌های نوین مکانی و تکنیک‌های دورسنجی در مقیاسی گسترده استفاده می‌شود. در این چارچوب حجم زیادی از داده‌ها از منابع مختلف در بستر سیستم اطلاعات جغرافیایی (GIS) تحلیل و ترکیب می‌شوند. بدین منظور ۱۳ متغیر موثر بر رخداد این پدیده شامل ارتفاع، شیب، جهت شیب، عدد ناهمواری ملتون[1] تحدب سطح زمین، طول دامنه، عمق دره، رطوبت توپوگرافیک، بارش، سازندهای زمین‌شناسی، فاصله از آبراهه، فاصله از جاده و پوشش گیاهی به‌کار گرفته شد و نقشه‌های مکانی شاخص‌های مذکور با استفاده از نرم‌افزار ArcMap به‌دست آمد (اصغری و همکاران، ۲۰۲۰؛ طالبی خیاوی و مصطفی‌زاده، ۲۰۲۲؛ آقایاری و همکاران، ۲۰۲۴). داده‌های مورد نیاز از روی نقشه‌های توپوگرافی مقیاس ۱:۲۵۰۰۰ و ۱:۵۰۰۰۰، نقشه‌های زمین‌شناسی مقیاس ۱:۱۰۰۰۰۰ و ۱:۲۵۰۰۰۰، تصاویر مدل رقومی ارتفاع (DEM) منطقه با قدرت تفکیک ۲۷ متر مربوط به ماهواره Aster، تصاویر ماهواره‌ای Sentinel 1 (با قدرت تفکیک ۱۰ متر) و Google Earth (GeoEye با قدرت تفکیک تقریبا ۱متر)، داده‌های اقلیمی و مطالعات میدانی و نیز منابع کتابخانه‌ای حاصل شد. در ادامه توضیحات مختصری در رابطه با مدل‌های مورد استفاده ارائه شده است. در پژوهش حاضر به‌منظور ارزیابی مکانی زمین‌لغزش در سطح حوضه آبریز زمکان از مدل‌های رگرسیون لجستیک و ماشین‌بردار پشتیبان در بستر سیستم اطلاعات جغرافیایی (GIS) استفاده شد.

پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش با استفاده از مدل رگرسیون لجستیک

رگرسیون لجستیک، ایجاد یک رابطه رگرسیون چندمتغیره بین یک متغیر وابسته و چندین متغیر مستقل را امکان‌پذیر می‌سازد. بدین ترتیب، به‌منظور پیش‌بینی وجود یا عدم وجود یک صفت اختصاصی یا رخداد بر اساس مقادیر مجموعه‌ای از متغیرهای پیش‌بینی‌کننده به‌کار گرفته می‌شود (لی و همکاران،[2] ۲۰۱۵). در تحلیل‌های مبتنی بر لجستیک برای پیامدهای دودویی (باینری) سعی می‌شود تا شانس

[1] - Melton ruggedness number (MNR)

[2] - Lee

رخداد یک پدیده مدل‌سازی شده و تاثیرات متغیرهای مستقل بر روی این شانس تخمین زده شود. شانس وقوع یک پدیده، نسبتی است که احتمال وقوع یک رخداد (موفقیت) نسبت به عدم وقوع آن رخداد (شکست) را مورد مقایسه قرار می‌دهد. در یک مدل رگرسیون لجستیک، احتمال به شانس و شانس بوسیله گرفتن Log طبیعی به Logits تبدیل می‌شود. مدل لجستیک در شکل ساده می‌تواند به‌صورت زیر بیان شود (شیکر و مون[1] ۲۰۱۲؛ بای[2] و همکاران، ۲۰۱۱):

$$P = \frac{1}{1 + e^{-z}} \quad (۱)$$

که در آن: P احتمال وقوع یک رخداد (زمین‌لغزش)، که مقدار آن از ۰ تا ۱ در یک منحنی S شکل در نوسان است؛ z به‌صورت معادله‌ای (مدل لجستیک خطی) تعریف می‌شود که مقدار آن از ∞- تا ∞+ در نوسان است. در رابطه با ارزیابی خطر زمین‌لغزش، می‌توان گفت که هدف رگرسیون لجستیک پیدا کردن بهترین و معقول‌ترین مدل برازش برای بیان رابطه بین وجود یا عدم وجود زمین‌لغزش‌ها (متغیر وابسته) و مجموعه‌ای از پارامترهای مستقل از قبیل زاویه شیب، جهت شیب و سنگ‌شناسی است و مطابق با رابطه زیر قابل بیان است (ایالو و یاماگیشی[3] ۲۰۰۵):

$$\begin{aligned} Y &= \mathrm{Logit}(p) = \ln(p/(1-p)) \\ &= C_0 + C_1X_1 + C_2X_2 + \ldots + C_nX_n \end{aligned} \quad (۲)$$

در رابطه فوق‌الذکر: P : احتمال ۱ بودن متغیر وابسته (Y)، P/(1-P) : شانس یا نسبت درست‌نمایی[4]، C_0 : عرض از مبدأ و $C_1, C_2, \ldots C_n$: ضرایبی هستند که میزان مشارکت فاکتورهای مستقل ($X_1, X_2, \ldots X_n$) در تغییرات Y را نشان می‌دهند. در این زمینه، می‌توان از برآورد حداکثر درست‌نمایی برای یافتن بهترین برازش مجموعه پارامترهای مستقل استفاده کرد که می‌تواند به‌صورت معادله زیر بیان شود.

$$L = \prod_{i=1}^{N} \mu_i^{y_i} \times (1-\mu_i)^{(1-y_i)} \quad (۳)$$

که در آن: L : درست‌نمایی، N : تعداد نمونه‌ها، μ_i : مقدار پیش‌بینی شده متغیر وابسته برای نمونه i و y_i : مقدار مشاهده شده متغیر وابسته برای نمونه i است.

پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش با استفاده از مدل SVM

ماشین‌بردار پشتیبان (SVM) به‌عنوان یک طبقه‌بندی کننده باینری یادگیری نظارت شده است که بر اساس اصل حداقل نمودن ریسک ساختاری کار می‌کند (اوه و پرادان[5] ۲۰۱۱). SVM برای طبقه‌بندی، رگرسیون و تشخیص نقاط پرت[6] استفاده می‌شود. با توجه به داده‌های آموزشی، این روش یک ابرصفحه بهینه را خروجی می‌دهد و نمونه‌های جدید را طبقه‌بندی می‌کند (لوئو[7] و همکاران، ۲۰۱۹). در موضوع طبقه‌بندی، SVM یک مجموعه داده آموزشی مشخص را بر اساس یک هایپرپلین[8] (ابرصفحه) تفکیک می‌کند تا فاصله بین آن‌ها را به حداکثر برساند، که به‌عنوان بیشینه حاشیه هایپرپلین[9] شناخته می‌شود (اوه و پرادان، ۲۰۱۱). در واقع، هدف SVM یافتن یک هایپرپلین چند بعدی (n) است که بین دو نوع با حداکثر اختلاف[10] آنها تفاوت قائل می‌شود. بیان ریاضی مدل مذکور به شرح زیر است:

$$1/2\|w\|^2 \quad (۴)$$

1- Schicker and Moon
2 - Bai
3 -Ayalew, L., & Yamagishi
4 - Maximum likelihood
5- Oh & Pradhan
6- Outliers
7- Luo
8- Hyper plane
9- Maximal margin hyper-plane
10-Maximum gap

$$y_i((w \cdot x_i) + b) \geq 1$$

که در آن: $\|w\|$ هنج، هایپرپلین نرمال (تابعی نامنفی با نماد رایج $\| . \|$ بر یک فضای بُرداری که خواصی شبیه تابع قدر مطلق در اعداد مختلط دارد) و B عدد ثابت است. پس از ضرب ضریب لاگرانژین (λ_i)، تابع هزینه را می‌توان به‌صورت زیر بیان کرد:

$$L = 1/2\|w\|^2 - \sum_{i=1}^{n} \lambda_i(y_i((w * x_i) + b) - 1) \quad (۵)$$

برای حالت غیر قابل تفکیک، متغیر کمکی معادله (۵) را می‌توان به‌صورت زیر تغییر داد (خو[1] و همکاران، ۲۰۱۲):

$$y_i((w * x_i) + b) \geq 1 - \xi_i \quad (۶)$$

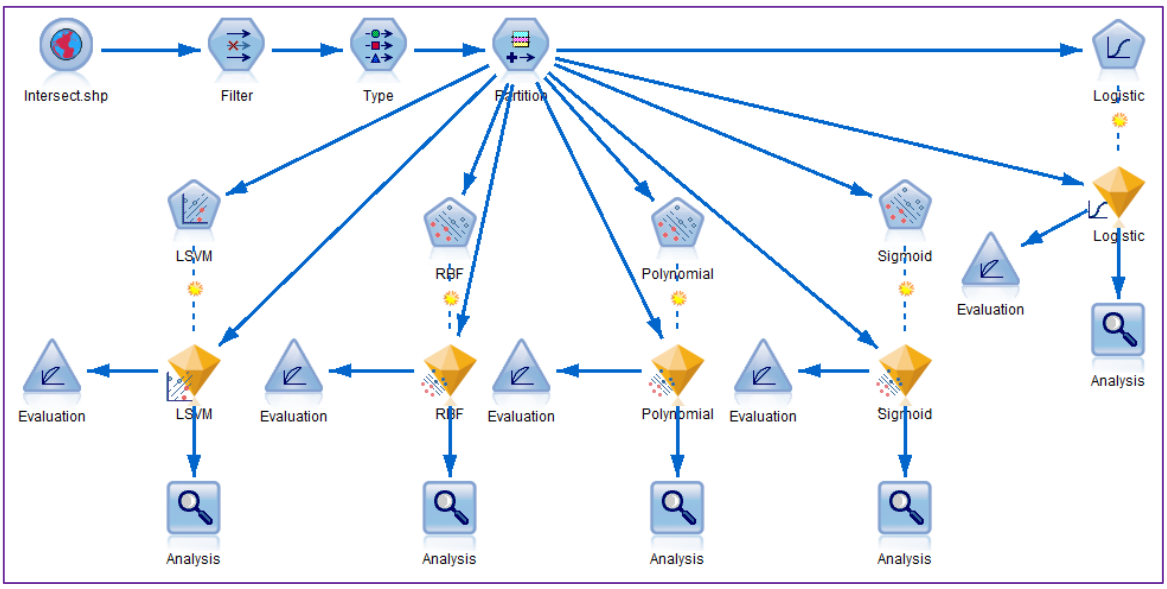
پس از آن، $v\ (0, 1)$، که طبقه‌بندی اشتباه را بیان می‌کند، معادله (۶) را می‌توان به‌صورت زیر تعریف کرد (واپنیک[2] ۲۰۱۳):

$$L = \frac{1}{2}\|w\|^2 - \frac{1}{vn}\sum_{i=1}^{n} \xi_i \quad (۷)$$

علاوه بر این، یک تابع کرنل[3] $K(x_i, x_j)$ برای مرز تصمیم غیرخطی در نظر گرفته شده است. در این پژوهش، تابع پایه شعاعی (RBF) به‌دلیل استواری و پایایی آن که توسط محققان مختلف منتشر شده است، به‌عنوان تابع کرنل انتخاب شد. کرنل گوسی RBF[4] به‌صورت زیر بیان می شود (کولکسن[5] و همکاران، ۲۰۱۶، ۲۰۱۳):

$$K(x_i, x_j) = \exp\left(-\gamma\|x_i - x_j\|^2\right), \gamma > 0 \quad (۸)$$

که در آن γ پارامتر توابع کرنل است.



شکل (۲): نمودار جریانی مدل‌های اجراشده برای ارزیابی خطر زمین‌لغزش در منطقه زمکان

Figure (2): The flow diagram of the models implemented to assess the risk of landslides at the level of the Zamkan area

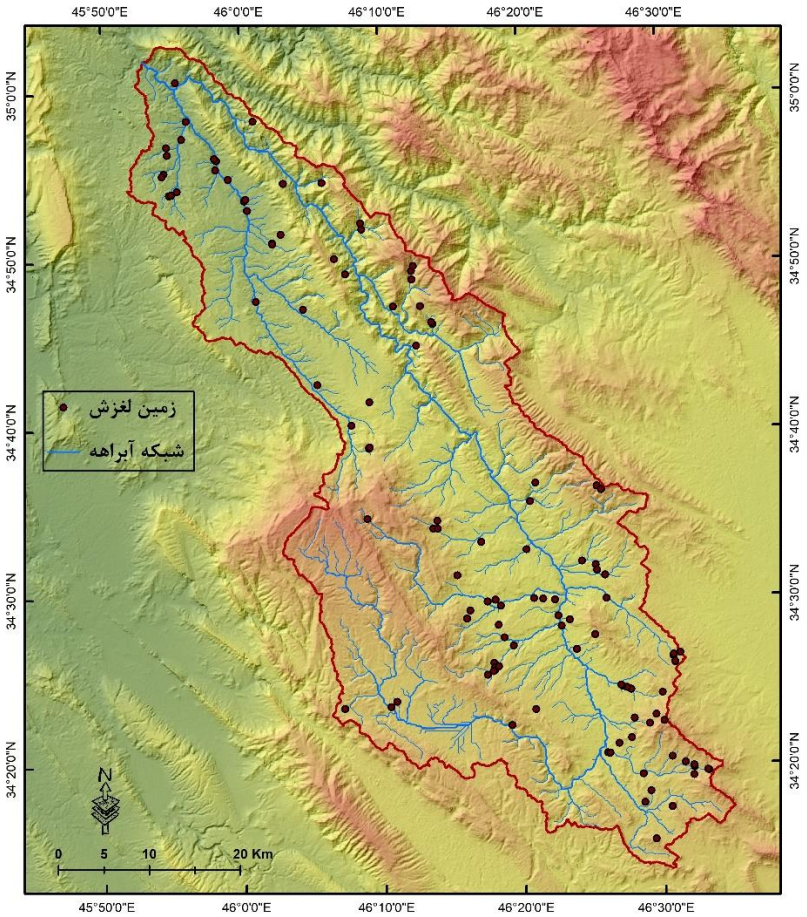
یافته‌ها

توزیع زمین‌لغزش‌ها در سطح حوضه (سیاهه لغزش)

داشتن اطلاعات دقیق در رابطه با توزیع مکانی مناطق مستعد زمین‌لغزش مهم‌ترین پیش‌نیاز برای مطالعات موثر کاهش خطر به‌شمار می‌رود. سیاهه زمین‌لغزش و تهیه نقشه حساسیت، ورودی‌های ارزشمندی برای ارزیابی و مدیریت ریسک زمین‌لغزش فراهم می‌کنند. در

1- Xu
2- Vapnik
3- Kernel function
4- RBF Gaussian kernel
5- Colkesen

پژوهش حاضر نیز توزیع مکانی زمین‌لغزش‌های حوضه آبریز زمکان با استفاده از داده‌های ارائه شده توسط سازمان منابع طبیعی، تصاویر ماهواره‌ای گوگل ارث و مطالعات میدانی تهیه شده و در فرایند مدل‌سازی خطر وقوع زمین‌لغزش مورد استفاده قرار گرفت (شکل ۳). در سطح حوضه مطالعاتی بالغ بر ۱۲۰ زمین‌لغزش شناسایی شد. مجموع مساحت توده‌های لغزشی حوضه حدود ۱۷۳/۷ هکتار محاسبه شد. در بخش‌هایی از جنوب و شمال حوضه مطالعاتی زمین‌لغزش‌ها از فراوانی بیش‌تری برخوردارند؛ با این حال، زمین‌لغزش‌های نیمه شمالی حوضه از حجم زیادی برخوردار نبوده و عمدتاً شامل لغزش‌های کوچک هستند. این در حالی است که لغزش‌های جنوبی حوضه دارای حجم و عمق زیادی بوده و حتی پهنه‌های قابل توجهی از پایین‌دست لغزش را تحت تاثیر قرار داده‌اند. زمین‌لغزش‌های مذکور از یک طرف به‌دلیل ابعاد بزرگ و از سوی دیگر به‌دلیل استقرار بخش قابل توجهی از سکونتگاه‌ها و زیرساخت‌ها در این بخش از حوضه جزء مهم‌ترین مخاطرات ژئومورفولوژیکی حوضه مطالعاتی به‌شمار می‌روند. در پژوهش حاضر سعی شد با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای گوگل ارث با قدرت تفکیک بالا و بهره‌گیری از شاخص‌های کلیدی مانند شکاف‌های لغزشی، به‌هم‌ریختگی دامنه‌ها، از بین رفتن پوشش گیاهی، تغییر مسیر آبراهه‌ها و غیره نسبت به شناسایی زمین‌لغزش‌ها اقدام شود و با بررسی‌های میدانی زمین‌لغزش‌های شناسایی شده اعتبارسنجی شدند. توزیع مکانی زمین‌لغزش‌های حوضه یا سیاهه لغزش به‌عنوان نقاط تعلیمی در مدل‌سازی خطر (۷۰ درصد به‌منظور آموزش و ۳۰ درصد به‌منظور اعتبارسنجی) زمین‌لغزش حوضه مطالعاتی با استفاده از مدل‌های رگرسیون لجستیک و ماشین‌بردار پشتیبان مورد استفاده قرار گرفت.



شکل (۳): توزیع مکانی زمین‌لغزش‌های ثبت شده در محدوده حوضه زمکان

Figure (3): Spatial distribution of recorded landslides in Zamkan area

فاکتورهای موثر بر وقوع زمین‌لغزش‌های حوضه

در پژوهش حاضر از تعداد ۱۳ متغیر (به‌عنوان متغیر مستقل) برای تهیه نقشه خطر زمین‌لغزش و محیط نرم‌افزاری ArcMap در آمنطقه زمکان استفاده شد (شکل ۴).

ارتفاع: در حوضه مطالعاتی بخش عمده‌ای از زمین‌لغزش‌ها در ترازهای میانی حوضه اتفاق افتاده‌اند. حدود ۳۲/۴ درصد پیکسل‌های لغزشی در طبقه ارتفاعی ۱۳۰۰ تا ۱۵۰۰ متر، ۲۰/۶ درصد در طبقه ارتفاعی ۱۵۰۰ تا ۱۷۰۰ متر و ۲۰/۳ درصد نیز در طبقه ارتفاعی ۱۱۰۰ تا ۱۳۰۰ متر واقع شده‌اند. بر اساس پراکنش وقوع زمین‌لغزش‌ها می‌توان گفت که در ارتفاع‌های میانی به‌دلیل وجود شیب مناسب، حضور آب و مخصوصا وجود مواد هوازده با ضخامت زیاد، شرایط مساعدی برای وقوع زمین‌لغزش فراهم شده است. از تراز ارتفاعی بالاتر از ۱۷۰۰ متر وقوع زمین‌لغزش‌ها کاهش پیدا کرده و در طبقه ارتفاعی ۲۳۰۰ تا ۲۵۴۶ متر به صفر می‌رسد. در واقع، در ترازهای ارتفاعی بالاتر به‌دلیل غلبه شیب‌های بسیار تند و مورفولوژی پرتگاهی ناپایداری‌های دامنه‌ای عمدتاً به‌صورت سقوط سنگ‌ها اتفاق افتاده و حرکات توده‌ای به‌صورت زمین‌لغرش کاهش پیدا کرده است.

شیب دامنه: بر اساس نقشه شیب تهیه شده در ArcMap، میانگین شیب حوضه زمکان حدود ۲۲/۲ درصد است. بالغ بر ۹/۳ درصد مساحت حوضه شامل سطوح با شیب‌های کم‌تر از ۵ درصد است که منطبق بر سطح ناودیس‌ها و بستر دره‌های حوضه مطالعاتی است. تنها ۳/۸ درصد پیکسل‌های لغزشی در طبقه شیب کم‌تر از ۵ درصد قرار گرفته‌اند. در طبقات ۵ تا ۱۰ درصد و ۱۰ تا ۱۵ درصد، به ترتیب ۱۰ و ۱۶/۳ درصد پیکسل‌های لغزشی قرار گرفته اند. شیب بیش از ۴۵ درصد در سطح حوضه دارای وسعت زیادی است و بالغ بر ۳۱ درصد پیکسل‌های لغزشی در طبقه شیب مذکور قرار گرفته‌اند.

جهت شیب: درصد قابل توجهی از زمین‌لغزش‌های حوضه مطالعاتی در جهت‌های شمالی (حدود ۸/۳ درصد پیکسل‌های لغزشی)، شمال شرقی (حدود ۱۶/۸ درصد پیکسل‌های لغزشی) و شمال غربی (حدود ۱۶/۳ درصد پیکسل‌های لغزشی) اتفاق افتاده‌اند که به‌دلیل وجود رطوبت، حجم و عمق زیاد مواد هوازده در دامنه‌های شمالی است.

عدد ناهمواری ملتون: عدد ناهمواری ملتون به‌منظور لحاظ تاثیر ناهمواری‌ها و پستی و بلندی‌ها در فرایندهای ناپایداری دامنه‌ای استفاده شد. براساس نقشه بدست آمده در نرم‌افزار ArcMap، حدود ۴۶ درصد مساحت حوضه در کلاس با مقادیر عدد ملتون ۰ تا ۰/۹۴ واقع شده است و ۲۹/۹ درصد پیکسل‌های لغزشی حوضه در این دامنه توزیع شده‌اند. در دامنه عددی ۰/۹۴ تا ۲/۷۳ عدد ناهمواری، حدود ۳۰/۲ درصد پیکسل‌های لغزشی قرار گرفته‌اند. مساحت کلاس‌ها با افزایش مقادیر عدد ناهمواری کاهش پیدا کرده و برعکس نسبت فراوانی روند افزایشی نشان می‌دهد. در این رابطه، مساحت کلاس ۲/۷۴ تا ۵/۰۳، کلاس ۵/۰۴ تا ۸/۲۸ و کلاس ۸/۲۹ تا ۲۶/۷۳ به‌ترتیب حدود ۱۴/۷، ۷/۳ و ۲/۴ درصد هستند. بدین ترتیب، احتمال وقوع زمین‌لغزش در کلاس‌های با مقادیر بالاتر عدد ناهمواری ملتون افزایش پیدا می‌کند.

تحدب سطح زمین: پهنه‌های با تقعر بالا (مقادیر شاخص تحدب ۲۲ تا ۳۷) حدود ۱۵/۹ درصد مساحت حوضه زمکان را به خود اختصاص داده‌اند که بالغ بر ۱۸/۱ درصد پیکسل‌های لغزشی حوضه مطالعاتی در محدوده این کلاس توزیع شده‌اند. به‌دلیل ریخت‌شناسی مقعر، بخش قابل توجهی از رواناب تولید شده به سطوح مذکور هدایت می‌شوند. زمین‌لغزش‌های موجود در این کلاس عمدتاً از نوع انتقالی بوده و با ضخامت زیاد خاک و مواد هوازده موجود در این سطوح مرتبط است. پهنه‌های با تقعر متوسط (شاخص تحدب ۳۷ تا ۴۱) شامل دامنه‌های پایین‌دست، آبراهه‌های رده پایین و محل تلاقی انشعابات مختلف حوضه هستند که حدود ۳۲ درصد از سطح حوضه زمکان را در بر می‌گیرند و ۳۰/۸ درصد پیکسل‌های لغزشی در این دامنه واقع شده‌اند. در سطوح مذکور ضخامت زیاد خاک و مواد هوازده، وجود شیب مناسب برای وقوع زمین‌لغزش و حضور آب فراوان به هنگام بارندگی‌ها از عوامل محرک زمین‌لغزش محسوب می‌شوند. پهنه‌هایی با شکل مستقیم دامنه، شامل سطوحی با شاخص تحدب ۴۱ تا ۴۷ هستند که حدود ۲۹/۶ درصد پیکسل‌های لغزشی حوضه در محدوده این کلاس توزیع شده‌اند. پهنه‌های نسبتاً محدب با مقادیر شاخص تحدب ۴۷ تا ۵۳، بالغ بر ۱۶/۹ درصد از سطح حوضه و ۱۹ درصد پیکسل‌های لغزشی را شامل می‌شوند. پهنه‌های کاملاً محدب با شاخص تحدب ۵۳ تا ۷۱ تقریبا ۷/۱ درصد مساحت حوضه را شامل می‌شوند و درصد کمی از پیکسل‌های لغزشی (۲/۵) درصد را به خود اختصاص داده‌اند.

فاکتور طول دامنه: مقادیر طول دامنه در حوضه زمکان با نرم‌افزار ArcMap محاسبه شد که از حداقل ۰ تا حداکثر ۱۰۷ متر متغیر است. در کلاس با مقادیر ۰ تا ۲/۰۹ و مقادیر ۲/۱۰ تا ۵/۰۲ طول دامنه، نسبت فراوانی برابر ۰/۵۷ و ۰/۹۵ محاسبه شد. در کلاس‌هایی با مقادیر ۵/۰۳ تا ۸/۷۹، ۸/۸ تا ۱۳/۳۹ و ۱۳/۴۰ تا ۱۰۷ نسبت فراوانی به‌ترتیب حدود ۱/۰۱، ۱/۸۰ و ۵/۷۶ به‌دست آمد. در پهنه‌های با مقادیر فاکتور طول دامنه بالاتر احتمال وقوع زمین‌لغزش‌ها افزایش پیدا می‌کند.

عمق دره: وقوع زمین‌لغزش در دره‌های عمیق می‌تواند پهنه‌های بیش‌تری را در پایین‌دست لغزش تحت تاثیر قرار دهد. در این خصوص، حدود ۹/۵ درصد لغزش‌ها در کلاس با عمق دره ۳۰۰ تا ۴۰۰ متر حادث شده‌اند و حدود ۷/۶ درصد زمین‌لغزش‌های حوضه در کلاس با عمق دره بیش از ۴۰۰ متر اتفاق افتاده است. در حالت کلی در سطح حوضه زمکان بخش عمده‌ای از زمین‌لغزش‌ها در دامنه‌های میانی حوضه اتفاق افتاده‌اند.

شاخص رطوبت توپوگرافیک (TWI): بر اساس نقشه شاخص مذکور که در نرم‌افزار ArcMap به‌دست آمد، با افزایش مقادیر شاخص رطوبت توپوگرافیک فراوانی زمین‌لغزش‌ها کاهش یافته است که ناشی از کاهش شیب و افزایش پوشش گیاهی است. در این رابطه بالغ بر ۳۳/۸ درصد پیکسل‌های لغزشی در کلاس TWI با مقادیر ۱/۵ تا ۶/۲ و حدود ۴۵/۹ درصد نیز در کلاس با مقادیر TWI بین ۶/۳ تا ۸/۱ توزیع شده‌اند.

بارش: میانگین بارش منطقه حدود ۷۲۸ میلی‌متر است و از غرب به شرق افزایش پیدا می‌کند. طبقات بارشی کم‌تر از ۶۲۰ میلی‌متر به جز چند زمین‌لغزش کوچک تقریبا زمین‌لغزشی رخ نداده است. در طبقه بارش ۶۲۰ تا ۶۷۰، ۶۷۰ تا ۷۲۰، ۷۲۰ تا ۷۷۰ میلی‌متر، به‌ترتیب، حدود ۱۱/۱، ۱۹/۴، ۲۹/۶ درصد پیکسل‌های لغزشی قرار گرفته‌اند.

سازندهای زمین‌شناسی: حوضه زمکان عمدتاً از سنگ‌های آهکی تشکیل شده است. در این رابطه بالغ بر ۴۶/۹ درصد مساحت حوضه توسط سازند KEpd-gu (سازند کژدمی دوره کرتاسه) پوشیده شده و شامل سنگ آهک لایه‌لایه تا توده‌ای فسیل‌دار است که فرسایش‌پذیری متوسط، نسبت به وقوع زمین‌لغزش نیز حساسیت نسبتاً بالایی دارد. حدود ۴۷/۱ درصد پیکسل‌های لغزشی حوضه روی این سازند اتفاق افتاده‌اند. حدود ۲۰/۵ درصد مساحت حوضه توسط سازند گروه بنگستان (با نماد Kbgp) پوشیده شده است که از سنگ آهک و شیل تشکیل شده و حدود ۱۸/۵ درصد پیکسل‌های لغزشی حوضه در سازند توزیع شده‌اند. سازند EMas-sb سومین سازند گسترده در محدوده حوضه زمکان (۲۰ درصد مساحت) است که ترکیبی از سنگ آهک آسماری و دولومیت‌ها و سنگ آهک‌های شهبازان است و حدود ۳/۲ درصد پیکسل‌های لغزشی حوضه در محدوده این سازند توزیع شده‌اند. حدود ۷/۹ درصد مساحت حوضه توسط سازند Ekn (سنگ آهک آرژیلی و شیل آهکی دوره ائوسن) پوشیده شده است و حدود ۲۷/۶ درصد پیکسل‌های لغزشی را شامل می‌شود. نهشته‌های آبرفتی جوان کواترنری (Qft2) و سازند تله‌زنگ (PeEtz) با مساحد کم، دارای فرسایش‌پذیری نسبتاً پایین بود و درصد کمی از پیکسل‌های لغزشی در این محدوده قرار دارند. در جدول ۱، مشخصات سازندهای زمین‌شناسی موجود در منطقه مورد مطالعه ارائه شده است.

جدول (۱): مشخصات سازندهای زمین‌شناسی موجود در منطقه مورد مطالعه

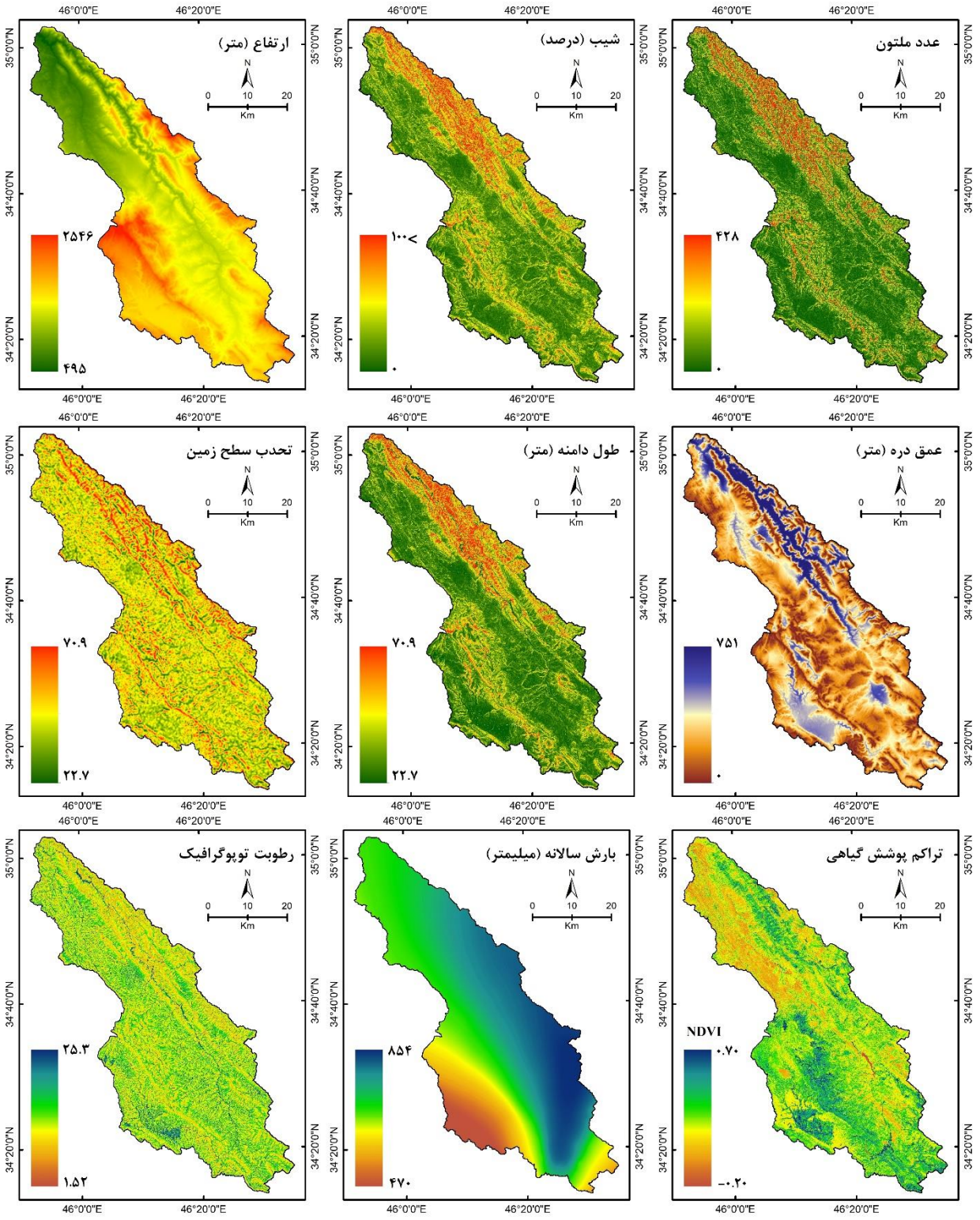
Table (1): The charachteristics of the geological formation in the study area

ردیف	علامت اختصاری	نام سازند	نوع سازند
۱	Qft2	آبرفت‌های کواترنری	نهشته‌های آبرفتی جوان کواترنری
۲	EMas-sb	سازند آسماری	سنگ آهک آسماری و دولومیت‌ها
۳	Ekn	شیل کندوان	سنگ آهک آرژیلی و شیل آهکی
۴	PeEtz	تله‌زنگ	سنگ آهک فسیل‌دار متوسط لایه تا توده‌ای
۵	KEpd-gu	کژدمی	سنگ آهک لایه‌لایه تا توده‌ای فسیل‌دار
۶	Kbgp	بنگستان	سنگ آهک و شیل

فاصله از آبرهه: نقشه فاصله از آبراهه در نرم‌افزار ArcMap محاسبه شد و بر اساس آن، مناطق مجاور آبراهه‌ها به‌دلیل فرایندهایی مانند زیربری دامنه‌ها توسط جریان آب مستعد ناپایداری‌های دامنه‌ای هستند. حدود ۱۱/۵ درصد از پیکسل‌های لغزشی حوضه زمکان در فاصله ۰ تا ۵۰ متری آبراهه‌ها و حدود ۱۱/۷ درصد نیز در فاصله ۵۰ تا ۱۰۰ متری آبراهه‌ها توزیع شده‌اند.

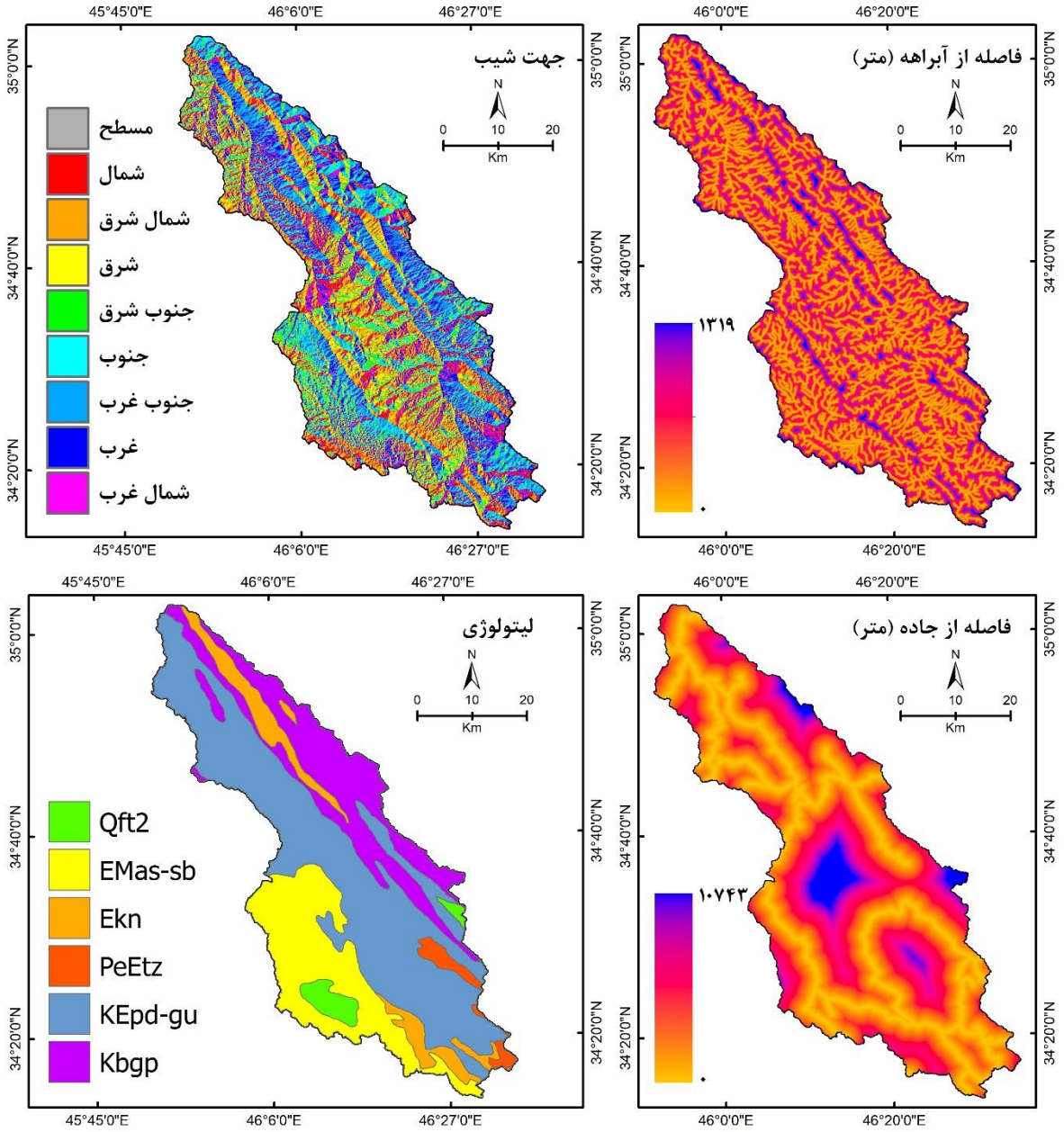
فاصله از جاده: بر اساس نقشه کلاسه‌بندی شده فاصله از جاده در نرم‌افزار ArcMap، حدود ۷ درصد پیکسل‌های لغزشی حوضه مطالعاتی در فاصله کم‌تر از ۲۰۰ متری جاده‌ها و حدود ۶ درصد نیز در فاصله بین ۲۰۰ تا ۴۰۰ درصدی جاده‌ها توزیع شده‌اند. زمین‌لغزش‌های موجود در نزدیکی جاده‌ها درنتیجه تنش‌های حاصل از عبور وسائط نقلیه اتفاق افتاده‌اند.

پوشش گیاهی: براساس شاخص NDVI، دامنه مقادیر ۰/۰۱ تا ۰/۱۱ با مساحتی حدود ۱۹/۷ درصد، معرف اراضی بایر یا با پوشش گیاهی بسیار ضعیف هستند که حدود ۲۲/۷ درصد پیکسل‌های لغزشی حوضه در این کلاس توزیع شده‌اند. مقادیر شاخص ۰/۱۱ تا ۰/۱۷ به‌عنوان اراضی با پوشش گیاهی متوسط، حدود ۳۸/۱ درصد مساحت حوضه را پوشش داده و ۳۱/۴ درصد پیکسل‌های لغزشی در این محدوده قرار دارند. در کلاس با مقادیر NDVI بین ۰/۱۷ تا ۰/۲۴ با حدود ۲۶/۹ درصد مساحت حوضه، تقریباً ۲۵/۹ درصد پیکسل‌های لغزشی حوضه قرار دارند. در کلاس با مقادیر ۰/۲۴ تا ۰/۳۴ و ۰/۳۴ تا ۰/۷۰ که معرف پوشش جنگلی هستند، حدود ۱۹/۹ درصد پیکسل‌های لغزشی قرار گرفته‌اند.



شکل (۴): فاکتورهای مورد استفاده در پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش حوضه زمکان

Figure (4): Factors used in landslide risk zoning of Zamkan area



ادامه شکل (۴): فاکتورهای مورد استفاده در پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش حوضه زمکان

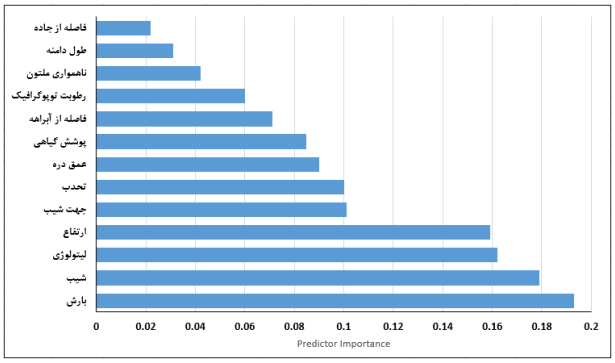
Figure (4). Cont: Factors used in landslide risk zoning of Zamkan area

پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش با استفاده از مدل SVM

در پژوهش حاضر از دو مدل ماشین‌بردار پشتیبان (SVM) و رگرسیون لجستیک برای ترکیب و روی‌هم‌گذاری لایه‌های موضوعی موثر بر خطر وقوع زمین‌لغزش استفاده شد. در مدل SVM چندین تابع وجود دارد که با استفاده از آنها می‌توان نسبت به ارزیابی نقش متغیرهای مختلف در وقوع زمین‌لغزش اقدام نمود. در این تحقیق از چهار تابع شامل تابع خطی (LSVM)، تابع پایه شعاعی (RBF)، تابع پلی‌نومیال[1] و تابع سیگموئید[2] استفاده شد. در شکل‌های (۵) تا (۸) اهمیت هر یک از فاکتورها در وقوع زمین‌لغزش‌های حوضه آبریز زمکان با استفاده از توابع چهارگانه مذکور ارائه شده است.

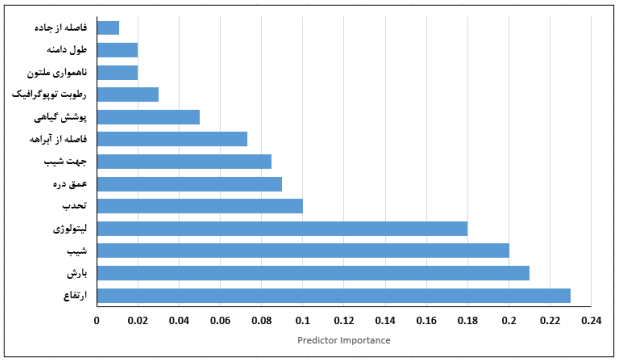
[1] - Polynomial

[2] - Sigmoid



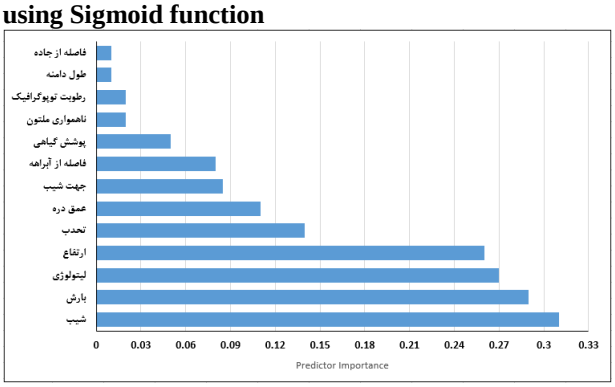
شکل (۵): اهمیت فاکتورهای موثر بر زمین‌لغزش با تابع سیگموئید

Figure (5): Importance of factors affecting landslides using Sigmoid function



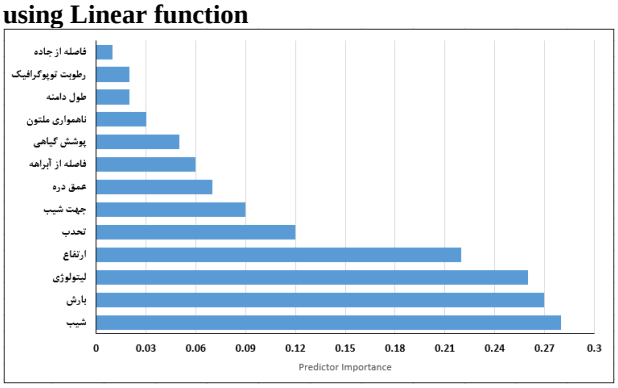
شکل (۶): اهمیت فاکتورهای موثر بر زمین‌لغزش با تابع خطی

Figure (6): Importance of factors affecting landslides using Linear function



شکل (۷): اهمیت فاکتورهای موثر بر زمین‌لغزش با تابع پلی‌نومیال

Figure (7): Importance of factors affecting landslides using Polynomial function



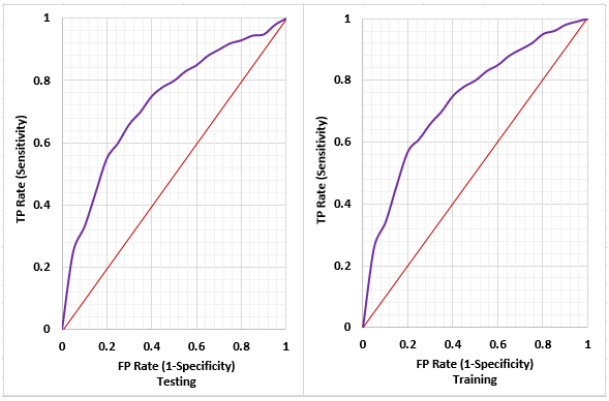
شکل (۸): اهمیت فاکتورهای موثر بر زمین‌لغزش با تابع پایه شعاعی

Figure (8): Importance of factors affecting landslides using Radial base function

به‌منظور اعتبارسنجی توابع مذکور از منحنی مشخصه عملکرد سیستم یا منحنی عملیاتی گیرنده[1](ROC) استفاده شد. منحنی مذکور برای توابع چهارگانه SVM در شکل‌های (۹) تا (۱۲) ارائه شده است. در روی نمودار، قطری که نقاط با مختصات (۰و۰) را به نقطه با مختصات (۱و۱) وصل می‌کند مربع را به دو قسمت کاملاً مساوی تقسیم می‌کند که هر قسمت مساحتی معادل ۰/۵ دارد. زمانی که منحنی ROC منطبق بر خط یک به یک باشد، می‌توان گفت که کارایی مدل در طبقه‌بندی نقاط لغزشی ۵۰ درصد است. حداقل مقدار مساحت زیر منحنی به جای صفر باید عدد ۰/۵ در نظر گرفته شود به‌دلیل اینکه زمانی که این مقدار معادل ۰ باشد به این معنی است که مدل به‌صورت اشتباه طبقه‌بندی را انجام داده است. نقاط بالاتر از خط یک به یک، نشان‌دهنده طبقه‌بندی خوب و نقاط زیر خط نشان‌دهنده طبقه‌بندی نامطلوب هستند. مساحت زیر منحنی[2](AUC) معیاری ترکیبی و موثر برای حساسیت و تشخیص جهت ارزیابی اعتبار یک آزمون تشخیصی است. هر چقدر مساحت زیر منحنی به عدد ۱ نزدیکتر باشد نشان‌دهنده عملکرد بهتر آزمون است. همانگونه که مشخص است تابع پایه شعاعی (RBF) با مساحت زیر منحنی ۰/۹۵۱ (ضریب جینی برابر ۰/۹۰۱) برای آموزش مدل و ۰/۹۴۴ (ضریب جینی برابر ۰/۸۸۸) برای اعتبارسنجی مدل از بالاترین میزان دقت برخوردار است. بدین ترتیب نتایج مدل SVM با استفاده از تابع پایه شعاعی (RBF) به‌عنوان مدل بهینه برای پهنه‌بندی خطر وقوع زمین‌لغزش در سطح حوضه آبریز زمکان مورد استفاده قرار گرفت. در شکل (۱۳) نقشه پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش حوضه آبریز مطالعاتی با استفاده از مدل SVM (تابع پایه شعاعی) ارائه شده است.

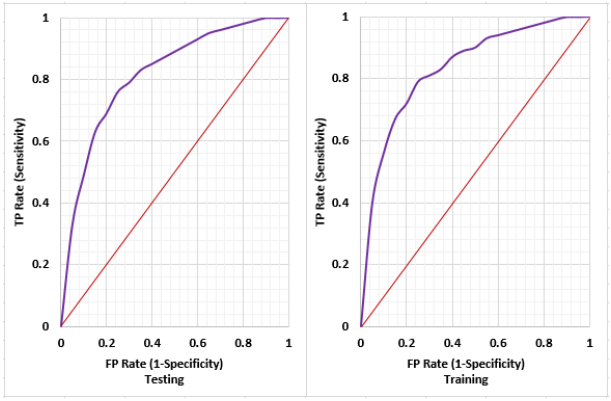
[1] - Receiver operating characteristic

[2] - Area Under Curve



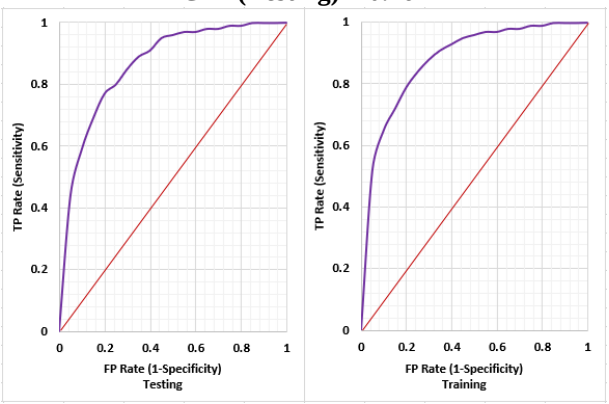
شکل (۹): منحنی ROC تابع سیگموئید

Figure (9): ROC curve of Sigmoid function
AUC (Training) = 0.735
Gini (Training) = 0.470
AUC (Testing) = 0.731
Gini (Testing) = 0.462



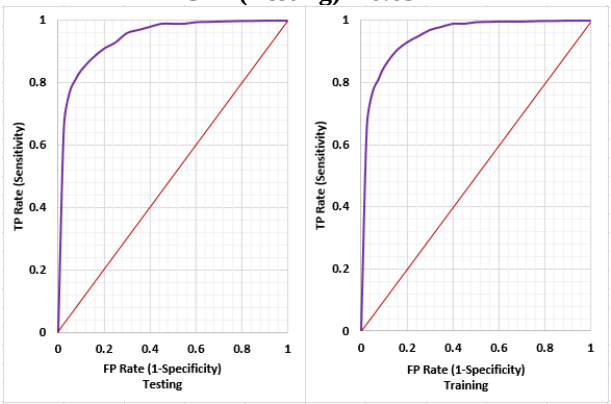
شکل (۱۰): منحنی ROC تابع خطی

Figure (9): ROC curve of Linear function
AUC (Training) = 0.837
Gini (Training) = 0.674
AUC (Testing) = 0.818
Gini (Testing) = 0.637



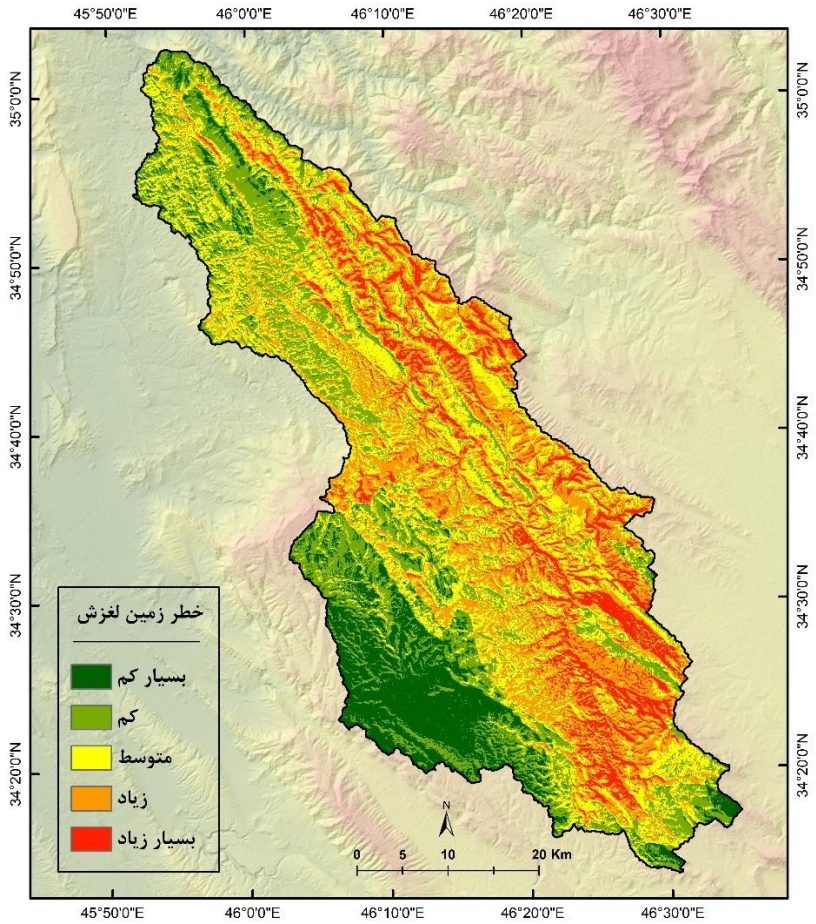
شکل (۱۱): منحنی ROC تابع پلی‌نومیال

Figure (9): ROC curve of Polinomial function
AUC (Training) = 0.885
Gini (Training) = 0.770
AUC (Testing) = 0.866
Gini (Testing) = 0.731



شکل (۱۲): منحنی ROC تابع پایه شعاعی

Figure (9): ROC curve of Radial-based function
AUC (Training) = 0.951
Gini (Training) = 0.901
AUC (Testing) = 0.944
Gini (Testing) = 0.888



شکل (۱۳): پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش حوضه آبریز زمکان با استفاده از مدل ماشین‌بردار پشتیبان (تابع پایه شعاعی)

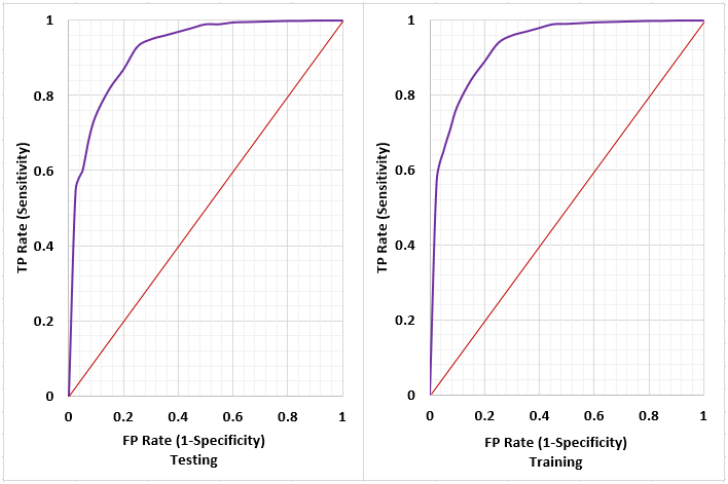
Figure (13): Landslide risk zoning of Zamkan watershed using support vector machine model (radial basis function)

پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش با رگرسیون لجستیک

رگرسیون لجستیک یکی از کارآمدترین مدل‌های آماری چندمتغیره برای ارزیابی و پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش محسوب می‌شود. رگرسیون لجستیک زمانی مورد استفاده قرار می‌گیرد که پاسخ، کیفی و به‌صورت بود و نبود باشد. در رابطه با زمین‌لغزش‌ها، وجود (۱) یا عدم وجود (۰) زمین‌لغزش به‌عنوان مقادیر متغیر وابسته درنظر گرفته می‌شود. هم‌چنین، لایه‌های عاملی موثر بر وقوع زمین‌لغزش در دامنه بین صفر و یک استاندارد شده و به‌عنوان متغیرهای مستقل وارد مدل شدند. معادله رگرسیون وقوع زمین‌لغزش در محدوده حوضه آبریز زمکان به‌صورت رابطه ۹ حاصل شد:

$$\text{Logit (Landslide)} = -10.0674 + 1.9526 * \text{Slope} + 1.8462 * \text{Precipitation} + 1.5421 * \text{Lithology} + 1.2402 * \text{Elevation} + 0.8652 * \text{Convexity} + 0.7763 * \text{Valley depth} + 0.7313 * \text{Aspect} + 0.6521 * \text{NDVI} + 0.5396 * \text{Stream} + 0.4324 * \text{Melton} + 0.2425 * \text{SL factor} + 0.2425 * \text{TWI} + 0.1834 * \text{Road} \quad (۹)$$

منحنی ROC مدل رگرسیون لجستیک برای پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش حوضه مطالعاتی در شکل (۱۴) ارائه شده است. بر این اساس، مساحت زیر منحنی ۰/۹۳۴ (جینی ۰/۸۶۷) برای آموزش مدل و ۰/۹۲۴ (جینی ۰/۸۴۸) برای آزمون مدل حاصل شد که نشان‌دهنده دقت مطلوب مدل رگرسیون لجستیک در پیش‌بینی زمین‌لغزش‌های حوضه زمکان است. در شکل (۱۵) پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش حوضه زمکان بر اساس مدل رگرسیون لجستیک ارائه شده است.



شکل (۱۴): منحنی ROC مدل رگرسیون لجستیک

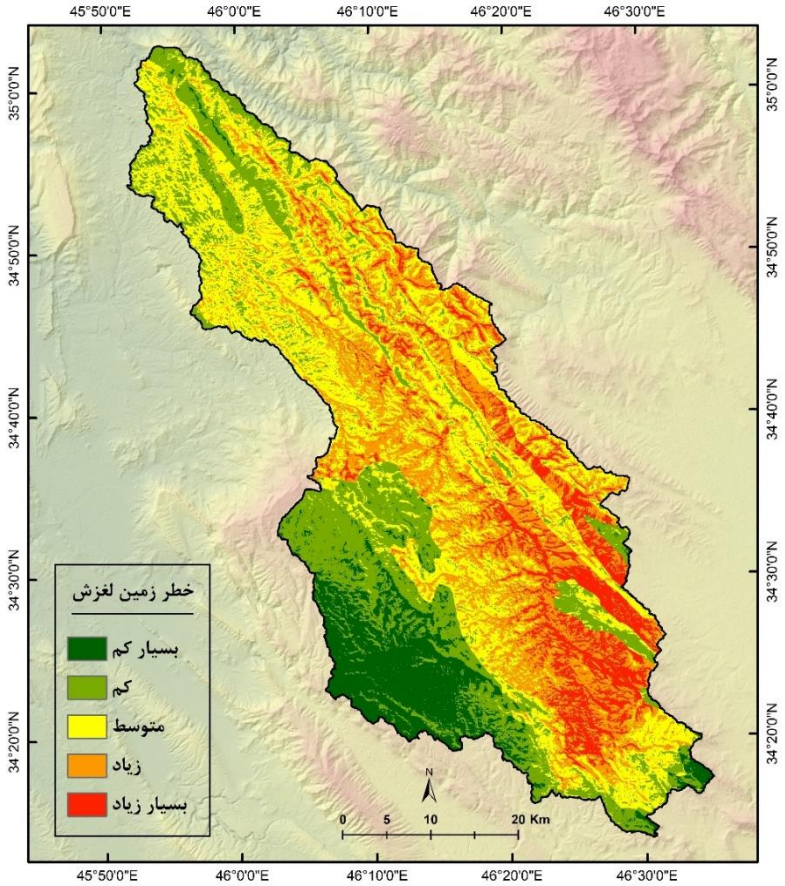
Figure (14): ROC curve of logistic regression model

AUC (Training) = 0.934

Gini (Training) = 0.867

AUC (Testing) = 0.924

Gini (Testing) = 0.848



شکل (۱۵): پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش حوضه آبریز زمکان با استفاده از مدل رگرسیون لجستیک

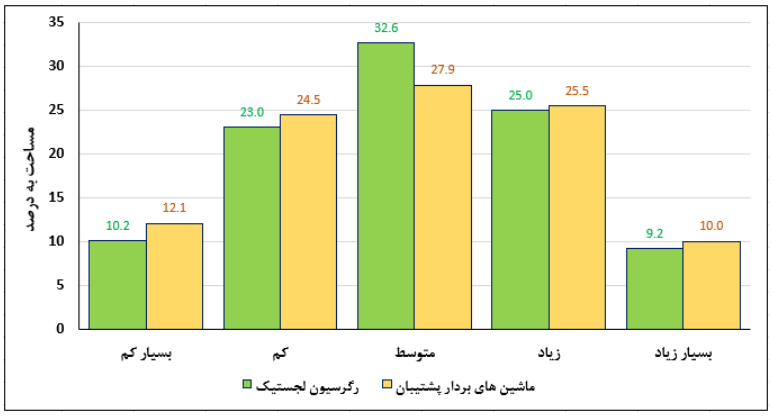
Figure (15): Landslide risk zoning of Zamkan watershed using logistic regression model

یافته‌های حاصل از مدل‌های ماشین‌بردار پشتیبان و رگرسیون لجستیک برای پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش حوضه زمکان را می‌توان به‌صورت زیر خلاصه نمود:

- با توجه به نتایج، چهار متغیر شیب، بارش، لیتولوژی و ارتفاع مهم‌ترین نقش را در وقوع زمین‌لغزش در سطح حوضه مطالعاتی دارند. در مدل رگرسیون لجستیک و تمامی توابع SVM فاکتورهای مذکور از بیش‌ترین میزان اهمیت برخوردار بوده‌اند. در تابع پایه شعاعی مدل SVM (به‌عنوان مطلوب‌ترین تابع) و مدل رگرسیون لجستیک، علی‌رغم اختلاف در دامنه ضرایب، اولویت‌بندی فاکتورهای مذکور یکسان است. در این رابطه، ضریب فاکتور شیب در مدل ماشین‌بردار پشتیبان (تابع پایه شعاعی) حدود ۰/۲۸ و در مدل رگرسیون لجستیک ۱/۹۵ حاصل شده است. با توجه به پرشیب بودن حوضه و تغییرپذیری بالای آن در محدوده حوضه مطالعاتی شرایط مساعدی برای وقوع انواع ناپایداری‌های دامنه‌ای مهیا شده است. ضریب فاکتور بارش در مدل SVM بالغ بر ۰/۲۷ و در رگرسیون لجستیک ۱/۸۵ برآورد شده است. دریافت نزولات جوی حدود ۷۲۸ میلی‌متر در منطقه مطالعاتی به‌دلیل وجود کوهستان‌های مرتفع زاگرس و نفوذ بادهای غربی است که از غرب به شرق دارای روند افزایشی است. بارش‌ها بیش‌تر در فصل‌های زمستان و بهار نازل می‌شوند و تامین رطوب و رواناب، شرایط مناسبی را برای وقوع زمین‌لغزش فراهم می‌سازد. لیتولوژی سومین فاکتور مهم در وقوع زمین‌لغزش‌های حوضه مطالعاتی محسوب می‌شود که ضریب آن در مدل SVM حدود ۰/۲۶ و در رگرسیون لجستیک ۱/۵۴ حاصل شده است. در سطح حوضه آبریز زمکان سازندهای با لایه‌بندی متناوب آهک، مارن، رس و شیل از گستردگی قابل توجهی برخوردارند. سازندهای مذکور شرایط مطلوبی را برای وقوع زمین‌لغرش فراهم می‌سازند. می‌توان گفت در پهنه‌هایی از حوضه مطالعاتی که دارای سازندهای مذکور هستند در صورت مساعدت سایر شرایط از احتمال وقوع بالایی برخوردارند. ارتفاع را می‌توان چهارمین فاکتور مهم موثر بر وقوع زمین‌لغزش به‌حساب آورد که ضریب آن در مدل‌های SVM و رگرسیون لجستیک به‌ترتیب ۰/۲۲ و ۱/۲۴ برآورد شده است. ارتفاع، بسیاری از ویژگی‌های محیطی منطقه را به‌صورت مستقیم و غیرمستقیم تحت تاثیر قرار می‌دهد.

- مطابق با مدل‌های ماشین‌بردار پشتیبان و رگرسیون لجستیک چهار فاکتور ناهمواری ملتون، طول دامنه، رطوبت توپوگرافیک و فاصله از جاده از کم‌ترین میزان اهمیت در وقوع زمین‌لغزش‌های حوضه زمکان برخوردارند که به‌عنوان فاکتورهای مساعدکننده زمین‌لغزش عمل می‌کنند. اثرگذاری فاکتورهایی مانند ناهمواری ملتون، طول دامنه و رطوبت توپوگرافیک توسط سایر فاکتورها محدود و خنثی شده‌اند. به‌عنوان مثال، به کاهش تاثیر ناهمواری ملتون و طول دامنه توسط رخنمون سازندهای مقاوم و یا خنثی شدن اثر رطوبت توپوگرافیک توسط پوشش گیاهی اشاره نمود.

- اثرگذاری سایر فاکتورها تحدب سطح زمین، جهت شیب، عمق دره، فاصله از آبراهه و پوشش گیاهی به‌عنوان فاکتورهای محدودکننده یا تشدیدکننده وقوع زمین‌لغزش محسوب می‌شوند. فاکتور تحدب سطح زمین نقش قابل توجهی در نفوذپذیری، تجمع رطوبت و هم‌چنین هوازدگی سنگ‌ها و تشکیل خاک برعهده دارد و بدین ترتیب جزء فاکتورهای با ضریب تاثیر نسبتاً بالا به‌شمار می‌رود. در این رابطه، ضریب این فاکتور در مدل SVM بالغ بر ۰/۱۲ و در رگرسیون لجستیک ۰/۸۶۵ حاصل شده است. جهت شیب می‌تواند به‌صورت محلی ویژگی‌های محیطی منطقه را تحت تاثیر قرار دهد. در این مورد می‌توان به عمق زیاد مواد هوازده، رطوبت بالا و پوشش گیاهی متراکم در دامنه‌های شمالی و تجمع زمین‌لغزش‌ها در دامنه‌های شمالی اشاره نمود. هر چه عمق دره بیش‌تر باشد زمین‌لغزش‌ها می‌توانند بخش‌های قابل توجهی از پایین‌دست لغزش را تحت تاثیر قرار دهند. در خصوص فاصله از آبراهه، پهنه‌های مجاور رودخانه‌ها در صورت مساعد بودن سایر شرایط (مخصوصا شیب و لیتولوژی) از پهنه‌های مستعد زمین‌لغزش به‌شمار می‌روند که در ارتباط با فرایندهای فرسایش مواد کناره و زیربری دامنه‌ها است. در حوضه زمکان پوشش گیاهی، مخصوصا به‌صورت جنگل‌های بلوط، به‌عنوان عامل تثبیت و پایدارسازی دامنه‌ها عمل می‌کند. در این رابطه، بخش قابل توجهی از زمین‌لغزش‌های حوضه مطالعاتی در اراضی با پوشش گیاهی ضعیف اتفاق افتاده‌اند. درصد مساحت کلاس‌های خطر زمین‌لغزش حوضه زمکان با کاربست مدل SVM و رگرسیون لجستیک در شکل ۱۶ ارائه شده است.



شکل (۱۶): درصد مساحت کلاس‌های خطر زمین‌لغزش حوضه زمکان با کاربست مدل SVM و رگرسیون لجستیک

Figure (16): Area percentage of landslide risk classes of Zamkan basin using SVM model and logistic regression

- مساحت کلاس‌های با خطرپذیری زیاد و بسیار زیاد در دو مدل ماشین‌بردار پشتیبان و رگرسیون لجستیک تقریبا مشابه هم است. در این رابطه، بالغ بر ۳۵ درصد مساحت حوضه مطالعاتی در کلاس خطرپذیری زیاد و بسیار زیاد قرار گرفته است. این پهنه‌ها عمدتاً در نیمه شرقی حوضه توزیع شده‌اند. در پهنه‌های منطبق بر خطرپذیری زیاد و بسیار زیاد توزیع مکانی فاکتورهای مذکور به گونه‌ای است که شرایط مناسبی را برای وقوع زمین‌لغزش فراهم می‌سازند. در این رابطه می‌توان به ارتفاع زیاد، غلبه شیب‌های متوسط تا تند، دریافت نزولات جوی فراوان و رخنمون گسترده سنگ‌های آهکی با میان‌لایه‌های رسی، مارنی و شیلی اشاره نمود. سایر فاکتورها مانند تحدب سطح زمین، جهت شیب و فاصله از آبراهه نیز در پهنه‌های مذکور به‌عنوان فاکتورهای مساعدکننده زمین‌لغزش محسوب می‌شود.

نتیجه‌گیری

در پژوهش حاضر خطر وقوع زمین‌لغزش در سطح حوضه آبریز زمکان با کاربست مدل‌های ماشین‌بردار پشتیبان (SVM) و رگرسیون لجستیک مورد ارزیابی قرار گرفت. بدین منظور از لایه سیاهه زمین‌لغزش به‌عنوان متغیر وابسته و ۱۳ لایه موضوعی تحت عنوان متغیرهای مستقل استفاده شد. لایه‌های موضوعی مذکور عبارتنداز: ارتفاع، شیب، جهت شیب، عدد ناهمواری ملتون، تحدب سطح زمین، طول دامنه، عمق دره، رطوبت توپوگرافیک، بارش، سازندهای زمین‌شناسی، فاصله از آبراهه، فاصله از جاده و پوشش گیاهی. نتایج نشان‌دهنده کارایی مطلوب مدل‌های مورد استفاده در پهنه‌بندی خطر وقوع زمین‌لغزش حوضه زمکان است. در این رابطه تابع پایه شعاعی (RBF) مدل ماشین‌بردار پشتیبان با مساحت زیر منحنی ۰/۹۵۱ و جینی ۰/۹۰۱ برای آموزش مدل و ۰/۹۴۴ و جینی ۰/۸۸۸ برای اعتبارسنجی مدل از بالاترین میزان دقت برخوردار است. در رابطه با مدل رگرسیون لجستیک مساحت زیر منحنی ۰/۹۳۴ و جینی ۰/۸۶۷ برای آموزش مدل و ۰/۹۲۴ و جینی ۰/۸۴۸ برای اعتبارسنجی مدل حاصل شد که نشان می‌دهد مدل رگرسیون لجستیک نیز در پیش‌بینی زمین‌لغزش‌های حوضه زمکان از کارایی مطلوبی برخوردار است. با این حال، ترجیحاً نقشه پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش حاصل از تابع پایه شعاعی مدل SVM به‌دلیل دقت بالاتر پیشنهاد شد. نتایج حاصل از هر دو مدل مذکور بیانگر این است که به‌ترتیب فاکتورهای شیب، بارش، لیتولوژی و ارتفاع مهم‌ترین فاکتورهای موثر در وقوع زمین‌لغزش‌های حوضه آبریز زمکان هستند. فاکتورهای مذکور شرایط اولیه و ضروری وقوع ناپایداری‌های دامنه‌ای به‌صورت زمین‌لغزش را فراهم می‌سازند. حوضه زمکان بخش‌هایی از دامنه‌های غربی رشته‌کوه‌های زاگرس را زهکشی می‌کند. ارتفاع زیاد، درجه ناهمواری بالا، بارش قابل توجه و رخنمون گسترده سازندهای با لایه‌های متناوب آهک، مارن، رس و شیل از اختصاصات زمین‌شناسی، ژئومورفولوژیکی و اقلیمی حوضه مطالعاتی است که شرایط مساعدی را برای وقوع زمین‌لغزش فراهم می‌سازند. اثرگذاری سایر فاکتورها عمدتاً به‌صورت محلی بوده و به‌عنوان عوامل محدودکننده یا تشدیدکننده زمین‌لغزش مطرح هستند. براساس نقشه پهنه‌بندی زمین‌لغزش با کاربست مدل‌های ماشین‌بردار پشتیبان و رگرسیون لجستیک بالغ بر ۳۵ درصد مساحت حوضه مطالعاتی در کلاس خطرپذیری زیاد و بسیار زیاد قرار گرفته است. پهنه‌های مذکور عمدتاً در نیمه شرقی

حوضه توزیع شده‌اند. شیب و ارتفاع زیاد، دریافت نزولات جوی قابل توجه و رخنمون وسیع سازند کژدمی با تناوبی از لایه‌های آهکی، رسی، مارنی و شیلی مهم‌ترین دلایل خطرپذیری بالای پهنه‌های مذکور نسبت به زمین‌لغزش هستند.

References

Abdollahzadeh, A., Ownegh, M., Sadoddin, A., & Mostafazadeh, R. (2016). Comparison of two landslide-prone area determination methods in Ziarat Watershed, Golestan Province. Emergency Management, 5(1), 5-13.

Abedini, M., Ghasemian, B., Shirzadi, A., Shahabi, H., Chapi, K., Pham, B. T., ... & Tien Bui, D. (2019). A novel hybrid approach of bayesian logistic regression and its ensembles for landslide susceptibility assessment. Geocarto International, 34(13), 1427-1457.

Aditian, A., Kubota, T., & Shinohara, Y. (2018). Comparison of GIS-based landslide susceptibility models using frequency ratio, logistic regression, and artificial neural network in a tertiary region of Ambon, Indonesia. Geomorphology, 318, 101-111.

Aghayary, L., Asghari Saraskanrood, S., & Zeynali, B. (2024). Identification and zoning of landslide prone areas in Germi city. Hydrogeomorphology, doi: 10.22034/hyd.2024.58703.1709

Alaei Taleghani, M. 2007. Geomorphology of Iran, Ghoomes publ. Tehran. 360p.

Asghari, S., Hasan Zadeh, R., & Raoofi, S. (2020). Investigation of factors Influencing rock fall and Its zoning with logistic regression in Ali Bayad basin of Horand, Hydrogeomorphology, 7(23), 38-21.

Ayalew, L., & Yamagishi, H. (2005). The application of GIS-based logistic regression for landslide susceptibility mapping in the Kakuda-Yahiko Mountains, Central Japan. Geomorphology, 65(1-2), 15-31.

Bai, S., Wang, J., Zhang, Z., & Cheng, C. (2012). Combined landslide susceptibility mapping after Wenchuan earthquake at the Zhouqu segment in the Bailongjiang Basin, China. Catena, 99, 18-25.

Cao, J., Zhang, Z., Wang, C., Liu, J., & Zhang, L. (2019). Susceptibility assessment of landslides triggered by earthquakes in the Western Sichuan Plateau. Catena, 175, 63-76.

Chen, W., Zhang, S., Li, R., & Shahabi, H. (2018). Performance evaluation of the GIS-based data mining techniques of best-first decision tree, random forest, and naïve Bayes tree for landslide susceptibility modeling. Science of The Total Environment, 644, 1006-1018.

Chen, Z., Ye, F., Fu, W., Ke, Y., & Hong, H. (2020). The influence of DEM spatial resolution on landslide susceptibility mapping in the Baxie River basin, NW China. Natural Hazards, 101, 853-877.

Colkesen, I., Sahin, E. K., & Kavzoglu, T. (2016). Susceptibility mapping of shallow landslides using kernel-based Gaussian process, support vector machines and logistic regression. Journal of African Earth Sciences, 118, 53-64.

Dang, V. H., Hoang, N. D., Nguyen, L. M. D., Bui, D. T., & Samui, P. (2020). A novel GIS-based random forest machine algorithm for the spatial prediction of shallow landslide susceptibility. Forests, 11(1), 118.

Dou, J., Yunus, A. P., Bui, D. T., Merghadi, A., Sahana, M., Zhu, Z., ... & Pham, B. T. (2020). Improved landslide assessment using support vector machine with bagging, boosting, and stacking ensemble machine learning framework in a mountainous watershed, Japan. Landslides, 17, 641-658.

Esfandiary Darabad, F., Rahimi, M., Navidfar, A., & Arsalan, M. (2020). Assessment of landslide sensitivity by neural network method and vector machine algorithm (Case study: Heyran Road-Ardebil province). Quantitative Geomorphological Research, 9(3), 18-33 .

Ghorbani, A., Mostafazadeh, R., Zabihi, M., & Jafari Roodsari, M. (2023). GIS-based Determining the Landslide Hotspot Occurrence using Getis-Ord Index in Gharnaveh Watershed, Golestan Province. Hydrogeomorphology, 10(36), 18-1.

Guzzetti, F., Reichenbach, P., Cardinali, M., Galli, M., & Ardizzone, F. (2005). Probabilistic landslide hazard assessment at the basin scale. Geomorphology, 72(1-4), 272-299.

Karami, F., Bayati Khatibi, M., Kheirizadeh, M., & Mokhtari Asl, A. (2020). Evaluation of performance of support vector machine algorithm in landslide susceptibility zoning in Ahar-chai Basin. Journal of Geography and Environmental Hazards, 8(4), 1-17 .

Lee, S., Won, J. S., Jeon, S. W., Park, I., & Lee, M. J. (2015). Spatial landslide hazard prediction using rainfall probability and a logistic regression model. Mathematical Geosciences, 47, 565-589.

Li, Y., Liu, X., Han, Z., & Dou, J. (2020). Spatial proximity-based geographically weighted regression model for landslide susceptibility assessment: a case study of Qingchuan area, China. Applied Sciences, 10(3), 1107.

Luo, X., Lin, F., Chen, Y., Zhu, S., Xu, Z., Huo, Z., ... & Peng, J. (2019). Coupling logistic model tree and random subspace to predict the landslide susceptibility areas with considering the uncertainty of environmental features. Scientific reports, 9(1), 15369.

Najafi Eigdir, A., & roostaei, S. (2020). Prioritization of affecting factors on the landslide occurrence using the logistic regression model (Case study: Nazlochai basin). Hydrogeomorphology, 7(23), 81-59. doi: 10.22034/hyd.2020.11161

Oh, H. J., & Pradhan, B. (2011). Application of a neuro-fuzzy model to landslide-susceptibility mapping for shallow landslides in a tropical hilly area. Computers & Geosciences, 37(9), 1264-1276.

Panahi, M., Gayen, A., Pourghasemi, H. R., Rezaie, F., & Lee, S. (2020). Spatial prediction of landslide susceptibility using hybrid support vector regression (SVR) and the adaptive neuro-fuzzy inference system (ANFIS) with various metaheuristic algorithms. Science of the Total Environment, 741, 139937.

Reichenbach, P., Rossi, M., Malamud, B. D., Mihir, M., & Guzzetti, F. (2018). A review of statistically-based landslide susceptibility models. Earth Science Reviews, 180, 60-91.

Saha, S., Roy, J., Hembram, T. K., Pradhan, B., Dikshit, A., Abdul Maulud, K. N., & Alamri, A. M. (2021). Comparison between deep learning and tree-based machine learning approaches for landslide susceptibility mapping. Water, 13(19), 2664.

Schicker, R., & Moon, V. (2012). Comparison of bivariate and multivariate statistical approaches in landslide susceptibility mapping at a regional scale. Geomorphology, 161, 40-57.

Sepahvand, A., & Beiranvand, N. (2023). Application of the various soft computing techniques for Landslide susceptibility mapping (Case study: A part of Haraz Watershed). Water and Soil Management and Modelling, In Press doi: 10.22098/mmws.2023.12678.1263

Talebi Khiavi, H., & Mostafazadeh, R. (2022). The spatiotemporal dependencies of terrain indices with soil characteristics in a steep hillslope mountainous area. Arabian Journal of Geosciences, 15(10), 937.

Tanyas, H., Rossi, M., Alvioli, M., van Westen, C. J., & Marchesini, I. (2019). A global slope unit-based method for the near real-time prediction of earthquake-induced landslides. Geomorphology, 327, 126-146.

Tsangaratos, P., Ilia, I., Hong, H., Chen, W., & Xu, C. (2017). Applying Information Theory and GIS-based quantitative methods to produce landslide susceptibility maps in Nancheng County, China. Landslides, 14, 1091-1111.

Wang, Y., Fang, Z., & Hong, H. (2019). Comparison of convolutional neural networks for landslide susceptibility mapping in Yanshan County, China. Science of the total environment, 666, 975-993.

Wang, Z., & Brenning, A. (2021). Active-learning approaches for landslide mapping using support vector machines. Remote Sensing, 13(13), 2588.

Xu, C., Dai, F., Xu, X., & Lee, Y. H. (2012). GIS-based support vector machine modeling of earthquake-triggered landslide susceptibility in the Jianjiang River watershed, China. Geomorphology, 145, 70-80.

Yang, Y., Yang, J., Xu, C., Xu, C., & Song, C. (2019). Local-scale landslide susceptibility mapping using the B-GeoSVC model. Landslides, 16, 1301-1312.

Zhao, S., & Zhao, Z. (2021). A Comparative Study of Landslide Susceptibility Mapping Using SVM and PSO-SVM Models Based on Grid and Slope Units. Mathematical Problems in Engineering, 2021(1), 8854606.

Zhao, X., & Chen, W. (2020). Optimization of computational intelligence models for landslide susceptibility evaluation. Remote Sensing, 12(14), 2180.

Hydrogeomorphology Vol. 10, No. 40, 2024

Research Paper

Evaluating Flooding Nodes of Drainage Network in Hamedan City Using the SWMM Model

Sepideh Siyouti,[1] Alireza Ildoromi*[2], Behnoush Farrokhzadeh[3]

1. M.A. of Watershed Sciences and Engineering, Faculty of Natural Resources and Environment, Malayer University, Malayer, Iran. Ildoro mi@gmail.com
2. Professor of Natural Engineering Department, Faculty of Natural Resources and Environment, Malayer University, Malayer, Iran. sepidesiyooti72@gmail.com
3. Assistant Professor, Natural Engineering Department, Faculty of Natural Resources and Environment, Malayer University, Malayer, Iran. sepidesiyooti72@gmail.com

Keywords

precipitation -runoff modeling , SWMM model, urban watershed, SCS method, Hamadan city.

Received: 2024/05/18
Accepted: 2024/07/06
Published: 2024/10/21

ABSTRACT

Te Currently, one of the major problems of industrial and urban societies is the occurrence of floods and the collection of urban runoff, which requires the calculation of the amount of runoff from urban watersheds and the use of advanced models.In this research, the flood control nodes of the drainage network in Khako (Faqhireh-Khizr) urban area of Hamedan were measured and evaluated using the SWMM model.First, the equivalent width parameters, the percentage of impervious areas, pond storage, the roughness coefficient of the areas within the range of permissible range changes, were calculated in the soil area, and then in order to simulate and calibrate the model in the SCS and Horton methods, in the conditions before and after calibration, the coefficient Nash-Sutcliffe efficiency was used.The results showed that the infiltration and runoff height of the project in SCS method are equal to 50.86 and 16.14 mm, respectively and indicates that the SCS method evaluates the values of infiltration and runoff for Hamedan urban watershed more accurately and has an acceptable efficiency.The results show that out of the total rainfall of 120 mm, 33 mm is related to infiltration losses and 87 mm is related to surface runoff, and the volume of flow is equal to 2.41 million cubic meters, of which 1.98 million cubic meters is related to Faqireh sub-basin and 0.43 million cubic meters is related to Khizr sub-region.According to the efficiency coefficient of NS, which is calculated for the peak flow rate of 0.66 and for the flood volume of 0.73, these numbers are acceptable.The results showed that the highest amount of project rainfall runoff with 1.28 million cubic meters is related to Faqirah sub-basin due to the physical development of Hamadan city in recent years in this sub-basin and the lowest amount with 0.46 million cubic meters is related to Khizrkhako sub-basin that the reasons for the decrease in runoff production in the Khako urban watershed, we can point out the presence of natural cover, increased infiltration, and pond storage.The results of this research showed that residential uses have the largest share in the flood potential of the study area.

* Corresponding Author: Alireza Ildoromi
E-mail: Ildoromi@gmail.com

How cite to this article: Siyouti, Sepideh; Ildoromi, Alireza; Farrokhzadeh, Behnoush; (2024). Evaluating Flooding Nodes of Drainage Network in Hamedan City Using the SWMM Model. Hydrogeomorphology, 11(40): 143–164.

DOI: 10.22034/hyd.2024.61703.1740

Copyright: ©2024 by the authors. Publisher: University of Tabriz

Introduction

The development of urban watershed basins results in more complex hydrological behaviors compared to natural basins; for this, understanding their hydrological responses would provide a better flooding control design (Ghaderi-Dehkordi et al., 2020). Moreover, integrated watershed basin management will ensure the optimal use of water and soil resources in natural and unnatural ecosystems. To meet this goal, there is a need for comprehensive data from different management and executives, as well as ecological approaches to watershed basins (Yar Ahmadi et al., 2019). Over the last decades, the fast pace of population growth and urban development has led to increased urban runoff and caused various bio-environmental problems, such as pathway flooding and inundation across cities. Currently, understanding the factors involved and sensitivity analysis is a method to demonstrate which model input parameters will have greater impacts on results (Shahbazi et al., 2017). In a natural watershed basin, a larger part of the land surface is pervious and covered by vegetation; in an urban watershed basin, however, the basin's impervious surface increases due to urbanization, consequently causing an increase in the volume of runoff and peak discharge, erosion and water quality degradation (Nasehpour et al., 2020). In this connection, urban runoff modeling is a major stride to understanding urban flooding. Zeng et al. (2020) designed and implemented a SWMM model-based framework for managing urban runoffs. Findings showed that the model can present the calculations in real time, accurately and consistently, and be effectively applied in the momentary management of urban runoffs. Brown et al. (2021) investigated the effects of runoff management in small cities using the SWMM model, demonstrating that land use changes would lead to hydrological changes within the city and thus aggravate climatic changes.

Methodology

Iran's Hamedan City is situated in the foothills of the Alvand mountain, whose most important inter-city sub-basin is the Khakou River, which includes a major intra-city district of Khizr and an inter-regional district of Faqirah. In this study, the flooding nodes of the drainage network in the Khakou urban basin (Faqirah-Khizr) of Hamedan were calibrated and evaluated by using the SWMM model. At first, equivalent width parameters, impervious area percentages, depression storage, and the roughness coefficient of areas within allowable range changes in the Khakou basin were calculated; then the Nash-Sutcliffe efficiency coefficient was used to simulate and calibrate the model in two SCS and Horton methods before and after calibration.

Results and Discussion

Findings indicated that the values of permeation and the precipitation-runoff height in the area under study in the SCS method were 50.86 and 16.14 mm, respectively, suggesting that the SCS method can evaluate the values of permeation and runoff of Hamedan's urban watershed more accurately and thus enjoy acceptable efficiency. Results showed that out of the total 120-mm precipitation, 33 mm pertained to permeation losses and 87 mm to surface runoff, with the equivalent flow volume being 2.41 million m^3, 1.98 million m^3 of which pertains to the Faqirah sub-basin and 0.43 million m^3 pertains to the Khizr sub-basin. According to the NS efficiency coefficient, calculated to be 0.66 and 0.73 for the peak discharge and the volume of flooding, respectively, which show acceptable results, the findings indicated that the highest volume of precipitation runoff in the area under study pertained to the Faqirah sub-basin at 1.28 million m^3 due to the physical development of Hamedan City over the last years. Meanwhile, the lowest volume pertained to the Khizr-Khakou sub-basin at 0.46 million m^3. In this connection, the decreased runoff production at the Khakou urban watershed is due to the presence of vegetation, increased permeation, and depression storage.

Conclusions

Integrated watershed management involves numerous measures which eventually lead to sustainable development. This requires an all-out and accurate approach to the processes inside and outside the watershed basin. For this, it is essential to take an appropriate approach to runoff management, especially at the changed and developed levels of land uses, including urban land uses, using a combination of goals and strategies. As one of the most advanced methods in flooding analysis, the SWMM model was developed for Hamedan's Khakou urban sub-basin. Findings indicated that residential land uses contributed most to the area's flooding potential, as the impervious area of the urban watersheds of Faqirah and Khizr accounted for 65% and 50%, respectively. This study concluded that in the urban watershed of Faqirah around 35% of the precipitation pertained to permeation and evapotranspiration. Therefore, as the impervious surface, including construction land uses and asphalt of roads and streets, increased, the potential of runoff production increased. Field observations suggested that in recent years the physical development of Hamedan City has been one of the causes of increased impervious surfaces and increased runoffs. In sum, findings showed that the growing expansion of Hamedan's urban districts and the loss of agricultural lands, as well as the increased area of impervious lands, could increase the volume and height of the runoffs caused by precipitation in the urban area.

مقاله پژوهشی

ارزیابی گره‌های سیل‌گیر شبکه زهکشی شهر همدان با استفاده از مدل SWMM

سپیده صیوتی[۱]، علیرضا ایلدرمی[۲]، بهنوش فرخ زاده[۳]

۱ - کارشناسی ارشد علوم و مهندسی آبخیز، دانشکده منابع طبیعی و محیط زیست، دانشگاه ملایر، ملایر، ایران. sepidesiyooti72@gmail.com
۲- استاد گروه مهندسی طبیعت، دانشکده منابع طبیعی و محیط زیست، دانشگاه ملایر، ملایر، ایران. Ildoromi@gmail.com
۳ - استادیار گروه مهندسی طبیعت، دانشکده منابع طبیعی و محیط زیست، دانشگاه ملایر، ملایر، ایران. be_farokhzadeh@yahoo.com

کلیدواژه‌ها

مدلسازی بارش-رواناب، مدل SWMM، آبریز شهری، روش SCS، شهر همدان.

چکیده

در حال حاضر یکی از مشکلات عمده جوامع صنعتی و شهری، وقوع سیلاب و جمع‌آوری رواناب‌های شهری است، که مستلزم محاسبه میزان رواناب از آبریزهای شهری و بکارگیری مدل‌های پیشرفته است. در این پژوهش گره‌های سیل‌گیر شبکه زهکشی در حوضه شهری خاکو (فقیره – خضر) همدان با استفاده از مدل SWMM واسنجی و ارزیابی شد. ابتدا پارامترهای عرض معادل، درصد مناطق نفوذناپذیر، ذخیره چالابی، ضریب زبری مناطق در بازه تغییرات دامنه مجاز، در حوضه خاکو محاسبه و سپس به منظور شبیه‌سازی و واسنجی مدل در دو روش SCS و هورتون در شرایط قبل و بعد از واسنجی نیز از ضریب کارایی ناش-ساتکلیف استفاده گردید. نتایج نشان داد مقادیر نفوذ و ارتفاع رواناب بارش طرح در روش SCS به ترتیب برابر ۵۰/۸۶ و ۱۶/۱۴ میلی‌متر می‌باشد و بیانگر این است که روش SCS مقادیر نفوذ و رواناب را برای آبریز شهری همدان دقیق‌تر ارزیابی نموده واز کارایی قابل قبولی برخوردار است. نتایج نشان می‌دهد که از کل بارش ۱۲۰ میلی-متری، مقدار ۳۳ میلی‌متر مربوط به تلفات نفوذ و ۸۷ میلی‌متر مربوط به رواناب سطحی بوده و حجم جریان معادل ۲/۴۱ میلیون مترمکعب می باشد که ۱/۹۸ میلیون مترمکعب مربوط به زیرحوضه فقیره و ۰/۴۳ میلیون مترمکعب مربوط به زیرحوضه خضر است. با توجه به ضریب کارایی NS که برای دبی اوج ۰/۶۶و برای حجم سیلاب ۰/۷۳محاسبه شده و اعداد قابل قبولی است. نتایج نشان داد که بیشترین مقدار حجم رواناب بارش طرح با ۱/۲۸ میلیون متر مکعب مربوط به زیرحوضه فقیره به دلیل توسعه فیزیکی شهر همدان در سال‌های اخیر در این زیرحوضه و کمترین مقدار با ۰/۴۶میلیون مترمکعب مربوط به زیرحوضه خضرخاکو است که از دلایل کاهش تولید رواناب در آبریز شهری خاکو می‌توان به وجود پوشش طبیعی، افزایش نفوذ و ذخیره چالابی اشاره نمود. نتایج این پژوهش نشان داد که کاربری‌های مسکونی بیشترین سهم را در پتانسیل سیل-خیزی محدوده مطالعاتی دارد.

تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۰۲/۲۹
تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۰۴/۱۶
تاریخ انتشار: ۱۴۰۳/۰7/30

*نویسنده مسئول: علیرضا ایلدرمی
رایانامه: Ildoromi@gmail.com

ارجاع به این مقاله: صیوتی، سپیده؛ ایلدرمی، علیرضا؛ فرخزاده، بهنوش (۱۴۰۳). ارزیابی گره‌های سیل‌گیر شبکه زهکشی شهر همدان با استفاده از مدل SWMM هیدروژئومورفولوژی، ۱۱(۴۰): ۱۶۴ – ۱۴۳.
DOI:10.22034/hyd.2024.61703.1740

Copyright: ©2024 by the authors. Publisher: University of Tabriz

مقدمه

پراکنش نامناسب زمانی و مکانی بارش در مناطق خشک و نیمه‌خشک علاوه بر ایجاد سیلاب‌های مخرب موجب هدر رفتن آب‌های سطحی می‌شود که مهار و بهره‌برداری مناسب از آن می‌تواند راهکار مناسبی برای جلوگیری از هدر رفت خاک و آب باشد (احمدزاده و همکاران[1] ۲۰۱۴: ۳). در این میان آب‌گرفتگی در مناطق شهری در نتیجه ایجاد نقص و یا هر نوع ناکارآمدی در سیستم‌ها و گره‌های زهکشی شهری موجب وارد شدن خسارات زیادی به ساختمان‌ها و دیگر زیرساخت‌های عمومی و خصوصی می‌شود (اسمیت و همکاران[2] ۲۰۰۴: ۵). بعلاوه در دهه‌های اخیر رشد سریع شهرها به سمت حوضه‌های آبریز بالادست، فرآیندهای بارش-رواناب را در حوضه‌های شهری به شدت تحت تاثیر قرار داده است. به‌همین دلیل، برای نشان دادن این فرآیندها، یا ارزیابی سیستم‌های شبکه زهکشی شهری موجود به مدل‌های رایانه‌ای توجه خاصی شده است (پایک و همکاران[3] ۲۰۱۱: ۲). از طرف دیگر وضعیت ظاهری پیچیده مناطق شهری، فقدان داده هیدرولوژیکی دقیق، نیاز به نقشه‌های با قدرت تفکیک بالا و نبود نقشه‌های شبکه زهکشی مناسب، شبیه‌سازی فرآیندهای آب گرفتگی شهری را مشکل کرده است. لذا استفاده از روش‌هایی که با صرف وقت و هزینه کمتر و عدم نیاز به اطلاعات ورودی زیاد بتوان به نتایج قابل قبولی دست یافت ضروری است (روسمان و همکاران[4]۲۰۱۳: ۴).

بررسی‌ها نشان می‌دهد که حوضه‌های آبریز شهری به دلیل توسعه، دارای رفتار هیدرولوژیکی پیچیده‌تری نسبت به حوضه‌های طبیعی هستند که شناخت پاسخ هیدرولوژیکی آن‌ها به طراحی مناسب و کنترل سیلاب کمک خواهد کرد (قادری دهکردی و همکاران، ۲۰۱۹: ۴). بعلاوه مدیریت یکپارچهٔ حوضه‌های آبریز، تضمین‌کنندهٔ استفادهٔ بهینه از منابع آب و خاک در اکوسیستم‌های طبیعی و غیرطبیعی بوده که برای رسیدن به این هدف، به اطلاعات جامعی از رویکردهای متفاوت مدیریتی و اجرایی و نیز ویژگی‌های فیزیکی، اقتصادی - اجتماعی و اکولوژیک حوضه‌های آبریز نیاز است (یاراحمدی و همکاران[5]،۲۰۲۰: ۳). در طی چند دهه گذشته با توجه به رشد سریع جمعیت و توسعه ی شهری، رواناب شهری افزایش یافته و منجر به مشکلات محیط زیستی مختلفی از جمله آب گرفتگی معابر سطح شهر، انتشار آلودگی‌های زیست‌محیطی و خطرات ناشی از گسترش سیلاب شده است. در این رابطه تحلیل حساسیت روشی است برای نشان دادن این که کدام یک از پارامترها ورودی مدل تأثیر بیشتری بر نتایج اعمال می‌کند (شهبازی و همکاران[6]،۲۰۱۶: ۶). در بررسی ها مشخص شده در یک حوضه آبریز طبیعی بیشتر سطح زمین نفوذپذیر و به وسیله پوشش گیاهی پوشیده شده، به‌همین جهت مقدار زیادی از بارش از طریق نفوذ در خاک و تبخیر و تعرق از دست می‌رود. اما در یک حوضه آبریز شهری به‌دلیل شهرسازی، سطح نفوذ ناپذیر حوضه افزایش می‌یابد که افزایش حجم رواناب و دبی اوج، فرسایش و کاهش سطح آب زیرزمینی را به دنبال دارد (ناصح‌پور و همکاران، ۲۰۱۹: ۴). در حال حاضر ارزیابی تغییرات هیدرولوژیکی در حوضه‌های شهری ناشی از عدم اطمینان به شرایط اقلیمی مربوط به ارزیابی ریسک در مدیریت رواناب شهری است (والش و همکاران[7] ۲۰۱۶: ۵) و از طرف دیگر توسعه شهرنشینی در حال حاضر باعث افزایش سطوح نفوذناپذیر و تغییر در سیستم زهکشی طبیعی شده و این تغییرات در ویژگی‌های مورفولوژی مناطق شهری منجر به افزایش دبی اوج و رواناب شهری شده است (لیو و همکاران[8] ۲۰۱۹: ۷). در دهه اخیر به دلیل بروز مشکلات ناشی از سیلاب شهری، شبیه‌سازی صحیح فرآیندهای هیدرولوژیکی و هیدرولیکی شهری و پیش‌بینی احتمال خطر سیلاب شهری برای بهبود طراحی زهکشی و اجرای فعالیت‌های کمک رسانی سریع امری مهم و ضروری و بسیار مورد توجه قرار گرفته و تحقیقات و پژوهش‌هایی نیز در این رابطه انجام شده که از جمله می‌توان به برخی از آن‌ها اشاره نمود.

1. Ahmadzadeh et al
2. Schmitt et al
3. Pyke et al
4. Rossman et al
5. YarAhmadi et al
6. Shahbazi et al
7. Valesh et al
8. Liu et al

تجزیه و تحلیل حساسیت پارامترهای ورودی مدل SWMM نشان می‌دهد که حساس‌ترین پارامترها در رخداد سیلاب مربوط به درصد اراضی نفوذناپذیر و کم‌حساس‌ترین پارامتر مربوط به ارتفاع ذخیره مناطق نفوذپذیر است. شهبازی و همکاران (۲۰۱۶: ۱۲) در تعیین مهم‌ترین پارامترهای تأثیرگذار بر میزان رواناب شهری با استفاده از مدل SWMM بررسی‌ها نشان می‌دهد، که انطباق خوبی بین رواناب شبیه‌سازی شده و مشاهده‌ای وجود دارد. رضایی و همکاران[1](۲۰۱۷: ۶) در ارزیابی عملکرد شبکه جمع‌آوری و هدایت آب‌های سطحی با استفاده از مدل هیدرولیکی_هیدرولوژیکی با استفاده از مدل SWMM نتایج نشان می‌دهد که با وجود ظرفیت کافی کانال که مدل نیز آن را تأیید می‌کند، آبگرفتگی وجود دارد، که دلیل آن هم مربوط به انباشت زباله در این کانال‌هاست. یاراحمدی و همکاران (۲۰۱۹: ۵) در ارزیابی اثرات توسعه شهری بر رواناب با استفاده از مدل SWMM نشان داده شده که افزایش سطوح نفوذناپذیر موجب افزایش مقدار رواناب می‌شود. ناصح پور و همکاران[1] (۲۰۱۹: ۷) در بهره‌گیری از مدل SWMM در تعیین قابلیت جمع‌آوری و استحصال رواناب شهری نتایج نشان می‌دهد که ضریب رواناب با دوره بازگشت ارتباط مستقیم دارد و بارش‌های بزرگ‌تر، ضریب رواناب بالاتری خواهند داشت. قادری دهکردی و همکاران[2] (۲۰۱۹: ۸) در بررسی عملکرد سیستم جمع‌آوری آب‌های سطحی و تحلیل حساسیت پارامترهای موثر بر آن بررسی‌ها نشان می‌دهد که به ترتیب درصد مناطق نفوذناپذیر، عرض معادل و ضریب زبری در اراضی نفوذپذیر و نفوذناپذیر بیشترین تاثیر را بر دبی خروجی دارد. زاهدی‌خامنه و همکاران[3] (۲۰۲۱: ۹) در ارزیابی کارایی مدل SWMM به‌منظور بررسی گره‌های سیل‌گیر شبکه زهکشی تحت تاثیر تغییر اقلیم تحقیقات محققین نشان می‌دهد که سیستم جمع‌آوری رواناب سطحی گاها نیاز به بهسازی دارد و اصلاح شیب معابر و ابعاد کانال‌ها برای انتقال رواناب ناشی از سیلاب ضروری است. یاراحمدی و همکاران (۲۰۲۰: ۸) در پهنه‌بندی حساسیت زیرحوضه‌ها نسبت به سیل‌خیزی، نتایج نشان می‌دهد که حساسیت سیلاب در زیرحوضه‌های رودخانه متفاوت می‌باشد و از میان عوامل محیطی مؤثر در مبحث سیل‌خیزی عوامل ارتفاع و تراکم آبراهه تاثیرگذارترین عوامل در خطر رخداد سیلاب می‌باشند. حسین‌زاده و همکاران[2](۲۰۲۳: ۹) محققین در شبیه سازی رواناب رودخانه با استفاده از مدل WetSpa نشان دادند که مدل در وضعیت و شرایط واقعی مکانی بر اساس ۳ نقشه توپوگرافی، کاربری و نوع خاک قادر به در نظر گرفتن بارش، رطوبت پیشین و فرآیندهای تولید رواناب می‌باشد که باعث می‌شود مدل مقادیر جریان‌های زیاد و روند هیدرولوژیکی عمومی را به خوبی برآورد نماید. شاهدی و همکاران[3] (۲۰۲۲: ۷) در مقایسه روش‌های تبدیل بارش موثر به رواناب سطحی در شبیه‌سازی هیدروگراف سیل حوضه بررسی‌ها نشان می‌دهد که در مجموع روش SCS برای تخمین مولفه‌های هیدروگراف بهتر می‌باشد، چون از پارامترهای مورفومتریک مانند شیب حوضه و شماره منحنی که تابعی از ویژگی‌های خاک و پوشش گیاهی حوضه استفاده می‌کند. اسفندیاری و همکاران[4](۲۰۲۲: ۱۱) در حال حاضر ضرورت کاربست روش‌های نوین در مدیریت رواناب‌های شهری با رویکرد افزایش تاب‌آوری در برابر سیلاب شهری بسیار مورد توجه قرار گرفته و تحقیقات در این رابطه نشان می‌دهد که در شاخص مناظر و فضاهای باز عمومی؛ روش ذخیره‌سازی سیلاب و حفاظت از آن و در شاخص منازل و فضاهای اختصاصی؛ سیستم تصفیه و بازیافت آب نسبت به سایر روش‌ها به‌عنوان روش‌های مناسب برای اجرا در شهر مناسب می باشند. نوری و همکاران[5](۲۰۲۳:۱۰) در تحقیقی که به شبیه‌سازی سیلاب شهری با استفاده از مدل SWMM پرداخته شده، نتایج شبیه‌سازی نشان داد که برای بارندگی با دوره بازگشت یک ساله سیلابی اتفاق نخواهد افتاد. در حالی‌که برای دوره بازگشت های ۲، ۵، ۱۰ و ۲۰ ساله، سیلاب رخ خواهد داد. جیانگ و همکاران[6](۲۰۱۵: ۸) در پژوهشی دیگر اثر شهری شدن بر سیلاب‌های شهر بررسی و نشان داده شده که افزایش رواناب ناشی از توسعه مناطق نفوذناپذیر شهری به‌طور قابل توجهی خطر سیل را افزایش می‌دهد. هانگ و همکاران[7](۲۰۱۶: ۶) در بررسی دیگری نیز در رابطه با مدیریت جامع سیلاب شهری نشان داده شده که مدیریت کلی سیلاب شهری می‌تواند منجر به کارایی اقتصادی، پایداری و سازگاری با محیط‌زیست در مقایسه با مدیریت معمولی سیلاب شهری شود. وانگ و همکاران[8](۲۰۱۸: ۸) همچنین در مطالعه شبیه‌سازی و ارزیابی اقدامات تطبیقی با مدل SWMM نتایج بیانگر این است که بین وقایع بارش داده‌های شبیه‌سازی شده و مشاهداتی در مدل انطباق خوبی وجود دارد وانگ و همکاران (۲۰۲۰: ۹). در یک برررسی دیگر به

1 . Rezaei et al
2 . Hosseinzadeh et al
3 . Shahedi et al
4 . Esfandiari et al
5 . Nouri et al
6 . Jiang et al
7 . Hong et al
8 .Wang et al

طراحی و پیاده‌سازی یک چاچوب مبتنی بر SWMM برای مدیریت رواناب شهری پرداخته شده و نتایج نشان بیانگر این بوده که مدل می‌تواند محاسبات را در زمان واقعی، به‌طور ثابت، سریع و دقیق ارائه دهد و می‌تواند به‌طور موثر در مدیریت لحظه‌ای رواناب شهری به کار گرفته شود. ژانگ و همکاران[1](۲۰۲۰: ۸) در پژوهشی دیگر به بررسی تاثیر مدریت رواناب در شهرهای کوچک پرداخته شده نشان داده شده که تغییرات کاربری اراضی منجر به تغییرات هیدرولوژیکی در شهر می‌شود و با تغییرات اقلیمی تشدید خواهد شد (براون و همکاران[2] ۲۰۲۱: ۹).

با توجه به مرور منابع هدف از این پژوهش بررسی وضعیت سیلاب شهری بخشی از شهر همدان در زیرحوضه برون شهری خاکو با استفاده از مدلSWMM به‌منظور ارزیابی و کارایی مدل SWMM در شبیه‌سازی حجم رواناب در گره‌های شبکه زهکشی حوضه‌های کوچک شهری برای پیش‌بینی و تخمین جریان حاصل از بارندگی و تاثیر عوامل مختلف بر رواناب و شبیه‌سازی هیدروگراف جریان شهر همدان است (شکل ۱).



شکل (۱): سیلاب در ابتدای ورودی و گره ابتدای به شهر همدان از زیر حوضه برون شهری خاکو (۱۳۹۴)

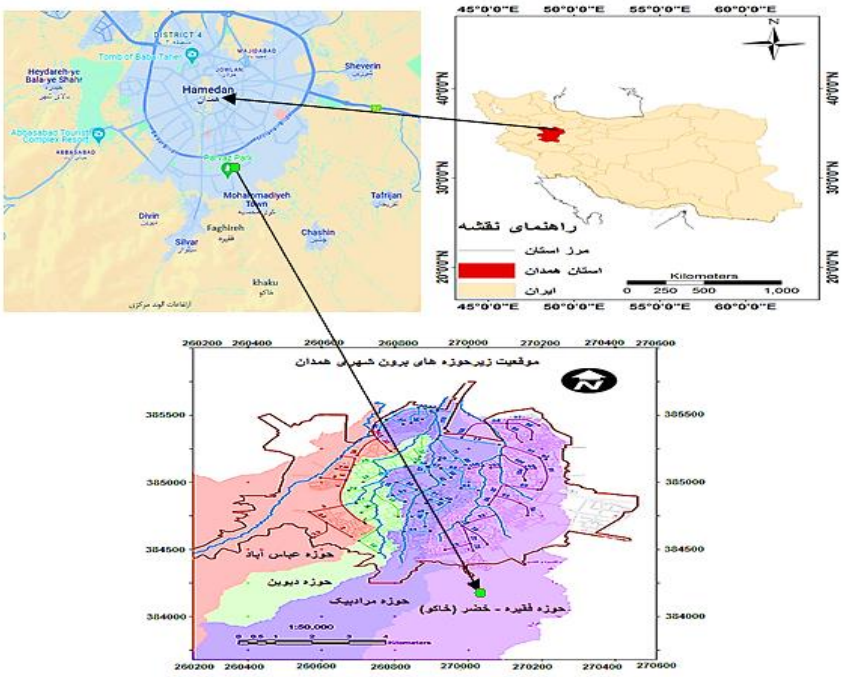
Figure (1): Flooding at the beginning of the entrance and junction to the city of Hamedan from under the suburban Khako watershed (2014)

معرفی منطقه مورد مطالعه

شهر همدان، در دامنه کوهستان الوند و در ارتفاع ۱۷۴۰ متری از سطح دریا واقع شده و شامل ۴ زیر حوضه برون‌شهری خاکو، عباس آباد، دره مرادبیک و دیوین می‌باشد، که مهم‌ترین زیرحوضه برون‌شهری آن رودخانه خاکو است که از دو منطقه درون‌شهری مهم خضر و برون‌منطقه‌ای فقیره تشکیل شده است. رودخانه خاکو از ارتفاعات الوند سرچشمه گرفته و از قسمت شرق همدان در مسیر خود از داخل شهر همدان عبور می‌کنند که در این بررسی حوضه خاکو به دلیل تاثیر در تکرار و فراوانی وقوع سیلاب شهری همدان انتخاب و ارزیابی شده است. متوسط بارش منطقه حدود ۳۱۸ میلی‌متر و میانگین دمای سالانه منطقه ۱۱/۴درجه سانتی‌گراد است. همچنین شهر همدان دارای آب و هوای سرد کوهستانی سرد می باشد (شکل ۲).

1 . Zhang et al

2 . Brawne et al



شکل (۲): موقعیت جغرافیایی استان، شهر و حوضه‌های آبریز (فقیره – خضر) شهری همدان

Figure (2): Geographical location of the province, city and watersheds (Faqira-Khidr) of Hamedan city

مواد و روش

در این پژوهش کارایی مدل SWMM با استفاده از گره‌های سیل‌گیر شبکه زهکشی در شبیه‌سازی حجم رواناب در حوضه‌های کوچک شهری برای پیش‌بینی و تخمین جریان حاصل از بارندگی ارزیابی شده است. بعلاوه تأثیر عوامل مختلف بر رواناب و هیدروگراف جریان در زیرحوضه برون شهری خاکو همدان که دارای زیرحوضه‌های درون شهری فقیره و برون‌شهری خضر می‌باشد، واسنجی و ارزیابی شده است.

معرفی مدل

مدل SWMM یک مدل شبیه‌سازی رواناب و پویا می‌باشد، که کمیت وکیفیت رواناب را در مناطق عمدتا شهری محاسبه می‌کند. از کاربردهای بسیار مهم این مدل که می‌تواند حائز اهمیت باشد محاسبه رواناب برای هر دو شرایط قبل وبعد از توسعه شهری است. همچنین مدل SWMM کمیت و کیفیت رواناب تولید شده در هر زیرحوضه را اعم از سرعت جریان، عمق جریان وکیفیت جریان در هرکانال در طی یک دوره را در چند مرحله زمانی به خوبی شبیه‌سازی می‌کند. با توجه به اهداف تحقیق، در این مدل رواناب سطحی هر زیرحوضه مانند یک مخزن عمل کرده و محاسبه می‌شود. جریان ورودی در این مدل شامل نزولات جوی و ذوب برف و جریان خروجی شامل تبخیر، نفوذ و رواناب سطحی خروجی (Q) می‌باشد. رواناب (Q) هنگامی اتفاق می‌افتد که عمق آب در مخزن بیشتر از تلفات چالاب (dp) باشد که در این مدل مقدار آن توسط معادله مانینگ تعیین و عمق آب در سطح زیرحوضه نیز به‌طور پیوسته توسط حل عددی و معادله بیلان آب محاسبه می‌گردد. مدل ریاضی SWMM از معادلات نفوذ استفاده نموده و جهت تعیین میزان CN عدد منحنی نفوذ در این مدل از معادله نفوذ هورتن گرین آمپت استفاده می‌شود. پارامترهای معادله نفوذ هورتن نیز با استفاده از اطلاعات نفوذپذیری SWMM و خاک منطقه و جداول مربوط از راهنمای نرم‌افزار تعیین می‌گردد. در این مدل روندیابی جریان داخل مجرای آب توسط معادلات بقای جرم و مومنتم برای جریان غیردائمی و متغیر تدریجی انجام می‌گیرد. بدین منظور مدل، یکی از معادلات روندیابی جریان دائمی، موج کنیماتیک و موج دینامیک را مورد استفاده قرار می‌دهد.

مفهوم مخزن غیر خطی

یک مخزن خطی به منبعی اطلاق می‌گردد که میزان حجم و ذخیره آب در آن با دبی خروجی از مخزن رابطه خطی داشته باشد به این معنی که:

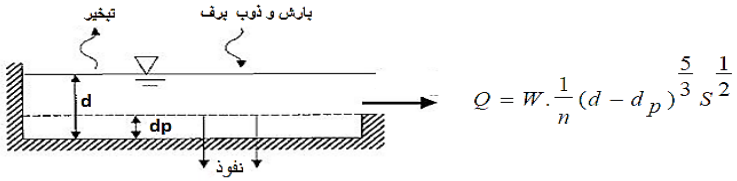
$$S = KQ \quad (۱)$$

در رابطه فوق:

S: مخزن ذخیره با حجم نگهداشت m^3 ، Q : دبی (متر مکعب بر ثانیه) خروجی از مخزن، K : مقدار ثابت از بعد زمان

چنانچه نسبت میزان حجم آب ذخیره شده در یک مخزن در طول زمان مشخص، به میزان جریان خروجی از آن مقدار ثابتی نباشد به آن مخزن غیر خطی اطلاق می‌گردد. در مدل SWMM، هر زیرحوضه آبریز شهری به شکل یک مخزن غیرخطی به صورت شکل ۳ فرض می‌شود که در این روش عمق و میزان تبخیر و نفوذ محاسبه می‌گردد. منظور از چالاب، گودال‌هایی در سطح زیرحوضه یا مخزن است که رواناب در آن محصور می‌گردد و لذا عملا از میزان رواناب جاری در زیرحوضه کسر می‌گردد. لذا کلیه پارامترهای ممکن مانند ذوب برف، بارندگی (به صورت مقدار بارش یا شدت مدت)، داده‌های تبخیر، اطلاعات زهکش‌ها یا کانال‌ها و اطلاعات زیرحوضه‌ها به طور کامل در مدل SWMM دریافت و پس از اعمال بر روی مدل مخزن غیرخطی، دبی زیرحوضه‌ها به صورت هیدروگراف واحد استخراج و در نهایت هیدروگراف با روش موج سینماتیک تا انتها یعنی محل خروج دبی از زیرحوضه، روندیابی می‌شود.

(۲)



شکل (۳): مدل مفهومی انجام محاسبات رواناب سطحی توسط بلوک رواناب از مدل SWMM

Figure (3): Conceptual model of performing surface runoff calculations by runoff block from SWMM model

در این رابطه (S) شیب زیرحوضه بر حسب بر متر که فرض می‌شود برابر با شیب اصطکاکی یا انرژی باشد، (W) عرض جریان بر روی زیرحوضه یا عرض جریان سطح الارضی بر حسب متر(d)، عمق آب روی زیرحوضه بر حسب مترdp ، عمق حداکثر ذخیره چالابی بر حسب متر است.

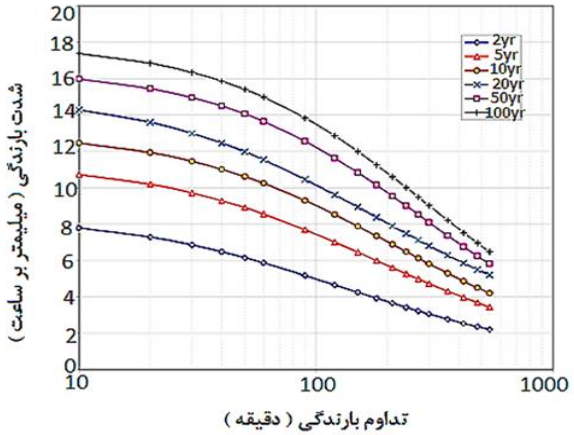
تفکیک زیرحوضه‌ها و استخراج پارامترها

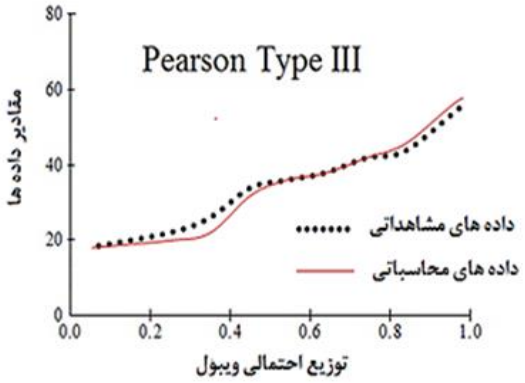
جهت تفکیک گره‌ها و تحلیل مسیرهای حرکت جریان درحوضه خاکو همدان از مدل رقومی DEM و با استفاده از توابع تحلیلی در نرم‌افزار GIS استفاده و حوضه مورد مطالعه به ۲۴ زیرحوضه (S) ۲۴ کانال (J) و ۹ آبراهه انتقالی و یک خروجی جهت ورود به مدل SWMM تفکیک و بررسی شد. در ابتدا پارامترهای عرض معادل، درصد مناطق نفوذناپذیر، ذخیره چالابی، ضریب زبری مناطق در بازه تغییرات دامنه مجاز، تلفات بارش و هیدرولیک جریان، در حوضه با جمع‌آوری جریان‌های سطحی، رواناب درون مجاری مورد بررسی قرار گرفت. به‌منظور شبیه‌سازی دقیق جریان سطحی در بالاترین حد ممکن، مدل رقومی ارتفاع با قدرت تفکیک مکانی ۱۰ متر با روش میانیابی وزنی فاصله برای منطقه با استفاده از نرم‌افزار (ArcGIS 21. 9) مطالعه و استخراج شد. نقاط ارتفاعی وخطوط کنتور محدوه شهری همدان با استفاده از نقشه‌های شهری موجود در شهرداری همدان با مقیاس ۱:۲۰۰۰ و همچنین نقاط برداشتی از CAD نقشه عملیات نقشه‌برداری زمینی شامل رقوم کف کانال‌ها، سطح مقطع خیابان‌ها و لبه جداول، رقوم سطح پیاده‌روها و موقعیت منهول‌ها استخراج و وارد مدل شد.

برای محاسبه پارامترهای مورد نیاز مدل، نقشه‌های کاربری اراضی، نقاط ارتفاعی با دقت پنج‌متر و با استفاده از DEM ArcMap منطقه استخراج و تهیه شد. سپس پارامترهای مورد نیاز مدل شامل مساحت، درصد مناطق نفوذناپذیر و نفوذپذیر شیب و طبقات ارتفاعی با استفاده از نقشه کاربری اراضی، DEM منطقه و بازدیدهای میدانی محاسبه شدند. با توجه به راهنمای مدل، برای محاسبه عرض معادل از عرض مستطیل معادل استفاده شد. شایان ذکر است که مطابق با مطالعات مرحله اول جمع‌آوری و هدایت آب‌های سطحی شهر همدان برای محاسبه مشخصات زیرحوضه‌ها، زمان تمرکز در حوضه‌های درون‌شهری فقیره به روش کرپیچ (با احتساب ضریب ۰/۴) و در حوضه برون‌شهری خضر ضریب رواناب با استفاده از نقشه‌های کاربری اراضی (بر اساس مقادیر شماره منحنی) بدست آمد.

وارد نمودن مشخصات ایستگاه باران سنجی

از آن جایی‌که حوضه‌های آبریز شهری اغلب کوچک هستند و از نظر اندازه از چند هکتار تا چند صد هکتار تغییر می‌کنند؛ لذا فرض می‌گردد که بارش بر روی حوضه آبریز شهری با این اندازه از طریق یک بارش نقطه‌ای بیان می‌گردد. به این منظور در این تحقیق از آمار بارش ایستگاه سینوپتیک فرودگاه همدان استفاده شد. با توجه به اینکه حوضه آبریز مطالعاتی از نوع غیرطبیعی (توسعه یافته شهری) بوده و فاقد رویداد سیل مشاهده‌ای است، لذا از آمار بارش، هایتوگراف دو رویداد بارش منفرد استفاده و به مدل SWMM تعریف گردید. لذا منحنی شدت-مدت-فراوانی برای شهر همدان و نواحی اطراف آن، بر اساس داده‌های ایستگاه سینوپتیک فرودگاه همدان تهیه گردید (اشکال ۴ و۵).





شکل(۴): نمودار توزیع پیرسون تیپ۳ جهت برآورد بارش طرح **شکل (۵): منحنی‌های شدت-مدت-فراوانی بارش**

Figure (4): Pearson type 3 distribution chart to estimate project precipitation
Figure (5): Intensity-duration-frequency curves of precipitation

تحلیل رویدادها با دوره بازگشت‌های مختلف

از آن جایی‌که حوضه‌های شهری کوچک و فاقد ایستگاه‌های سنجش بارش و رواناب می‌باشند؛ لذا به منظور افزایش دقت ارزیابی و بررسی شدت و حجم رواناب بارش طرح، رگبار ۲۴ ساعته با دوره بازگشت‌های مختلف برای شبیه‌سازی سیل مدنظر قرار گرفت. در این رابطه برای تعیین مقدار بارش طرح، ابتدا مقادیر حداکثر بارش ۲۴ ساعته در هر سال از آمار ایستگاه سینوپتیک فرودگاه همدان استخراج و سپس با انتقال داده‌ها به نرم‌افزار SMADA، بهترین توزیع آماری برای تعیین مقادیر بارش ۲۴ ساعته در دوره بازگشت‌های مختلف انتخاب شد، که پس از بررسی داده‌های خروجی ،توزیع پیرسون تیپ ۳ مناسب‌ترین توزیع آماری انتخاب و استفاده شد. سپس بر اساس توزیع آماری مذکور و الگوی زمانی بارش مستخرج از منحنی‌های شدت-مدت- فراوانی، اطلاعات بارش طرح تهیه شد که در جدول ۱ آمده است. در این بررسی مقدار تجمعی بارش انتخاب والگوی زمانی بارش بر اساس ایستگاه سینوپتیک فرودگاه همدان در فواصل زمانی سه ساعته بر حسب درونیابی تعریف شد. بعلاوه واحد بارش بر حسب سیستم متریک برابر میلی‌متر تعریف شد. همچنین مقادیر بارش

رگبارهای منفرد و نیز مقدار بارش طرح (بارش ۱۲ ساعته با دوره بازگشت ۲۵ سال) در نهایت پس از تعریف و تعیین مقادیر و پارامترهای مدل بارش- رواناب در نرم‌افزار SWMM شبیه‌سازی شد.

جدول (۱): مقدار و الگوی زمانی بارش طرح محدوده مطالعاتی

Table (1): The amount and temporal pattern of precipitation in the study area

دوره بازگشت (سال)	مقدار بارش (میلی‌متر)	الگوی زمانی (میلی‌متر)			
		چارک اول	چارک دوم	چارک سوم	چارک چهارم
۲	۵۸.۳	۸/۴	۱۱/۸	۱۶/۴	۲۱/۷
۵	۸۱.۴	۱۱/۷	۱۶/۵	۲۲/۹	۳۰/۳
۱۰	۹۷.۷	۱۴	۱۹/۸	۲۷/۵	۳۶/۴
۲۰	۱۱۱.۹	۱۶/۱	۲۲/۶	۳۱/۵	۴۱/۷
۵۰	۱۳۶.۹	۱۹/۷	۲۷/۷	۳۸/۵	۵۱
۱۰۰	۱۵۵.۳	۲۲/۳	۳۱/۴	۴۳/۷	۵۷/۸

مدل هیدروگراف سیل

رواناب اراضی شهری برابر است با میزان کل بارندگی منهای قسمتی از باران که در داخل گودی‌ها و ناهمواری‌های سطوح ذخیره شده یا به داخل زمین نفوذ می‌کند. لذا رواناب، پیش از جاری شدن روی سطوح و حرکت از نقطه‌ای به نقطه دیگر موقتاً روی سطوح مربوط ذخیره می‌شود. در این بررسی میزان رواناب از رابطه زیربدست می‌آید:

$$R = \frac{(P - 0.2*S)^2}{P + 0.8*S} \quad (۳)$$

R : رواناب ناشی از بارش (میلی‌متر)، P: مقدار بارندگی با تداوم و دوره بازگشت مورد نظر (میلی‌متر)، این مقدار از روی منحنی توزیع زمانی بارش بدست می‌آید، S: میزان جذب آب حوضه یا تلفات برحسب میلی‌متر که به شرح زیر محاسبه می‌گردد. CN : شماره منحنی رواناب حوضه که با توجه به جنس خاک، نوع کاربری اراضی و تراکم پوشش گیاهی برای شرایط رطوبتی متوسط استخراج می‌شود.

$$S = \frac{25400}{CN} - 254 \quad (۴)$$

گروه خاک که بر مبنای تقسیم‌بندی سازمان حفاظت خاک آمریکا می‌باشد ، خاک‌ها را به چهار گروهA، B، C و D مبتنی بر مینی‌مم شدت نفوذپذیری خاک لخت که کاملاً خیس بررسی و حداکثر آبدهی لحظه‌ای هیدروگراف واحد از رابطه زیر قابل محاسبه است.

q_p : حداکثر آبدهی لحظه‌ای هیدروگراف واحد (m^3/sec)، A : مساحت حوضه (km^2) ، R : میزان رواناب (mm) ، t_p : زمان اوج‌گیری سیلاب. معمولاً این زمان را برابر هفتاد درصد زمان تمرکز حوضه در نظر می‌گیرند.

$$q_p = \frac{0.208A*R}{t_p} \quad (۵)$$

$$t_p = 0.7t_c$$

واسنجی مدلSWMM

برای واسنجی مدلSWMM، شش پارامتر مهم شامل، عرض معادل، درصد مناطق نفوذناپذیر، ذخیره چالابی مناطق نفوذناپذیر، ذخیره چالابی مناطق نفوذناپذیر، مناطق نفوذناپدیر و نفوذپذیر استفاده شد. به منظور ارزیابی مدل در شرایط قبل و بعد از واسنجی نیز از ضریب کارایی مدل (ناش- ساتکلیف) مطابق رابطه زیر استفاده شده است: که P مقدار برآوردی، O مقدار مشاهده‌ای، n تعداد داده‌ها و Av. متوسط مقادیر مشاهده‌ای است.

$$NS = 1 - \frac{\sum_{i=1}^{n}(P-O)\hat{}2}{\sum_{I=1}^{n}(O-Av.)\hat{}2} \quad (۶)$$

نتایج

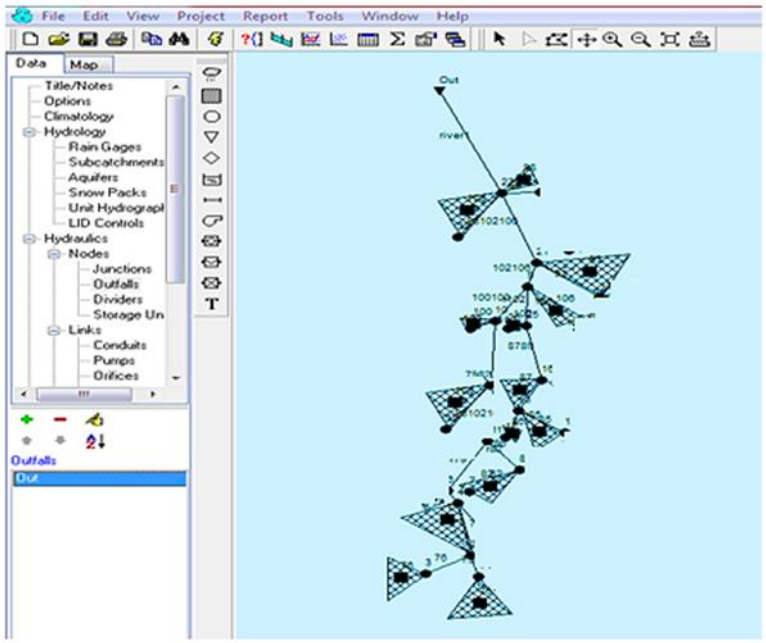
در این بررسی قالب مدل SWMM برای محدوده مطالعاتی حوضه خاکو همدان به صورت جدول ۲ تعریف و مدل‌سازی بارش- رواناب به روش مخزن غیرخطی، بر اساس روش نفوذ شماره منحنی و روندیابی موج سینماتیک انجام شده است.

جدول (۲): قالب مدل SWMM برای محدوده مطالعاتی

Table (2): SWMM model template for the study area

واحد جریان	فرایندهای مدل سازی	بارش- رواناب	ذوب برف	آب زیرزمینی	روندیابی جریان	کیفیت جریان	روش نفوذ	روش روندیابی
مترمکعب بر ثانیه		*	----	----	*	----	شماره منحنی	موج سینماتیک

بر این اساس ابتدا موقعیت زیرحوضه‌ها، کانال‌ها و گره‌های اتصالاتی تعیین و مشخص شد. شکل ۶ موقعیت زیرحوضه‌ها، کانال‌ها و گره‌های اتصالاتی در زیرحوضه خاکو همدان در مدل SWMM در محدوده مطالعاتی را ارائه می‌دهد. بر این اساس، تعداد ۲۴ زیرحوضه یا واحد هیدرولوژیک شهری تشکیل و تفکیک شد که مساحت آن‌ها از ۵/۴ تا ۳۵۸/۶ هکتار متغیر است. همچنین عرض واحد هیدرولوژیک با توجه به داده‌های موجود و برررسی میدانی و گاها متر کشی و بررسی شرایط آبریزهای شهری همدان به طور متوسط برابر ۵۰۰ متر در نظر گرفته شده است. بررسی به عمل آمده حاصل از آزمایشات میدانی و داده‌های موجود در طرح جمع‌آوری آبگرفتگی شهر همدان، متوسط سطح نفوذپذیر محدوده مطالعاتی نیز ۶۶ درصد و درصد شیب متوسط واحدها نیز ۰/۵ درصد محاسبه و در نظر گرفته شد. بر اساس بررسی‌های میدانی مشخص شد که بعضی از واحدهای هیدرولوژیک دارای گره خروجی مشترک می‌باشند. مانند، واحدهای هیدرولوژیک ۸۷ و ۸۹ و هر دو به گره خروجی شماره ۱۶ منتهی می‌شوند، که در ورودی مدل مورد توجه قرار گرفت. طبق نتایج، کوچک‌ترین واحدهای هیدرولوژیک ۵/۴ هکتار مربوط به زیرحوضه کد ۸۶ و بزرگترین واحد هیدرولوژیک ۳۵۸/۶ هکتار مربوط به زیرحوضه کد ۷۹ می باشد. همچنین کمترین سطح نفوذناپذیر با ۶۲ درصد مربوط به زیرحوضه کد ۱۰۲ و بیشترین سطح نفوذناپذیر با ۷۱ درصد مربوط به زیرحوضه‌های کد ۸۲ و ۸۴ می‌باشد.

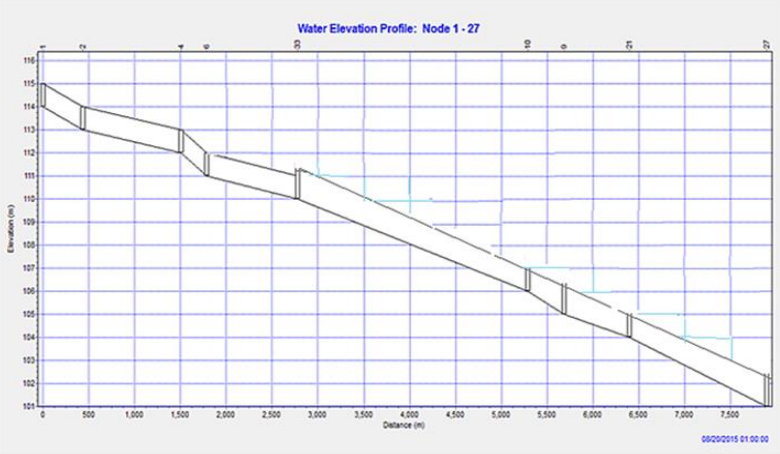


شکل (۶): موقعیت زیرحوضه ها، کانال ها و گره های اتصالاتی در زیر حوضه خاکو همدان

Figure (6): Location of sub-basins ,Channels and connecting nodes under Khako Hamedan basin

پس از تعیین و ترسیم واحدهای هیدرولوژیکی، مشخصات زیرحوضه‌ها برای هر زیرحوضه در مدل SWMM تعریف گردید. طبق بررسی‌های انجام شده از مشخصات گره‌ها، تعداد ۳۳ گره و یک خروجی برای مدل منطقه مطالعاتی تعریف شده است. بررسی‌ها نشان می‌دهد که ارتفاع فرضی گره‌ها از ۱۰۰ تا ۱۰۴ متر با توجه به شیب کانال‌ها و زیرحوضه‌ها تغییر می‌کند. در بیشتر گره‌ها عمق حداکثر برابر یک‌متر می‌باشد، که با توجه به بازدیدهای میدانی در گره‌های ۹، ۱۰ ۲۱، ۲۷، ۳۳ و خروجی، حداکثر عمق برابر دو متر لحاظ شده است و فاقد مقدار عمق اولیه آب و سطح ماندابی می‌باشند. در مرحله بعد با توجه به نقشه شبکه زهکشی، مشخصات گره‌ها (محل تقاطع جریان) در مدل SWMM تعریف شد. بعلاوه در مدل، حداکثر عمق محل تقاطع برابر یک‌متر فرض شد و از مقدار عمق اولیه آب و سطح ماندابی به دلیل بی‌تاثیر بودن در شبیه‌سازی سیلاب صرف نظر گردید. در این تحقیق از روش موج سینماتیک برای روندیابی جریان در داخل کانال‌ها استفاده شد. همچنین شکل هندسی آبگذر مستطیل باز[1] انتخاب گردید، که نمایانگر شکل و وضعیت هیدرولیک جوی آب‌ها محدوده شهری همدان می‌باشند. همچنین طبق بررسی‌های میدانی جنس کلیه کانال‌ها، بتنی در نظر گرفته شد و برای لحاظ نمودن اثرات فرسایش‌های احتمالی آتی بر روی اصطکاک جداره‌های کانال‌ها، ضریب زبری مانینگ مابین ضریب مربوط به کانال‌های بتنی نو و قدیمی (برابر ۰/۰۱۵) لحاظ گردید. نتایج بررسی نشان می‌دهد که در کانال‌های مذکور با توجه به رابطه دبی (سطح مقطع در سرعت جریان)، مقادیر حداکثر دبی عبوری از ۱ تا ۶ مترمربع در تغییر است. براساس اندازه‌گیری میدانی از کانال‌ها شعاع هیدرولیکی بیشتر کانال‌ها نیز برابر ۰/۳۳ متر است. طبق نتایج، پتانسیل جریان حداکثر مربوط به کانال کد ۱۰۰۱۰۰ با ظرفیت ۲۷/۰۷ مترمکعب بر ثانیه می‌باشد. همچنین به دلیل ذخیره جریان در مسیر رودخانه، پتانسیل جریان حداکثر در کانال خروجی برابر ۱۲/۸۲ مترمکعب بر ثانیه می‌باشد. شکل ۷ پروفیل ارتفاعی مسیر جریان را نشان می‌دهد و مشاهده می‌شود، که در واحدهای هیدرولوژیک بالادست، ارتفاع فرضی کانال با توجه به شیب منطقه برابر ۱۱۵ متر و در خروجی منطقه این ارتفاع به ۱۰ متر کاهش یافته است، که اختلاف ارتفاع قابل توجهی است.

1. Open Rectangular Channel



شکل (۷): پروفیل ارتفاعی مسیر جریان رودخانه خاکو همدان
Figure (7): Elevation profile of Khako river flow path in Hamadan

در این تحقیق از روش موج سینماتیک برای روندیابی جریان در داخل کانال‌ها استفاده شد. نتایج حاصل از مدل در روندیابی جریان داخل کانال ها نشان می‌دهد، که تعداد ۳۳ کانال در محدوه تحقیق شکل گرفته که گره‌ها را به یکدیگر متصل می‌کند. حداقل طول برابر ۲۴۲ متر مربوط به کانال شماره ۱۰۵ و حداکثر نیز برابر ۲۵۱۳ متر مربوط به کانال شماره ۷۹۸۲ است؛ در حالی‌که بیشترین شیب در کانال شماره ۱۰۵ برابر ۰/۴ درصد است، حداقل درصد شیب در کانال منتهی به خروجی است که برابر ۰/۰۵ درصد می‌باشد.

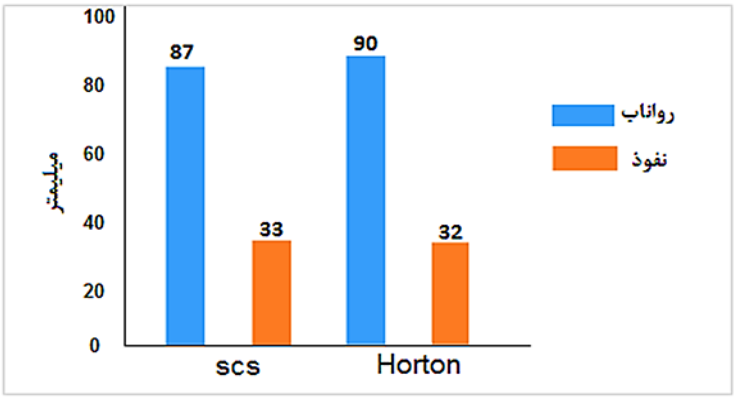
نتایج واسنجی مدل SWMM

در این پژوهش پارامترهای عرض معادل، درصد مناطق نفوذناپذیر، ذخیره چالابی، ضریب زبری مناطق در بازه تغییرات دامنه مجاز به منظور واسنجی ارزیابی شدند (جدول ۳). بعلاوه با توجه به اینکه سیلاب مشاهده‌ای مختص پهنه‌های آبگیر محدوده مطالعاتی است و در دسترس نبود، بنابراین بارش ۲۴ ساعته با دوره بازگشت ۲۵ سال معادل ۱۲۰ میلی‌متر در ایستگاه سینوپتیک همدان (که دارای بیشترین تکرار و فراوانی و تاثیر در وقوع سیلاب را دارد) برای واسنجی مدل انتخاب شد. جدول۳ مقادیر اولیه و پارامترهای مهم برای واسنجی مدل SWMM را نشان می‌دهد. بر اساس واسنجی مدل در جدول۳، عرض معادل در مدل بهینه تغییری نداشت، متوسط درصد مناطق نفوذناپذیر منطقه مطالعاتی با دو درصد افزایش از ۶۰ به ۶۲ درصد افزایش و ذخیره چالابی سطوح نفوذپذیر نیز از ۵/۰۸ به ۴/۸۱ میلی‌متر کاهش یافت. در حالی‌که برای سطوح نفوذناپذیر این مقدار از ۱/۲۷ به ۱/۳۳ میلی‌متر افزایش پیدا کرده است. همچنین ضریب زبری سطوح نفوذ پذیر تغییری نداشت؛ ولی برای ضریب نفوذناپذیر این مقدار از ۰/۰۱ به ۰/۰۱۳ افزایش پیدا کرده است. بر این اساس و داده‌های محاسباتی و با لحاظ کردن تغییرات فوق، مدل بهینه شده SWMM برای منطقه مطالعاتی آماده شد. در مرحله بعد با روش‌های مختلف نفوذ که در مدل SWMM تعریف شده‌اند، مقدار نفوذ برآورد شد تا مقایسه‌ای بین روش‌ها انجام شود. مطابق با روش انجام تحقیق، برای برآورد حجم رواناب از روش نفوذ SCS استفاده شد. یک روش معمول دیگر در مدل SWMM عبارت است از روش هورتون که بر اساس مشاهدات تجربی تغییرات نفوذ را به صورت نمایی نشان می‌دهد. پارامترهای ورودی مورد نیاز با این روش شامل حداکثر و حداقل سرعت نفوذ، ضریب کاهش سرعت نفوذ و تعداد روزهای لازم برای خشک شدن خاک اشباع می‌باشد. بر این اساس حداکثر و حداقل سرعت نفوذ به ترتیب برابر ۷۶/۲ و ۱۲/۷ میلی‌متر در ساعت و ضریب کاهش سرعت نفوذ نیز برابر ۴ در نظر گرفته شده است. همچنین تعداد روزهای لازم برای خشک شدن خاک اشباع با توجه به اقلیم منطقه برابر ۷ روز فرض شده است. شکل ۸ مقادیر نفوذ و ارتفاع رواناب را برای بارش طرح زیرحوضه خاکو شهر همدان نشان می‌دهد. سپس بر اساس داده‌های محاسباتی هیدروگراف سیل قبل و بعد از واسنجی برای بارش طرح زیرحوضه خاکو شهر همدان تهیه و مقادیر ضریب کارایی مدل با شاخص (ناش- ساتکلیف) محاسبه شد (شکل ۹).

جدول (۳): مقادیر اولیه و پارامترهای مهم برای واسنجی مدل SWMM

Table (3): Initial values and important parameters for calibration of SWMM model

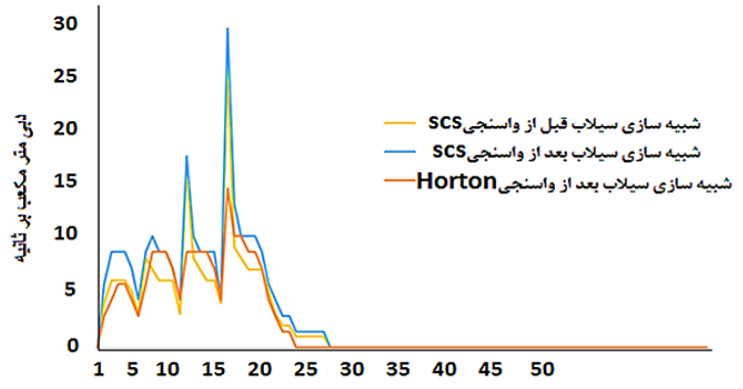
پارامتر	مقادیر اولیه	مقیاس تغییرات	مقادیر بهینه
عرض معادل	۵۰۰ متر	۳۰ درصد	-
درصد مناطق نفوذناپذیر	۶۰ درصد	۳۰ درصد	۶۲
ذخیره چالابی سطوح نفوذ پذیر	۵/۰۸ میلی متر	۳۰ درصد	۴/۸۱
ذخیره چالابی سطوح نفوذ ناپذیر	۱/۲۷ میلی متر	۳۰ درصد	۱/۳۳
ضریب زبری سطوح نفوذ پذیر	۰/۱	۰/۰-۰۲/۸	۰/۱
ضریب زبری سطوح نفوذناپذیر	۰/۰۱	۰/۰-۰۱/۰۳۳	۰/۰۱۳



شکل (۸): مقادیر نفوذ و ارتفاع رواناب بارش طرح

Figure (8): Infiltration values and height of rainfall runoff of the design

نتایج نشان می‌دهد ضریب کارایی مدل در مورد سیل واسنجی با مدل SCS عملکرد بهتری دارد؛ چراکه مقادیر NS نزدیک‌تر به عدد یک هستند. لذا این حالت از مدل برای شبیه‌سازی در ادامه پژوهش استفاده می‌شود. شکل ۹ نیز نشان می‌دهد، هیدروگراف سیل قبل و بعد از واسنجی برای مدل SCS تطابق بهتری با حالت قبل از واسنجی نسبت به مدل هورتون دارد. بر اساس بررسی جدول ۴ و مشخصات رواناب بارش طرح مشاهده می‌شود از کل بارش ۱۲۰ میلی‌متری، مقدار ۳۳ میلی‌متر مربوط به تلفات نفوذ و مقدار ۸۷ میلی‌متر مربوط به رواناب سطحی است (جدول ۵). همچنین حجم جریان معادل ۲/۴۱ میلیون مترمکعب است که ۱/۹۸ میلیون مترمکعب مربوط به جریان درون منطقه‌ای حوضه فقیره و ۰/۴۳ میلیون مترمکعب مربوط به جریان برون منطقه‌ای خضر است. نتایج نشان می‌دهد که ضریب کارایی مدل NS برای دبی اوج با مقدار ۰/۶۶ و برای حجم سیلاب با مقدار ۰/۷۳ اعداد قابل قبولی است.



شکل (۹): هیدروگراف سیل قبل و بعد از واسنجی

Figure (9): Flood hydrograph before and after recalibration

جدول (۴): ضریب کارایی مدل برای ارزیابی مدل واسنجی شده SWMM

Table (4): Model efficiency coefficient for evaluating the recalibrated SWMM model

نوع رویداد	ضریب کارایی مدل NS	
	دبی اوج	حجم سیل
سیل پیش‌بینی شده بعد از واسنجی با مدل SCS	۰/۶۶	۰/۷۳
سیل پیش‌بینی شده بعد از واسنجی با مدل هورتون	-۰/۱۱	۰/۰۲۱

جدول (۵): مشخصات رواناب بارش طرح

Table (5): Project rainfall runoff specifications

کل بارش	تلفات نفوذ	رواناب سطحی	حجم جریان	حجم جریان درون منطقه‌ای	حجم جریان برون منطقه‌ای
۱۲۰ میلی‌متر	۳۳ میلی‌متر	۸۷ میلی‌متر	۲/۴۱ میلیون مترمکعب	۱/۹۸ میلیون مترمکعب	۰/۴۳ میلیون مترمکعب

بررسی مشخصات رواناب زیرحوضه‌ها نشان می‌دهد که کمترین و بیشترین ارتفاع نفوذ به ترتیب در زیرحوضه‌های ۸۴ و ۹۸ با ۲۰/۷۷ و ۳۸/۳۴ و کمترین و بیشترین ارتفاع رواناب به ترتیب در زیرحوضه‌های ۹۸ و ۸۴ با ۸۳/۴۶ و ۱۰۲/۲۲ میلی‌متر است. بیشترین حجم رواناب مربوط به زیرحوضه کد ۷۹ با ۳۰۶ هزار مترمکعب است، که دبی اوج آن معادل ۲۷ مترمکعب در ثانیه است. همچنین کمترین حجم رواناب مربوط به زیرحوضه کد ۸۶ با ۵/۴ هزار مترمکعب است، که دبی اوج آن معادل ۰/۵۹مترمکعب در ثانیه است. طبق نتایج، بیشترین عمق رواناب مربوط به گره خروجی با ۰/۳۳ و کمترین عمق رواناب مربوط به گره کد ۱۲ با ۰/۰۲ متر است. همچنین در ۱۳ گره نیز عمق رواناب ناچیز و در حد صفر بود که اکثر این گره‌ها در زیرحوضه برون شهری خضر قرار دارند. جدول ۶ نتایج بررسی نشان می‌دهد که کمترین مقادیر ارتفاع رواناب، کمترین حجم رواناب و کمترین عمق رواناب مربوط به گره‌های زیرحوضه برون شهری خضر است و نشان می‌دهد که این زیرحوضه تأثیر کمتری نسبت به زیرحوضه فقیره در رخداد سیلاب شهری همدان دارد. طبق نتایج، بیشترین حجم رواناب مربوط به گره ۲۷ با حجم جریان کل ۹۲۷/۱در زیر حوضه فقیره و کمترین مربوط به گره کد ۱۲ با ۵/۳۷۷ مترمکعب در ثانیه مربوطه به زیرحوضه خضر است.

جدول (۶): مشخصات عمق و حجم رواناب در محل گره‌ها

Table (6): Specifications of the depth and volume of runoff at the location of nodes

گره	عمق متوسط جریان (m)	عمق حداکثر جریان (m)	زمان رخداد دبی اوج	جریان حداکثر جانبی m^3/sec	جریان حداکثر کل m^3/sec	حجم جریان جانبی m^3/sec	حجم جریان کل m^3/sec
۱	۰/۱۱	۱	۰۱:۴۹	۱۴/۷۲۶	۱۴/۷۲۶	۱۴۵/۸۹۸	۱۴۵/۸۹۸
۲	۰/۱۹	۱	۰۱:۱۵	۲۲/۳۳۷	۲۶/۳۶۸	۴۱/۹۲۱	۳۱۵/۳۵۴
۳	۰/۰۷	۱	۰۲:۳۴	۴/۵۶۳	۴/۵۶۳	۴۱/۹۲۱	۴۱/۹۲۱
۴	۰/۱۹	۱	۰۱:۲۴	۰	۲/۸۰۱	۰	۸۳/۴۹
۵	۰/۰۸	۱	۰۱:۴۶	۶/۵۳۱	۶/۵۳۱	۶۰/۹۲۷	۶۰/۹۲۷
۶	۰/۱۹	۱	۰۱:۳۵	۲۷/۹۶۸	۳۰/۷۶۸	۳۰۶/۴۰۲	۳۸۹/۸۹۲
۷	۰	۰	۰۰:۰۰	۰	۰	۰	۰
۸	۰/۰۹	۱	۰۲:۰۲	۸/۹۲۶	۸/۹۲۶	۸۵/۲۴۳	۸۵/۲۴۳

۹	۰/۲۳	۲	۰۳:۱۲	۱۳/۱۹۷	۲۹/۳۵۱	۱۲۹/۳۱۹	۴۸۶/۸۳۵
۱۰	۰/۱۴	۰/۹۱	۰۵:۰۰	۳/۱۵۳	۹/۳۸۴	۲۸/۶۷۲	۲۲۱/۸۸۳
۱۱	۰	۰	۰۰:۰۰	۰	۰	۰	۰
۱۲	۰/۰۲	۰/۳۹	۰۵:۰۰	۰/۵۹۱	۰/۵۹۱	۵/۳۷۷	۵/۳۷۷
۱۳	۰/۱۱	۱	۰۱:۳۰	۱۲/۰۵۲	۱۴/۳۲۶	۱۱۷/۲۹۳	۱۴۸/۱۱۳
۱۴	۰/۰۷	۱	۰۲:۲۳	۳/۸۳۶	۳/۸۳۶	۳۵/۵۷۱	۳۵/۵۷۱
۱۵		۰	۰۰:۰۰	۰	۰	۰	۰
۱۶	۰/۱۲	۱	۰۱:۳۲	۱۹/۸۵۶	۲۱/۵۷	۱۹۳/۷۵۷	۲۳۴/۱۵۸
۱۷	۰	۰	۰۰:۰۰	۰	۰	۰	۰
۱۸	۰	۰	۰۰:۰۰	۰	۰	۰	۰
۱۹	۰/۱۲	۱	۰۱:۱۹	۱۹/۶۱۵	۱۹/۶۱۵	۱۸۸/۷۶۸	۱۸۸/۷۶۸
۲۰	۰	۰	۰۰:۰۰	۰	۰	۰	۰
۲۱	۰/۲۴	۲	۰۲:۳۴	۱۷/۵۶۱	۳۹/۲۵۲	۱۷۷/۵۶۳	۶۶۱/۴۴۶
۲۲	۰	۰	۰۰:۰۰	۰	۰	۰	۰
۲۳	۰/۰۸	۱	۰۱:۳۷	۸/۱۰۱	۸/۱۰۱	۷۴/۵۸۳	۷۴/۵۸۳
۲۴	۰	۰	۰۰:۰۰	۰	۰	۰	۰
۲۵	۰/۱۲	۱	۰۱:۴۰	۲/۱۱۶	۵/۸	۱۸/۹۳۷	۱۱۰/۰۶۲
۲۶	۰	۰	۰۰:۰۰	۰	۰	۰	۰
۲۷	۰/۳۳	۲	۰۱:۴۰	۳۰/۷۳۵	۵۶/۹۷	۳۱۵/۱۲۸	۹۲۷/۱۰۲
۲۸	۰/۱۲	۱	۰۱:۲۰	۲۶/۲۶۱	۲۶/۲۶۱	۲۵۱/۴۶۹	۲۵۱/۴۶۹
۲۹	۰	۰	۰۰:۰۰	۰	۰	۰	۰
۳۰	۰	۰	۰۰:۰۰	۰	۰	۰	۰
۳۱	۰	۰	۰۰:۰۰	۰	۰	۰	۰
۳۲	۰	۰	۰۰:۰۰	۰	۰	۰	۰
۳۳	۰/۱۹	۱	۰۱:۴۰	۰	۶/۲۳۱	۰	۱۹۲/۶۷۳
Out	۰/۳۳	۲	۰۱:۴۸	۰	۱۲/۸۲۴	۰	۴۲۹/۶۷۳

مقادیر رواناب و تلفات حوضه خاکو

بررسی مقادیر رواناب و تلفات حوضه برای بارش دوره بازگشت‌های مختلف در محدوده مطالعاتی نشان می‌دهد که در کمترین بارش با دوره بازگشت ۲ سال با ۵۸/۳ میلیمتر بارش ۱/۸ میلیون مترمکعب و در بیشترین بارش با دوره بازگشت ۱۰۰ سال با ۱۵۵/۳ میلی‌متر بارش، ۳/۱ میلیون مترمکعب دبی خروجی منطقه تحقیق را شامل می‌شود (جدول ۷).

جدول (۷): مقادیر ارتفاع بارش، رواناب و تلفات نفوذ بارش دوره بازگشت‌های مختلف

Table (7): Precipitation height values,Runoff and rainfall infiltration losses of different return periods

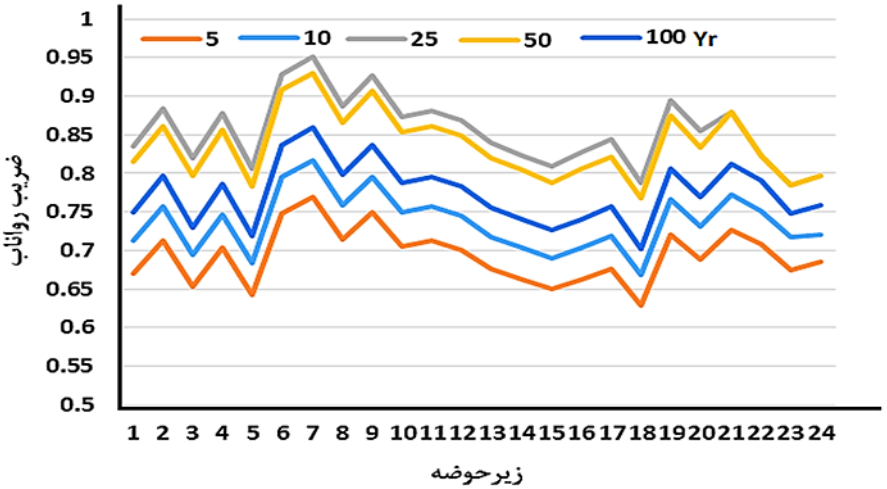
دوره بازگشت	ارتفاع بارش (میلی‌متر)	ارتفاع نفوذ (میلی‌متر)	ارتفاع رواناب (میلی‌متر)	حجم رواناب خروجی (میلیون مترمکعب)
۲	۵۸/۳	۱۶	۴۲/۳	۱/۸
۵	۸۱/۴	۲۲/۴	۵۹	۲/۱
۱۰	۹۷/۷	۲۶/۹	۷۰/۸	۲/۳
۲۵	۱۱۱/۹	۳۰/۸	۸۱/۱	۲/۳
۵۰	۱۳۶/۹	۳۷/۶	۹۹/۳	۲/۸
۱۰۰	۱۵۵/۳	۴۲/۷	۱۱۲/۶	۳/۱

از آنجاکه ضریب رواناب (نسبت ارتفاع رواناب به ارتفاع بارش) به خوبی بیانگر پتانسیل سیل‌خیزی است، می توان با مقایسه مقادیر ضریب رواناب واحدهای هیدرولوژیکی محدوده مطالعاتی، به تحلیل قدرت تولید رواناب پرداخت. جدول ۸ مقادیر ضریب رواناب بارش در دوره بازگشت‌های مختلف و شکل ۱۰ مقایسه مقادیر ضریب رواناب‌ها را نشان می‌دهد. نتایج جدول ۸ نشان می‌دهد که کمترین ضریب رواناب در دوره بازگشت ۲ سال و بیشترین ضریب رواناب در دوره بازگشت ۲۵ سال است.

جدول (۸): مقادیر ضریب رواناب بارش در دوره بازگشت‌های مختلف

Table (8): Rainfall runoff coefficient values in different return periods

کد زیرحوضه	دوره بازگشت					
	۲	۵	۱۰	۲۵	۵۰	۱۰۰
کل	۰/۷۰	۰/۷۷	۰/۷۹	۰/۸۲	۰/۸۱	۰/۸۱



شکل (۱۰): مقایسه ضرایب رواناب ها برای بارش در دوره بازگشت های مختلف

Figure (10): Comparison of runoff coefficients for precipitation in different return periods

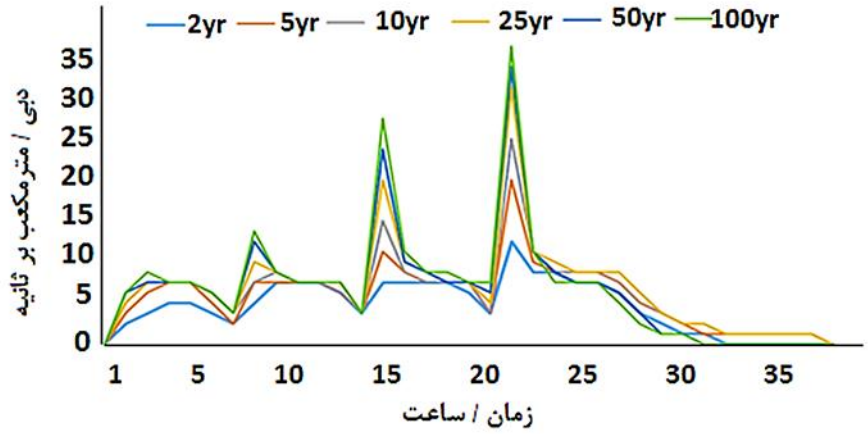
هیدروگراف سیل‌های شبیه‌سازی شده

با اجرای مدل SWMM، هیدروگراف سیل‌های ناشی از بارش دوره بازگشت‌های مختلف در شکل ۱۱ آمده است. در جدول ۹ نیز حداکثر دبی اوج خروجی از سیستم آمده است. طبق نتایج، در دوره بازگشت ۲ سال، دبی برابر ۱۰/۳ مترمکعب در ثانیه و در دوره بازگشت ۱۰۰ سال به ۲۹/۲ مترمکعب در ثانیه افزایش یافته است.

جدول (۹): دبی اوج بارش در دوره بازگشت های مختلف
Table (9): The peak discharge of precipitation in the period of different returns

دوره بازگشت	۲	۵	۱۰	۲۵	۵۰	۱۰۰
دبی اوج m^3/sec	۱۰/۳	۱۶/۱	۲۰/۱	۲۵/۵	۲۷/۳	۲۹/۲

نتایج نشان داد مقادیر نفوذ و ارتفاع رواناب بارش طرح (بارش ۲۴ ساعته با دوره بازگشت ۲۵ سال) در روش SCS به ترتیب برابر ۵۰/۸۶ و ۱۶/۱۴ میلی‌متر است. یعنی ۲۴ درصد بارش طرح تبدیل به نفوذ و ۷۶ درصد تبدیل به رواناب شده است. اما در روش هورتون، مقادیر نفوذ و ارتفاع رواناب بارش طرح به ترتیب برابر ۳۶/۲۴ و ۳۰/۷۶ میلی‌متر است. یعنی ۴۶ درصد بارش طرح تبدیل به نفوذ و ۵۴ درصد تبدیل به رواناب شده است. هر چند توسعه کاربری‌های نفوذپذیر نظیر جنگل دست کاشت، پارک، سنگ‌فرش نفوذپذیر و... در بطن کاربری‌های ساختمانی می‌تواند پتانسیل تولید رواناب را به میزان قابل توجهی کاهش دهد و ضریب رواناب را حتی نسبت به کاربری‌های طبیعی بالادست شهر کم کند، اما پتانسیل سیلخیزی آبریزهای شهری به مراتب بیشتر از آبریزهای غیرشهری است. لذا می‌توان اذعان نمود که روش SCS مقادیر نفوذ و رواناب را برای آبریز شهری دقیق تر از روش هورتون نشان می‌دهد. از طرفی، روش SCS مقدار نفوذ را بر مبنای پارامتر شماره منحنی برآورد می‌کند که عامل نوع کاربری و پوشش و نیز واحد هیدرولوژیک خاک در آن دخیل است. اما روش هورتون بیشتر برای آبریزهای غیرشهری است، که به نوع کاربری و پوشش امتیاز نمی‌دهد. همچنین مطابق با نتایج هیدروگراف سیل قبل و بعد از واسنجی مشخص شد بعد از بهینه‌سازی پارامترها، ضریب کارایی مدل (ناش- ساتکلیف) با ۰/۶۶ و ۰/۷۳ به ترتیب برای دبی اوج و حجم سیل روش SCS عملکرد بهتری نسبت به روش هورتون دارد. لذا از این مدل برای شبیه‌سازی در ادامه پژوهش استفاده شده است.



شکل (۱۱): هیدروگراف‌های شبیه‌سازی شده مدل SWMM حاصل از بارش با دوره بازگشت‌های مختلف
Figure (11): Simulated hydrographs of the SWMM model resulting from precipitation with different return periods

پتانسیل تولید رواناب در زیرحوضه فقیره و خضر خاکو همدان

طبق مشخصات فیزیوگرافی، مساحت نفوذناپذیر در آبریز شهری فقیره برابر ۶۵ درصد و در آبریز شهری خضر برابر ۵۰ درصد است. این نتیجه نشان می‌دهد که در آبریز شهری فقیره حدود ۳۵ درصد بارش مربوط به بخش نفوذ و تبخیر و تعرق است. بنابراین با افزایش سطح نفوذناپذیر شامل کاربری‌های ساختمانی و آسفالت جاده‌ها و خیابان‌ها، پتانسیل تولید رواناب افزایش یافته است که در سال‌های

اخیر توسعه فیزیکی شهر همدان در این عرصه یکی از علل افزایش سطوح نفوذ ناپذیر و افزایش رواناب شده است. اما در آبریز شهری خضر تبدیل ۵۰ درصد از رواناب حاصله به بخش تلفات (نفوذ و تبخیر و تعرق) پتانسیل تولید رواناب را کاهش یافته است. مهم‌ترین دلایل ضعف تولید رواناب در این آبریز شهری مربوط به عدم وجود شبکه زهکشی مصنوعی، وجود پوشش طبیعی در سطح زمین، هدر رفت ناشی از نفوذ، گیرش گیاهی و ذخیره چالابی می‌باشد که باعث شده این کاربری جزء سطوح نفوذپذیر قلمداد شود. با مقایسه دوره بازگشت‌های بارش ۲۴ ساعته نیز مشخص شد که در دوره بازگشت ۲۵ سال، حداکثر پتانسیل تولید رواناب و کمترین در دوره بازگشت ۲ سال ایجاد شده است. بنابراین با توجه به اهمیت جمع‌آوری رواناب‌ها در مناطق شهری، می‌توان بارش ۲۴ ساعته با دوره بازگشت ۲۵ سال را به عنوان بارش طرح معرفی کرد. این نتیجه دقیقاً مطابق با انتخاب بارش مذکور برای واسنجی مدل می‌باشد، که نشان می‌دهد برای بهینه‌سازی پارامترهای مدل SWMM، بارش ۲۴ ساعته با دوره بازگشت ۲۵ سال از کارایی بیشتری برای تجزیه و تحلیل ها برخوردار است. لذا نتایج نشان داد که حجم رواناب تولیدی از سیستم برابر ۳/۵۲ مترمکعب است و با توجه به مقادیر ضریب رواناب و مساحت واحد هیدرولوژیک مشخص شد که بیشترین مقدار حجم رواناب بارش طرح با ۱/۲۸ میلیون مترمکعب آبریز شهری فقیره و کمترین مقدار حجم رواناب بارش طرح با ۰/۴۶ میلیون مترمکعب مربوط به آبریز شهری خضر است و نشان می‌دهد که حوضه خضر سهم کمتری در تولید رواناب و رخدادسیلاب شهری همدان دارد.

نتیجه‌گیری

مدیریت جامع آبخیز در برگیرنده اقدامات متعددی است که در نهایت به توسعه پایدار آن ختم می‌شود. دستیابی به این امر مستلزم نگرش همه‌جانبه و دقیق به فرآیندهای داخل و خارج حوضه آبخیز می‌باشد. لذا رویکرد صحیح در بخش مدیریت رواناب مخصوصاً در سطوح توسعه و تغییر یافته کاربری‌ها از جمله کاربری‌های شهری بر اساس آمیزه‌ای از اهداف و استراتژی‌ها ضروری بنظر می‌رسد. مدل SWMM یکی از پیشرفته‌ترین روش‌ها به منظور تحلیل سیلاب محسوب می‌شود که در این تحقیق برای زیرحوضه شهری خاکو همدان به اجرا در آمد. به‌منظور برآورد حجم جریان رواناب سطحی در آبریزهای شهری، استفاده از داده‌های باران‌نگار و رواناب مشاهده‌ای در مقیاس‌های زمانی کوچک (۱۰ دقیقه یا ۳۰ دقیقه) ضروری است تا بتوان با هیدروگراف واقعی و مشاهده‌ای، مدل SWMM را واسنجی نمود. اما در این پژوهش به دلیل نبود آمار مشاهده‌ای رواناب، از مقادیر بارش طرح با دوره بازگشت‌های مختلف برای تحلیل عملکرد بارش‌های مختلف و پیش بینی جریان‌های سطحی استفاده شد. با این حال نتایج نشان داد که مدل SWMM می‌تواند با مدلسازی بارش- رواناب، ارتفاع و حجم رواناب آبریزهای شهری همدان را با دقت قابل قبولی برآورد کند. نتایج نشان داد روش SCS در مدل SWMM برای شبیه‌سازی بارش طرح و ارائه خصوصیات هیدرولوژیکی آبریزهای شهری از کارایی قابل قبولی برخوردار است. نتایج حاصل از این پژوهش بیانگر این است که کاربری های مسکونی بیشترین سهم را در پتانسیل سیل‌خیزی محدوده مطالعاتی دارد. چنانچه مساحت نفوذناپذیر در آبریز شهری فقیره برابر ۶۵ درصد و در آبریز شهری خضر برابر ۵۰ درصد است. این نتیجه نشان می‌دهد که در آبریز شهری فقیره حدود ۳۵ درصد بارش مربوط به بخش نفوذ و تبخیر و تعرق است. بنابراین با افزایش سطح نفوذناپذیر شامل کاربری‌های ساختمانی و آسفالت جاده‌ها و خیابان‌ها، پتانسیل تولید رواناب در زیرحوضه فقیره خاکو افزایش یافته است. مشاهدات میدانی بیانگر این است که در سال‌های اخیر توسعه فیزیکی شهر همدان در این عرصه یکی از علل افزایش سطوح نفوذناپذیر و افزایش رواناب شده است. از این‌رو نتایج حاصل از این بررسی نشان داد که توسعه روز افزون مناطق شهری همدان و از بین رفتن اراضی کشاورزی و افزایش زمین‌های غیرقابل نفوذ، موجب افزایش حجم و ارتفاع رواناب ناشی از بارش در حوضه شهری همدان شده است. لذا پیشنهاد می‌شود زیرحوضه‌های شهری همدان به خوبی ارزیابی و در جهت کاهش اثرات سیلابی آن‌ها مدیریت مناسب و طرح‌های حفاظتی و آمایش سرزمین اجرا شود.

References

Ahmadzadeh, H., Saeedabadi, R., & Nouri, A. (2014). Investigation and zoning of flood-prone areas. With an emphasis on urban floods (case study: Every Baku). Hydrogeomorphology Quarterly, 5(2).

Browne, S., Lintern, A., Jamali, B., Leitão, J. P., & Bach, P. M. (2021). Stormwater management impacts of small urbanising towns: The necessity of investigating the 'devil in the detail'. Science of the Total Environment, 757, 143835**.**

Esfandiari; F, Pourganji; Z., Mostafazadeh; R., Aghaei, M. (2022) Comparison of effective precipitation conversion methods to surface runoff in the simulation of flood hydrograph of Nenekaran basin, Ardabil province, Hydrogeomorphology Journal, Volume 9, Number 32, November 1401, page 63-86.

Ghaderi Dehkordi, N., Soleimani, K., Kavian, A., & Rashidpour M. (2019). Using the SWMM model in determining the ability to collect and exploit the runoff of Babolsar city, Mazandaran province, Journal of Watershed Engineering and Management , 4.

Hosseinzadeh; M, M, Salehipour; , A.R., Rezaian Zarandini, F. (2023) Zonificación de la sensibilidad de lassubcuencasdela cuenca Nakarood a las inundaciones, Neka-Mazandaran, Hydrogeomorphology Journal, Volumen 10, Número 34, mayo de 1402, páginas 75-100.

Liu, G., Chen, L., Shen, Z., Xiao, Y., & Wei, G. (2019). A fast and robust simulation-optimization methodology for stormwater quality management. Journal of Hydrology, 576, 520-527.

Nasehpour, M., Khozaimenejad, H., Fortun, E. (2019). Evaluation of the effects of urban development on runoff using the SWMM model (case study: Qom province), Environmental Science and Technology, 22(12), 79-89.

Nouri, Hosseini, S. M., Mansourian, H. (2023). Explaining the necessity of using new methods in the management of urban runoff with the approach of increasing resilience against floods (case example: Shiraz city), urban planning geography research, 38, 27 – 49.

Pyke, C., Warren, M.P., Johnson, T., James, Jr., LaGro, J.Jr., Scharfenberg, J., Groth, P., Freed, R., Scheoeer, W., & Main, E. (2011). Assessment of low impact development for managing storm water with changing precipitation due to climate change. Landscape Urban Plan, 103, 166-173.

Rezaei, F., Behermand, A., Vahad Bardi Sheikh, Dasturani, M., & Taj Bakhsh, M. (2017). Determining the most important parameters affecting the amount of urban runoff using the SWMM model (case study: Mashhad city, region 9). research paper Watershed management. 9(18), 135 -145.

Rossman, L.A. (2013). Storm Water Management Model User's Manual Version 5.0. EPA/600/R-05/040, National Risk Management Research Laboratory. United States Environmental Protection Agency, Cincinnati, Ohio.

Shahbazi, A., Khalighi Sigarodi, S., Malekian, A., & Selajgeh, A. (2016). Sensitivity analysis of the input parameters of SWMM urban runoff management model (Case study: Mahdasht city (watershed studies) research and construction, 30(14), 67 - 75.

Shahedi, K., Froutan Danesh, M. (2022) Simulation of river runoff using the WetSpa model in the Ghorchai catchment, Hydrogeomorphology Journal, Volume 9, Number 32, November 1401, page 25-42.

Smith, D., Li, J., & Banting, D. (2 5) A PCSWMM/GIS-based water balance model for the ReesorCreek watershed, Atmospheric Research, 77, 388–406.

Walsh, C. J., Booth, D. B., Burns, M. J., Fletcher, T.D., Hale, R. L., Hoang, L. N., & Wallace, A. (2016). Principles for urban stormwater management to protect stream ecosystems, Freshwater Science, 35(1), 398-411.

Wang, M., Zhang, D.Q., Adhityan, A., Ng, W.J., Dong, J.W., & Tan, S.K. (2018). Conventional and holistic urban stormwater management in coastal cities: a case study of the practice in Hong Kong and Singapore, J Water Resour Dev, 34(2), 192–212.

Wang, Y., Wang, H., Wang, M., Wu, Y., Liu, H., & Huang, H. (2020). Study on the Simulation and Evaluation of LID Adaptation Measures Based on SWMM, Journal of Water Resources Research, 9(1), 22-32.

Yar Ahmadi, Y., Qadawi, R., & Ghasemieh, H. (2020). Evaluating the efficiency of the SWMM model in order to investigate the flood nodes of the drainage network under the influence of climate change (Case study: East of six districts of Tehran municipality), 4(4), 326 – 338.

Zahedi Khamene, H., & Khodashanas, E. (2021). Investigating the performance of the surface water collection system and analyzing the sensitivity of the parameters affecting it (studying the 10th and 11th regions of Mashhad), Irrigation and Drainage Journal, Volume 15, Number 5 - serial number 89 Azar and 1400, pp, 1067-1080.

Zeng, Z., Yuan, X., Liang, J., & Li, Y. (2021). Designing and implementing an SWMM-based web service framework to provide decision support for real-time urban stormwater management. Environmental Modelling & Software, 135, 104887.

Hydrogeomorphology Vol. 11, No. 40, 2024

Research Paper

Spatial analysis of lithology in the occurrence of landslides in the eastern Alamut basin case study: Mo'alem-Kelayeh Basin

Golam Hassan Jafari[1]*, Zeinab Barati[2]

1. Associate Professor of Geomorphology, Department of Natural Geography, Faculty of Social Sciences, University of Zanjan, Zanjan, Iran. jafarihas@znu.ac.ir
2. Ph.D. student of Geomorphology, Tehran University, Tehran, Iran. zeynab_baratiii@yahoo.com

Keywords

Mass movement, Erosion, Landslide, Alamut, Northern Iran.

Received: 2024/05/01

Accepted: 2024/08/17

Published: 2024/10/21

ABSTRACT

The analysis of some geological features and structures can be used to determine Quaternary developments. Analyzing the types of landslides, their density, and scale is the key to identify the evolution of landforms. Based on this, the current research was carried out with the aim of spatial analysis of landslides that occurred in different lithologies of Mo'alem-Kelayeh basin, a part of eastern Alamut basinin of Qazvin province, between the longitudes 50°26'00″ to 50°31'20″ and the latitude 36°22'00″ to 36°30'00″, based on topographical, geological conditions, vegetation, the condition of waterways, and the proximity of different rocks in the area. According to the results, the Karaj, Rute, Shamshek and Neogene and destructive sediments are the most erodible formations in the studied area, which are the most important factors involved in the occurrence of mass movements on a micro and macro scale under the Mo'alem-Kelayeh basin. The nonresistant lithology is more extensive in the geographical levels downstream of the rivers.

In such areas, in addition to the loosening of the lithology in wide sections, the material and energy flowing in the river also increases, if due to the lower slope of the slopes, the effect of the river on the movements of the slopes becomes more limited. In the terrestrial levels close to the ridge line, matter and energy are less and lithology is more resistant; But due to the greater slope of the slopes and the involvement of physical weathering in the porosity of the rocks, the effect of the river on the occurrence of surface slope movements increases.

* Corresponding Author: Jafari, Golam Hassan
E-mail: jafarihas@znu.ac.ir

How cite to this article: Jafari,Golamhasan; Barati, Zeinab. (2024).
Spatial analysis of lithology in the occurrence of landslides in the eastern Alamut basin. Hydrogeomorphology, 11(39): 124–142.
DOI:10.22034/hyd.2024.61470.1738

Copyright: ©2024 by the authors. Publisher: University of Tabriz

Introduction

The Earth's surface, both on land and under the oceans, is constantly being changed by mass movements acting in response to gravitational forces. Landslides represent one type of these mass movements and describe "the movement of a mass or rock, debris, or soil down a slope" (Cruden, 1991). Landslide research is an interdisciplinary field that mainly attracts scientists of geomorphology, engineering geology and geotechnical engineering and requires the cooperation of researchers from fields such as geodesy, hydrogeology, geophysics and many others (Arbanas and Arbanas, 2015). Different classifications of landslides are associated with specific mechanics of slope failure and the properties and characteristics of failure types; Understanding the characteristics of the landslide hazard type in the study area is very important to consider when planning or taking appropriate measures to reduce the risk of casualties and damages. In determining the possible effects of a landslide and appropriate measures, the type of landslide, the potential speed of movement, the possible volume of movement, and the distance should be considered. Landslides can be classified into different types based on the type of movement and the type of material involved. Investigations show that less attention has been paid to the role of the proximity of different lithologies and the condition of waterways in relation to them in a single and combined manner in the investigation of landslides. In this study area, the density of landslides is high and due to the population concentration, it threatens the potential danger of abundance in the area.

Methodology

In order to investigate the effect of lithology on the occurrence of domain movements, if other effective factors are kept constant in this event, Moalem-Kalayeh basin was selected. For this purpose, the study area has been observed in several stages by collecting information in the library and in the field. In addition, using the 1:100,000 geological map of Qazvin-Rasht, lithologic map was prepared. 1:50000 topographic maps were georeferenced as geometric correction. In the analysis of landslides, an attempt was made to evaluate the difference of landslides in terms of extent, depth and density, without prejudice and with a phenomenological perspective, by making multiple visits to the region. For this purpose, landslides were compared and analyzed according to the lithology of the place, the way they are adjacent, the topography and slope of the place, the distance from the main and secondary ridges of the place, and the distance of the landslide from the nearest river valley of the place.

Results and Discussion

The lithology of the mirage basin at an altitude of more than 3000 meters is in a position that can cause micro-scale rotational landslides. At a distance of 280 to 480 meters from the water dividing line, the effect of lithology on slope movements decreases and the effect of the river on the occurrence of slope movements increased. Wherever there is a rock outcrop, range movements have produced a combination of slip and fall. In limestone and dolomite mass, no clear landslide has formed and most of the phenomenon of falling has occurred. However, at the junction of lime and dolomite with shale, siltstone and mudstone, sliding marks can be seen. Water penetration at the lithology boundary enables the conditions for the occurrence of range movements. In the conglomerate mass, the factors that increase the shear pressure have caused the mass movement of the transfer slip type. The rupture of materials in weak surfaces starts when the weight increases due to the amount of rainfall or the movement of rock fragments or the decrease in the resistance of sedimentary layers. The translational sliding movement in Mo’alem-Kelayeh basin has caused the creation of flat rupture surface in this mass. Rotational sliding along the banks of the river is a type of sliding that occurs due to the digging phenomenon of the river at the foot of the resistant layers; The transfer of materials from the base of resistant layers reduces the resistance of domains; In such a situation, the resistant mass becomes more resistant by receiving moisture, but the excavation and transfer of materials from their foot provides the

basis for the movement of upstream materials to the downstream side, which in case of absorbing a lot of water by the lithology in the area, the conditions are provided for the creation of landslides.

Conclusions

Karaj, Ruteh, Shemshak formations, and destructive sediments (Neogene) as the most important formations of the area are mostly erodible; For this reason, in the area of Mo'alem-Kelayeh, mass movements have occurred on a macro scale (the main slide overlooking Mo'alem-Kelayeh) and micro (including all kinds of sliding, falling and creeping movements). In resistant lithology, the slope of land surfaces is more susceptible to water flows, and the effect of the river on mass movements is greater. The nonresistant lithology is more extensive in the geographical levels downstream of the rivers. In such areas, in addition to the loosening of the lithology in wide sections, the material and energy flowing in the river also increases, if due to the lower slope of the slopes, the effect of the river on the movements of the slopes becomes more limited; Of course, due to the higher density of waterways, small landslides become denser. In the terrestrial levels close to the ridge line, matter and energy are less and lithology is more resistant; But due to the greater slope of the slopes and the involvement of physical weathering in the porosity of the rocks, the effect of the river on the occurrence of surface slope movements increases.

مقاله پژوهشی

تحلیل فضایی لیتولوژی در وقوع زمین‌لغزش‌های حوضه الموت شرقی مطالعه موردی حوضه معلم‌کلایه

غلام حسن جعفری[1]*، زینب براتی[2]

۱- دانشیار ژئومورفولوژی، گروه جغرافیا، دانشکده علوم انسانی، دانشگاه زنجان، زنجان، ایران. jafarihas@yahoo.com

۲- دانشجوی دکتری ژئومورفولوژی، گروه جغرافیای طبیعی، دانشکده جغرافیا و برنامه ریزی، دانشگاه تهران، تهران، ایران. zeynab_baratiii@yahoo.com

کلیدواژه‌ها

حرکات توده‌ای، فرسایش، زمین‌لغزش، الموت، شمال ایران

تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۰۲/12

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۰۵/۰4

تاریخ انتشار: ۱۴۰۳/۰۷/30

چکیده

تحلیل برخی از عوارض و ساختارهای زمین‌شناسی می‌تواند برای تبیین تحولات کواترنری مورداستفاده قرار گیرد. تحلیل انواع لغزش‌ها، وضعیت تراکم و مقایسه آن‌ها با هم، کلیدی برای شناسایی تکامل لندفرم‌ها است. پژوهش حاضر با هدف تحلیل مکانی زمین لغزش‌های رخداده در لیتولوژی‌های مختلف حوضه معلم کلایه بخشی از حوضه الموت شرق در استان قزوین، بین طول‌های جغرافیایی ″۰۰ ′۲۶ °۵۰ تا ″۲۰ ′۳۱ °۵۰ و عرض جغرافیایی ″۰۰ ′۲۲ °۳۶ تا ″۰۰ ′۳۰ °۳۶، بر اساس شرایط توپوگرافیکی، ژئولوژیکی، پوشش گیاهی، وضعیت آبراهه ها، مجاورت سنگ های مختلف منطقه صورت پذیرفت. بر اساس نتایج حاصله سازند کرج، روته، شمشک و رسوبات نئوژن و تخریبی به عنوان فرسایش پذیرترین سازندهای موجود در محدوده‌ی مورد مطالعه هستند که مهمترین عوامل دخیل در وقوع حرکات دامنه‌ای در مقیاس میکرو و ماکرو در زیر حوضه ی معلم کلایه می‌باشند. در سطوح ارضی پایین‌دست رودخانه‌ها، لیتولوژی آسیب‌پذیر وسعت بیشتری دارد. در چنین مناطقی علاوه بر سست‌تر شدن لیتولوژی در مقاطع وسیع و منقطع، ماده و انرژی جاری در رودخانه نیز افزایش می‌یابد، در صورتی که به دلیل شیب کمتر دامنه‌ها، اثرگذاری رودخانه بر حرکات دامنه‌ای محدودتر می‌شود. در سطوح ارضی نزدیک به خط الرأس، ماده و انرژی کمتر و لیتولوژی مقاوم‌تر است؛ ولی به علت شیب بیشتر دامنه‌ها و دخالت هوازدگی فیزیکی در تخلخل سنگ‌ها زمینه اثرگذاری رودخانه بر روی وقوع حرکات دامنه‌ای بیشتر می‌شود.

*نویسنده مسئول: غلام حسن جعفری

رایانامه: jafarihas@znu.ac.ir

ارجاع به این مقاله: جعفری، غلامحسن؛ براتی، زینب؛ (۱۴۰۳). تحلیل فضایی لیتولوژی در وقوع زمین‌لغزش‌های حوضه الموت شرقی(مطالعه موردی حوضه معلم‌کلایه). هیدروژئومورفولوژی، ۱۱(۴۰): 142-124.

DOI:10.22034/hyd.2024.61470.1738

Copyright: ©2024 by the authors. Publisher: University of Tabriz

مقدمه

ارزیابی کمی حساسیت زمین لغزش برای کاهش تلفات، خسارات مالی و خسارات اقتصادی ضروری است(گازتی و همکاران[1] ۲۰۱۲). نقش حرکات توده‌ای و فرآیندهای ژئومورفولوژیکی مرتبط، همراه با پارامترهای تشخیصی برای تشخیص انواع مختلف حرکت توده‌ای در میدان مورد بحث بسیاری از تحقیقات قرار می‌گیرد(گوئرا و همکاران[2] ۲۰۱۷). زمین‌شناسان، مهندسان و سایر متخصصان اغلب بر تعاریف منحصربه‌فرد و کمی متفاوت از زمین‌لغزش تکیه می‌کنند. این تنوع در تعاریف منعکس‌کننده پیچیدگی بسیاری از رشته‌های مرتبط بامطالعه پدیده‌های رانش زمین است (پردهن و همکاران[3] ۲۰۱۹). تحقیقات زمین‌لغزش یک زمینه میان‌رشته‌ای است که عمدتاً توجه دانشمندان ژئومورفولوژی، زمین‌شناسی مهندسی و مهندسی ژئوتکنیک را به خود جلب می‌نماید و همکاری محققان رشته‌هایی مانند ژئودزی، هیدروژئولوژی، ژئوفیزیک و بسیاری دیگر را می‌طلبد (ارباناس[4]و ارباناس، ۲۰۱۵). زمین‌لغزش ممکن است اشکال بسیار متفاوتی داشته باشد. بنابراین، اصطلاحات جامعی در مورد این پدیده‌ها در ادبیات وجود دارد (کرودن[5]۱۹۹۱). ترزاقی[6](۱۹۵۰) علل زمین‌لغزش را به علل خارجی و داخلی تقسیم می‌کند. علل خارجی منجر به افزایش تنش برشی می‌شود (عوامل زمین‌شناسی شامل سنگ‌شناسی یا نوع خاک، ویژگی‌های ناپیوستگی ساختاری، مقاومت برشی مواد، وضعیت آب‌های زیرزمینی و تأثیر آن، هندسه شیب شامل شیب، جهت، ارتفاع و خمیدگی، تخلیه پای شیب، بارگذاری در قسمت‌های فوقانی شیب، ضربه‌ها و ارتعاشات، کاهش و یا تغییر رژیم آب). علل داخلی که منجر به کاهش مقاومت برشی می‌شود شامل شکست پیشرونده، هوازدگی، فرسایش کندوکاوی، لرزه‌خیزی و فعالیت‌های دست‌ساز مانند؛ فعالیت‌های ساختمانی و شیوه‌های کشت در مناطق کوهستانی) (بامر و رودری گوئز[7] ۲۰۰۲). تنوع زیاد حرکات توده‌ای نشان دهنده تنوع شرایط ناپایدار کننده شیب از یک سو و فرایندهای دخیل در وقوع حرکات توده‌ای از سوی دیگر است. شرایط زمین استاتیک را به اندازه کافی تغییر می دهند تا باعث از کار افتادن سیستم شیب شود (پوپسکو[8] ۱۹۸۴).

در نقشه‌برداری حساسیت زمین‌لغزش با استفاده از ترکیب خطی وزنی مبتنی بر ArcGIS منطقه تسوگاوا در رودخانه آگانو، استان نیگاتا[9] ژاپن میزان تولید رسوبی سالانه منطقه بسیار زیاد برآورد گردید به گونه‌ای که علی رغم کوچکی منطقه یکی از بالاترین رقم‌های تولید رسوب در جهان محسوب شد (آیالاو و همکاران[10]؛ ۲۰۰۴). بر اساس کاوش داده‌های فضایی حاصل از دانش سنجش‌ازدور، رانش زمین در سه گردنه از کشور ژاپن پیش‌بینی فضایی گردید. بدین منظور از دو روش شی‌گرا و پیکسل‌گرا برای مطالعه زمین لغزش بهره گرفته شد، نتایج تحقیق حاکی از آن است که روش شی‌گرا در مقایسه با روش پیکسل گرا کارایی بالاتری دارد و نتایجِ طبقه بندی پیوسته‌تر و دقت پیش‌بینی بالاتر دارند (وانگ و نایو[11]؛ ۲۰۱۰). با بررسی عملکرد رسوب حوضه‌های صخره‌ای تایوان در ارتباط با زمین‌لغزش و بارندگی نتیجه گرفته شد که وقتی رانش‌های بزرگ‌تر از بارش‌های بیشتر ایجاد شوند، مواد سست‌تر به وسیله رودخانه‌ها حمل می‌شوند و منجر به رسوب بیشتر و افزایش قابل‌توجه حرکات توده ای در تایوان می‌گردند (چن و همکاران[12]؛ ۲۰۱۸). بر طبق داده‌های به‌دست‌آمده از توده زمین‌لغزش در دامنه آسیب‌پذیر رودخانه گلدانیسخوی[13]نتیجه گرفتند که زمین‌لغزش روی‌داده در مرحله فعال خود قرار دارد که خطر اکولوژیکی بزرگی متوجه جمعیت سکونتگاه مامکودا[14]و بزرگراه مجاور این دامنه محسوب می‌شود (کوبولاوا و چاخایا،[15] ۲۰۱۸). نتیجه بررسی و منطقه بندی واحدهای مسکونی بخش دبیرخانه حلی‌اله سریلانکا[16]در سه گروه خطرناک، بسیار خطرناک و خطرناک، چنین بود که پایداری دامنه تپه توسط تعادل عوامل پایداری کنترل می شود. اگر ثبات از بین برود، به تدریج یا فورا، شکست شیب رخ می‌دهد. ارزیابی علل ناپایداری برای تجزیه و تحلیل خطر و کاهش خطر و برای در نظر گرفتن نقش زمین‌لغزش در سیستم‌های چشم‌انداز و تکامل مفید است (پراسانا و گناانتیپان[17]؛ ۲۰۱۸). در بررسی وقوع لغزش در امتداد جاده‌های کوهستانی در بخش شمالی الجزایر چنین

1. Guzzetti et al
2. Guerra et al
3. Pradhan et al
4. Arbanas
5. Cruden
6. Terzaghi
7. Bommer & Rodrı guez
8. Popescu
9. Tsugawa area of Agano River, Niigata Prefecture
10. Ayalew et al
11. Wang & Niu
12. Chen & et al
13. Gldaniskhevi River
14. Mamkoda
15. Khubulava & Chakhaia
16. Hali-Ela of Sri Lanka
17. Prasanna & Gnanatheepan

نتیجه گرفته شد که لغزش‌ها در امتداد جاده کوهستانی بزرگراه شمال شرقی الجزایر عمدتاً در لایه رسی که بلافاصله در زیر سطح مرطوب یافت می‌شود رخ می‌دهد. تغییر شکل شیب معمولاً پس از چندین دوره خشک و مرطوب شدن اتفاق می‌افتد که منجر به ایجاد ترک‌های عمودی زیادی در تاج شیب می‌شود. علاوه بر آن فعالیت لرزه‌ای یک عامل محرک بسیار مهم در ناپایداری شیب محسوب می‌شود (اوگیلا[1] ۲۰۲۱). نتایجبررسی علل زمین لغزش و زمان‌بندی منطقه‌ای آن این بود که زمان‌بندی شکست، توسط یک محرک خاص، می‌تواند با شناسایی و ارزیابی الگوهای حرکتی، ایجاد آستانه‌های تحریک یا استفاده از روش‌های احتمالی پیش‌بینی شود (مک‌کول[2] ۲۰۲۲).

عوامل مختلف طبیعی و انسانی مؤثر بر زمین‌لغزش را رمضانی گورابی و ابراهیمی (۱۳۸۸) شناسایی و توصیف نمودند. برای جلوگیری از وقوع این بلایای طبیعی راهکارهای تثبیت مواد دامنه ای را ارائه نمودند که می توان از آن‌ها در مدیریت بحران استفاده نمود. با اولویت‌بندی عوامل مؤثر بر وقوع زمین‌لغزش با استفاده از فرآیند تحلیل سلسله مراتبی نتیجه گرفته شد که عوامل سنگ‌شناسی، کاربری اراضی و درصد شیب به ترتیب بیشترین تأثیر را بر وقوع زمین‌لغزش‌های بخش شمالی استان فارس دارند (سوری و همکاران، ۱۳۹۲). با تلفیق مکانی پهنه‌های زمین‌لغزش‌های شناسایی شده در گستره رودبار با پهنه‌های تکتونیکی استخراج شده، نتیجه گرفته شد که ۴۰ درصد پهنه‌های لغزشی زیر حوضه رودبار در پهنه‌های دارای فعالیت تکتونیکی شدید و ۶۰ درصد پهنه‌های لغزشی در زیر حوضه مذکور در مناطق فعال تکتونیکی رخ داده است (کیانی و همکاران، ۱۳۹۹). در بررسی منطقه‌ی پایین دست سد سنندج براساس مدل‌سازی به این نتیجه رسیدند که حدود ۳۹ درصد(مدل شبکه‌ی عصبی) و ۴۲ درصد(مدل تاپسیس) از منطقه مورد مطالعه در محدوده‌ی مناطق نامطلوب و بسیار نامطلوب واقع شده اند (حجازی و همکاران، ۱۳۹۹). معیارهای مؤثر بر ناپایداری‌ها، مانند بارش، زلزله، پوشش گیاهی، کاربری اراضی، زمین‌شناسی، رودخانه، گسل، شیب و جهت شیب و راه‌های ارتباطی استان تهران با رویکرد واریزه موردبررسی قرار گرفت (ساسان‌پور و محمدی، ۱۴۰۰). با بررسی نقاط حادثه‌خیز زمین‌لغزش استان مازندران با استفاده از سیستم اطلاعات جغرافیایی[3]و به کمک روش توصیفی و تحلیلی و پیمایش، به این نتایج رسیدند که حداکثر زلزله‌ی قابل رخداد در این استان به مقدار ۸/۲ ریشتر و به‌واسطه فعالیت گسل خزر خواهد بود (خزاعی و همکاران، ۱۴۰۰). نتیجه بررسی مناطق مستعد وقوع زمین‌لغزش دهستان زاورود بر اساس مدل تلفیقی فازی این بود که منطقه از نظر پتانسیل لغزش از خیلی زیاد، زیاد، متوسط تا کم در چهار رده طبقه‌بندی می‌شود (جمال‌آبادی و همکاران، ۱۴۰۰). ریسک زمین‌لغزش حوزه‌آبخیز شاهرود استان قزوین و تهیه نقشه حساسیت زمین‌لغزش با استفاده از مقادیر مختلف گاما این نتایج را نشان داد که بالاترین مقدار شاخص مجموع مطلوبیت متعلق به عملگر فازی با گامای برابر با ۰/۹۳ بوده و لذا این مدل از دقت بالاتری نسبت به سایر مقادیر گاما برخوردار است (مصفایی و همکاران، ۱۴۰۱). نتایج مطالعه زمین لغزش‌های استان چهارمحال و بختیاری با اجرای مدل رگرسیون لجستیک نشان داند که از بین متغیرهای مورد بررسی، به ترتیب جنس(آهک، شیل و مارن) و شیب زمین، موثرترین عوامل ایجاد زمین لغزش منطقه محسوب می شوند (تخریب صدیقی و قاسمی، ۱۴۰۲). نتایج بررسی و پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش شهرستان گرمی نشان می دهد که معیارهای کاربری اراضی، شیب، لیتولوژی به ترتیب مهم ترین عوامل دخیل در ایجاد خطرزمین‌لغزش هستند (آقایاری و همکاران، ۱۴۰۲).

به دلیل نقش کم کربنات‌ها در سیمانه شدن کنگلومرا شرایط را برای زمین لغزش بزرگ فراهم می کند؛ براثر وقوع زمین‌لغزش وسیع با ابعاد چندین هکتار (جعفری و خدایی، ۱۴۰۲؛ رجبی و همکاران، ۱۴۰۱؛ بهشتی راد و همکاران، ۱۳۸۸) گسیختگی‌ای در کنگلومرای معلم کلایه با رخنمون قائم ۲۰۰ متری ایجاد شده است. در بررسی زمین‌لغزش به نقش مجاورت لیتولوژی‌های مختلف و وضعیت آبراهه‌ها نسبت به آن‌ها کمتر توجه شده است. حوضه الموت شرقی و بالتبع حوضه معلم کلایه، حوضه‌هایی به شدت شکسته شده‌ای هستند که لیتولوژی‌های مختلف به انواع متفاوتی در مجاورت هم قرار گرفته اند؛ به‌گونه‌ای که از خط ارأس به سمت آبریز، تناوبی از لیتولوژی‌های

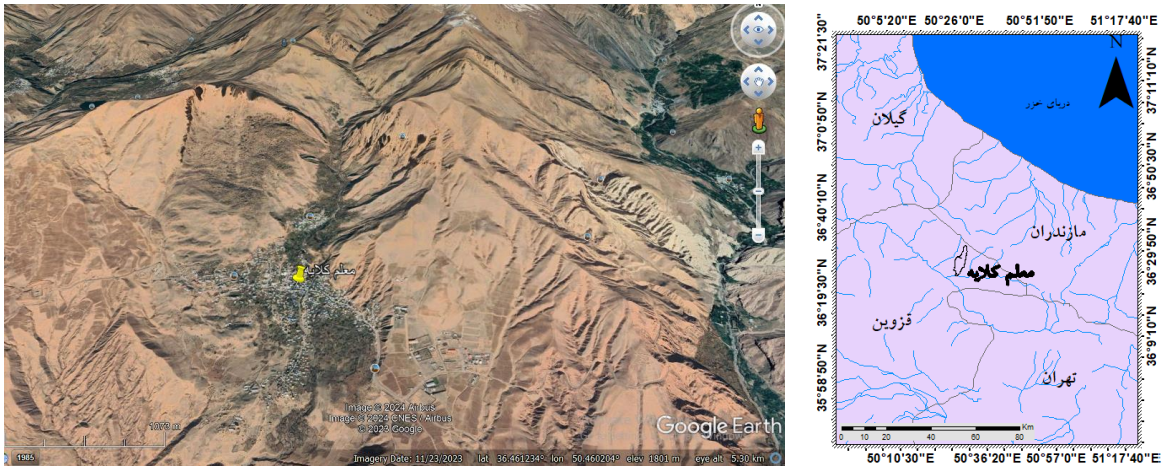
[1]. Ogila [2]. McColl [3]. ARC GIS

مختلف وجود دارد؛ چنین وضعیتی گاه تقویت کننده و گاه تحلیل برنده حرکات دامنه‌ای است. براین اساس مکانیسم وقوع انواع زمین لغزش در حوضه معلم کلایه با در نظر گرفتن لیتولوژی‌های مختلف مورد تجزیه و تحلیل قرار می‌گیرد.

مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه

حوضه‌ی موردمطالعه در شمال شرق استان قزوین و بین طول‌های جغرافیایی ″۰۰ ′۲۶ °۵۰ تا ″۲۰ ′۳۱ °۵۰ و عرض جغرافیایی ″۰۰ ′۲۲ °۳۶ تا ″۰۰ ′۳۰ °۳۶ قرار دارد. این حوضه‌ی آبریز، زیرحوضه‌ای از حوضه‌ی وسیع سفیدرود، در شمال شرقی قزوین، در بخش معلم‌کلایه واقع گردیده است. معلم‌کلایه در فاصله ۸۶ کیلومتری قزوین قرار دارد (شکل ۱). مساحت حوضه ۳۹ کیلومترمربع و محیط حوضه آبریز برابر با ۳۵ کیلومتر می‌باشد. حداکثر ارتفاع در حوضه ۳۲۴۲ متر در قله خشچال و حداقل ارتفاع ۱۱۲۹ متر مربوط به نقطه خروجی حوضه در محل الحاق الموت رود به رودخانه شاهرود می‌باشد. ارتفاع متوسط حوضه ۲۱۸۵ متر محاسبه گردیده است. شیب سطحی حوضه بین صفرتا ۶۴ درصد در متغیر است.



شکل(۱): موقعیت حوضه معلم‌کلایه.

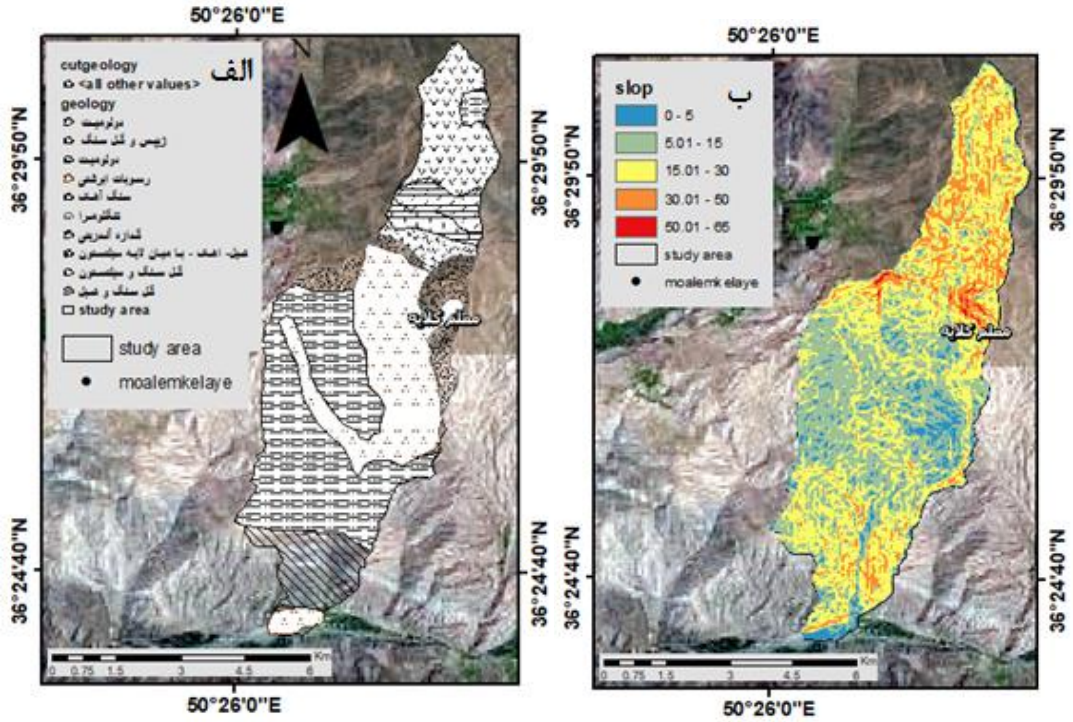
Figure (1): Location of Mualem Kalaye watershed.

ازنظر زمین‌شناسی حوزه مطالعاتی مشتمل بر رسوبات چینه‌شناسی دوران اول، تشکیلات اینفراکامبرین، بین خطالرأس ارتفاعات شمالی از شمال روستای معلم کلایه به‌طرف شرق تا شمال شرق است. سنگ‌های سازند کرج (پالئوژن) در حوزه موردبررسی شامل گدازه بازیک و آندزیت می‌باشد. رخساره‌هایی از سنگ‌آهک سازند مبارک و ماسه‌سنگ لالون همراه میان لایه شیل و دولومیت نیز بخشی از محدوده را به خود اختصاص داده است. تشکیلات سازند قرمز بالایی و هزار دره وسیع‌ترین تشکیلات منطقه به شمار می‌رود، به‌طوری‌که حدود ۶۰ درصد سطح حوضه را می‌پوشاند. تقریباً به‌جز بخش شمالی، تمام بخش‌های دیگر، متشکل از رخساره‌های گوناگون این سازند است و تنها در ارتفاعات شمالی است که بین رسوبات کرتاسه و اینفرا کامبرین و تشکیلات نئوژن، از وسعت آن کاسته می‌شود (شرح نقشه زمین‌شناسی ۱/۱۰۰۰۰۰ برگ قزوین – رشت - سازمان زمین‌شناسی کشور ۱۳۵۲)(شکل ۲).

روش

این پژوهش از نوع تحقیقات کاربردی-تجربی و از نظر روش، جزء تحقیقات توصیفی-تحلیلی است. جهت بررسی میزان اثرگذاری لیتولوژی در وقوع حرکات دامنه‌ای در صورت ثابت نگه‌داشتن فاکتورهای مؤثر دیگر در این رخداد، حوضه معلم‌کلایه انتخاب گردید. بدین منظور با جمع‌آوری اطلاعات به‌صورت کتابخانه‌ای و میدانی در چندین مرحله به مشاهده‌ی منطقه‌ی موردمطالعه پرداخته‌شده است. علاوه بر این به کمک نقشه زمین‌شناسی ۱:۱۰۰۰۰۰ قزوین، رشت نقشه لیتولوژی تهیه گردید. نقشه‌های توپوگرافی ۱:۵۰۰۰۰ به‌صورت تصحیح

هندسی ژئورفرنس شد. در بازدیدهای میدانی جی‌پی‌اس، قطب‌نما و دوربین عکاسی از ابزارهای مورداستفاده بود. پردازش داده‌ها در محیط نرم‌افزارهای گلوبال‌مپر[1]۱۸، آرک جی.آی.اس ۱۰/۶و پورت‌ایبل‌بیس‌مپ‌سرور[2]و تهیه بانک لایه‌های اطلاعاتی در آرک جی.آی.اس صورت گرفت. از گوگل‌ارث[3]برای بررسی و نمایش لغزش‌های شناسایی‌شده استفاده گردید (شکل ۳). در تجزیه و تحلیل زمین‌لغزش‌ها سعی بر آن شد که بدون پیش داوری قبلی و با دید پدیدارشناسانه (دیدی که اجازه ظهور به پدیده‌ها را آنگونه که هستند بدهد)، با انجام بازدیدهای متعدد از منطقه، تفاوت زمین‌لغزش‌ها را از نظر وسعت و عمق و تراکم مورد ارزیابی قرار دهیم. برای این منظور زمین‌لغزش‌ها با توجه به وضعیت لیتولوژی محل، نحوه همجواری آن‌ها، وضعیت توپوگرافی و شیب محل، فاصله از خط الرأس اصلی و فرعی محل و فاصله زمین‌لغزش از نزدیک ترین تالوگ رودخانه‌ای محل با یکدیگر مقایسه و مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت.



شکل(۲): تصویر الف) نقشه شیب منطقه مطالعاتی. تصویر سمت ب) نقشه زمین‌شناسی منطقه

Figure (2): A). Slope map of the study area. B). Geological map of the area

یافته‌های تحقیق

در این مقاله سعی بر بررسی نقش سازندهای زمین شناسی در وقوع رخداد زمین لغزش شده و سه نوع از انواع حرکات دامنه‌ای (انتقالی- چرخشی- خاک روانی) در ارتباط با لیتولوژِ ی شناسایی شده است. ۱- حرکات چرخشی: بر اساس عامل مؤثر در وقوع آن خود به دو نوع الف) گسیختگی ساختی و شرایط زمین شناسی و ب) زیربری رودخانه تقسیم می شود. لیتولوژی سراب حوضه در ارتفاع بالاتر از ۳۰۰۰ متری (مرتفع‌ترین قسمت حوضه که خط تقسیم آب نیز شناخته می شود) در وضعیتی قرار دارد که می‌تواند زمین‌لغزش چرخشی با ابعاد میکرو را ایجاد کند (شکل ۴الف). بافاصله ۲۸۰ تا ۴۸۰ متری از خط تقسیم آب اثر لیتولوژی در حرکات دامنه کاهش می‌یابد و اثر زیریری رودخانه بر روی وقوع حرکات دامنه‌ای بیشتر می‌شود؛ یعنی هرچند لیتولوژی حوضه تا فاصله‌ای از مرز تقسیم آب یکدست است ولی به‌صورت مجزا و انتزاعی با توجه به ویژگی های زمین شناسی و ساختی فقط منجر به ناپایداری دامنه با غلبه ریزش و حرکات انتقالی ساده شده است؛ در صورتی که بافاصله ۲۸۰ تا ۴۸۰ متری از خط الرأس حرکات دامنه‌ای متأثر از زیربری رودخانه شده‌اند. ۲- حرکات انتقال (ساده) در رخنمون‌های رخنمون سنگی، حرکات دامنه‌ای ترکیبی از لغزش و ریزش هستند. این وضعیت تقریباً در اکثر

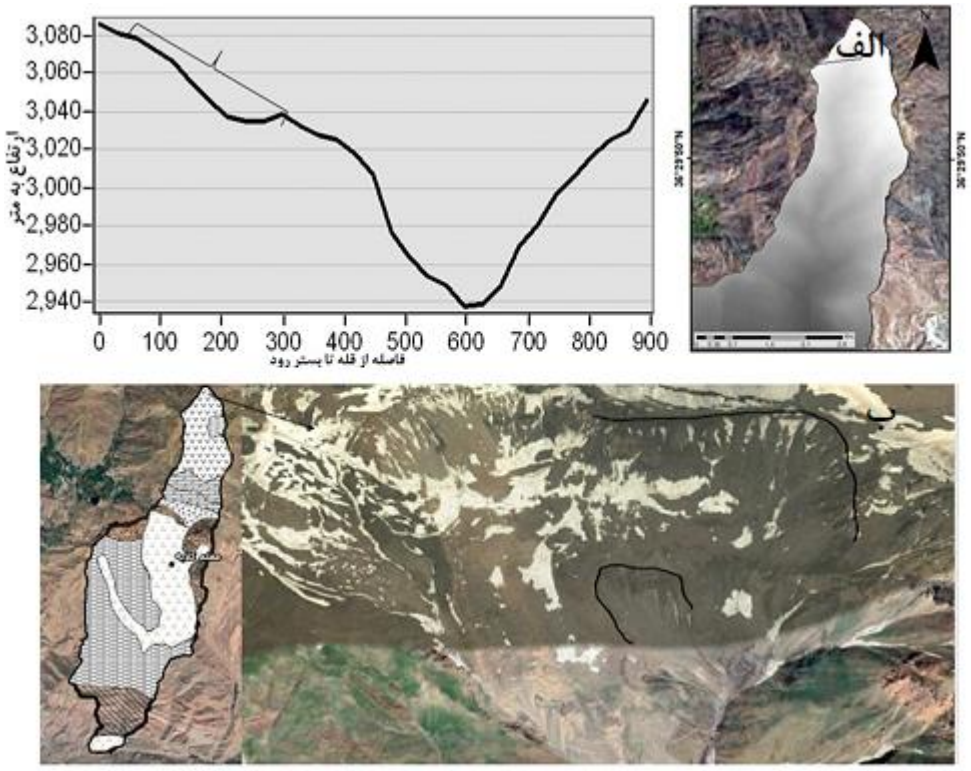
[1]. Global Mapper
[2]. Portable Basemap Server
[3]. Google Earth

لیتولوژی بالادست (آندزیت و گل‌سنگ و سیلتستون) غلبه دارد. لغزش‌های اتفاق افتاده در این قسمت معمولاً عمق زیاد ندارند و سطحی هستند و به علت وقوع دائمی این نوع حرکات دامنه‌ای شرایط تشکیل پوشش گیاهی و خاک ضخیم فراهم نشده است (شکل ۴ب).



شکل (۳): فلوچارت تحقیق نقش لیتولوژی در وقوع زمین‌لغزش حوضه معلم‌کلایه.

Figure (3): Flowchart of research on the role of lithology in the occurrence of landslides in Mo'alem-Kelayeh basin.

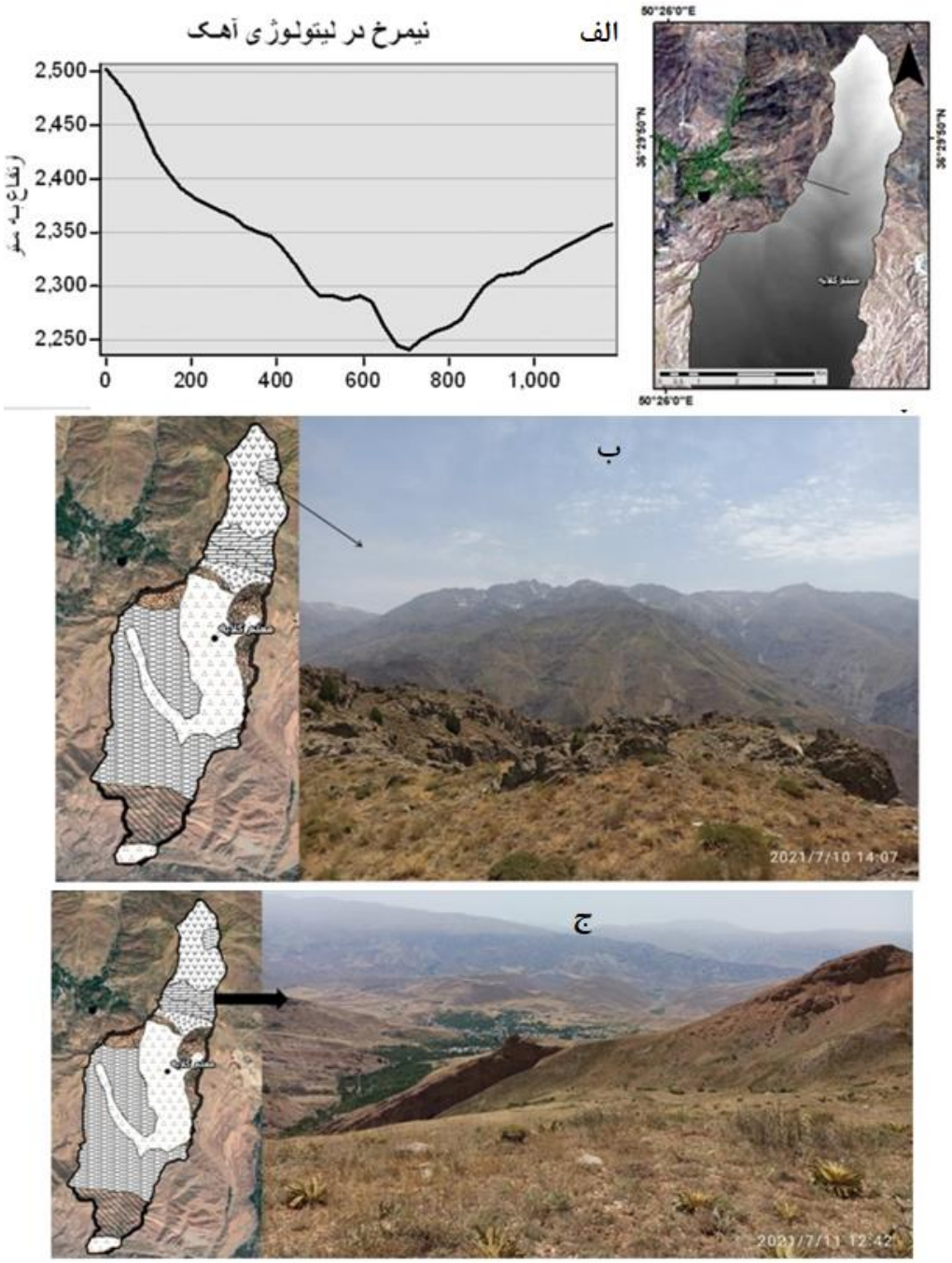


شکل(۴): زمین‌لغزش چرخشی با ابعاد میکرو در سراب حوضه (الف). ترکیبی از لغزش و ریزش در لیتولوژی مقاوم (ب).

Figure (4): Rotational landslide with micro dimensions in the mirage of the basin (a). A combination of slip and fall in resistant lithology (b)

در توده آهکی و دولومیتی، زمین‌لغزش واضحی شکل نگرفته و بیشتر پدیده ریزش رخ داده است (شکل ۵الف و ب). بااین‌وجود در محل اتصال آهک و دولومیت به شیل سیلتستون و مادستون آثار لغزشی قابل‌مشاهده است (شکل ۵ج). نفوذ آب در مرز لیتولوژی (آهک و دولومیت با شیل سیلتستون و مادستون) شرایط را برای وقوع حرکات دامنه‌ای میسر می‌سازد. آهک و دولومیت در منطقه مطالعاتی به‌صورت لایه ضخیم و پیوسته نیست بلکه همراه میان لایه‌های شیل و سیلتستون مشاهده می‌شود. وجود این میان لایه شرایط لازم

برای وقوع لغزش چرخشی را فراهم می‌کند. البته با توجه به اثر انحلال در آهک و شکل گیری دولین، اثرِ انحلال را در وقوع چنین لغزش‌های نمی توان نادیده گرفت؛ ولی تسلط سیلتستون در لیتولوژی اجازه انحلال کامل و تشکیل هالوکارست را نداده است.

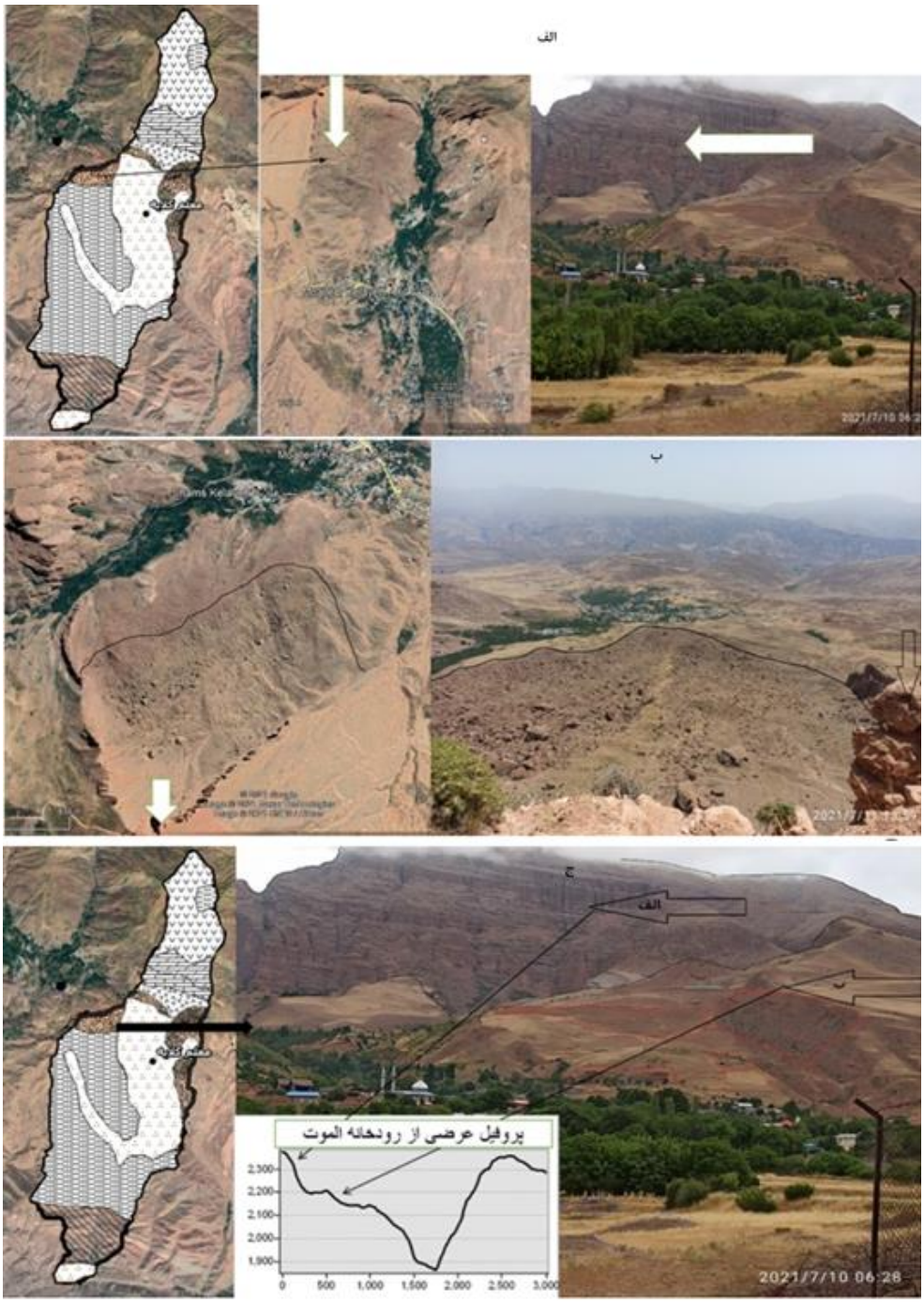


شکل (۵): وقوع زمین‌لغزش در لیتولوژی آهکی. نمایش در لایه رقومی ارتفاع همراه با نمودار (الف). نمایش در سطح زمین با لیتولوژی نسبتا یکدست (ب)، در جوار لیتولوژی آهکی (ج).

Figure (5): Occurrence of landslides in limestone lithology. Display in the digital layer of the height along with the diagram (a). Representation on the surface of the earth with relatively uniform lithology (b), next to calcareous lithology (c)

با بررسی ساختارهای زمین‌شناسی تشکیل‌دهنده حوضه معلم‌کلایه، نقش توده کنگلومرایی موجود در حوزه مطالعاتی برای مساعد کردن رخداد زمین‌لغزش اصلی معلم‌کلایه در مقیاس ماکرو کاملاً مشخص است. در این توده عواملی که فشار برشی را افزایش می‌دهند باعث وقوع حرکت توده‌ای از نوع لغزش انتقالی شده است. گسیختگی مواد در سطوح ضعیف زمانی آغاز می‌شود که افزایش وزن براثر مقدار بارندگی یا حرکت قطعه سنگ‌ها و یا کم شدن مقاومت لایه‌های رسوبی رخ دهد. حرکت لغزشی انتقالی در حوضه معلم‌کلایه باعث ایجاد

سطح گسیختگی مسطح در این توده شده است. با توجه به وضعیت قرارگیری لیتولوژی‌های مختلف به صور گوناگون در اطراف توده کنگلومرایی انواع مختلف زمین‌لغزش در آن رخ خواهد داد (شکل ۶الف، ب وج)



شکل (۶): زمین‌لغزش در کنگلومرا. الف) از سمت راست: جهت فلش نمایانگر قسمت مرتفع کنگلومرا و شروع سطح گسیختگی. موقعیت قسمت آن در تصویر گوگل ارث و لایه زمین شناسی. ب) زمین‌لغزش انتقالی بزرگ معلم‌کلایه در کنگلومرا. سمت راست عکس میدانی و سمت چپ تصویر گوگل ارث. ج) لغزش انتقالی ماکرو و چرخشی میکرو در مشاهدات میدانی و تصویر گوگل ارث.

Figure (6): Landslide in conglomerate. A) From the right side: the direction of the arrow represents the high part of the conglomerate and the beginning of the rupture surface. The position of its part in the Google Earth image and geological layer. b) Large transition landslide of Mo'alem-Kelayeh in conglomerate. The right side of the field photo and the left side of the Google Earth image. c) Macro translational and micro rotational slip in field observations and Google Earth image.

در کنار لیتولوژی کنگلومرا، سیلتستون، شیل همراه میان لایه‌هایی از ماسه‌سنگ نیز دیده می‌شود. عرض حوضه در این قسمت به حداکثر خود می‌رسد (حدود ۱۲ کیلومتر). محدوده مذکور را در چهار بخش می‌توان مورد بررسی قرار داد. در قسمت غربی (شکل ۷ الف)، غلبه لیتولوژی با سیلتستون با شیب ۳۰ درجه بر روی کنگلومرا است. این محدوده فاقد پوشش گیاهی بوده و زمین‌لغزش مکرراً در این قسمت رخ می‌دهد. وجود سیلتستون ضخیم بامیان لایه‌هایی ماسه‌سنگی باعث شده است که زمین‌لغزش‌های این محدوده در مقیاس میکرو و از نوع چرخشی باشد. مشرف به این قسمت (شکل ۷ ب)، رخنمون‌های کنگلومرا قابل‌مشاهده است که عامل اصلی زمین‌لغزش بزرگ معلم‌کلایه هستند و حجم زیادی از مواد را در وسعت ۱۰ الی ۱۲ کیلومتر جابجا کرده و باعث شده است که سیلتستون نقش کمتری را ایفا کند. جابجایی توده‌ای کنگلومرا با ضخامت ۳۰۰ متر و در امتداد ۸۰ متر، منجر به توزیع ۲۴ هزار مترمکعب کنگلومرا روی سیلتستون شده است. لازم به ذکر است که همراه جابجایی کنگلومرا، در حدود ۶۵ هزار مترمکعب سیلتستون نیز جابجا شده که روی‌هم‌رفته ۹۰ هزار کیلومترمربع جابجایی مواد صورت گرفته است (جعفری و خدایی، ۱۴۰۲). در این محدوده دو نوع لغزش (چرخشی و انتقالی) رخ‌داده است. علت وقوع این زمین‌لغزش جای بحث دارد. خارج از نقش درز و شکاف و لیتولوژی کنگلومرا و سیلتستون، شرایط لیتولوژیکی و هیدرولوژیکی اطراف محدوده قابل‌بررسی است. سیلتستون مسلط به کنگلومرا در قسمت غربی این منطقه، همراه لایه‌های آهکی بالادست، باعث شدند که در فاصله یک کیلومتری از این محدوده حوضچه‌های لغزشی ایجاد شوند که باعث نفوذ آب به داخل زمین شده و هم‌زمان درز و شکاف سطحی و عمقی در کنگلومرا شرایط لازم برای وقوع زمین‌لغزش معلم‌کلایه را فراهم کرده است. در قسمت شرقی رودخانه معلم‌کلایه (شکل ۷ ج) کنگلومرا با شیب ۳۰ درجه وجود دارد که سیلتستون آن را در برگرفته است. زمین‌لغزش چرخشی روی کنگلومرا در این منطقه رخ نداده است و منطقه بیشتر تحت تأثیر حرکات دامنه‌ای از نوع ریزشی است. سیلتستون موجود در قسمت شرقی زمین لغزش (شکل ۷ د) عملکردی مشابه سیلتستون قسمت غربی را دارد و منطقه‌ای بدون پوشش گیاهی را ایجاد کرده است. در قسمت انتهایی حوضه مورد بررسی در اثر وقوع حرکات دامنه‌ای سطح اصلی منطقه به مجموعه‌ای از ارتفاعات کوچک و فرورفتگی‌ها تقسیم‌شده است.

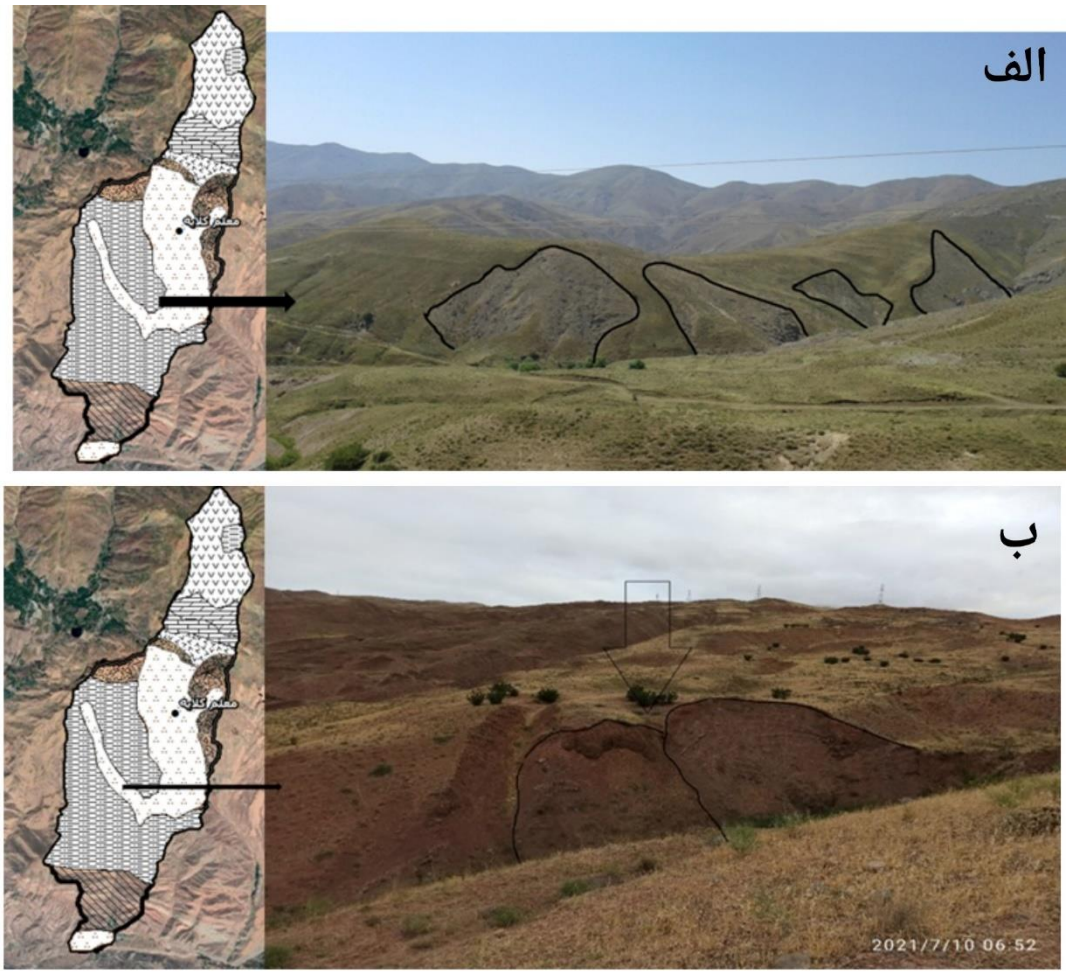


شکل (۷): زمین‌لغزش در لیتولوژی مجاور کنگلومرا. الف) سیلتستون. ب) کنگلومرا. ج) سیلتستون. د) کنگلومرای مسلط به سیلتستون.

Figure (7): Landslide in conglomerate adjacent lithology. A) Siltstone. b) Conglomerate. c) Siltstone. d) Conglomerate dominated by siltstone.

لغزشِ چرخشی در امتداد سواحل رودخانه نوعی از لغزش است که براثر پدیده کندوکاو رودخانه در پای لایه‌های مقاوم به وجود می‌آید؛ انتقال مواد از پای لایه‌های مقاوم، باعث کاهش مقاومت دامنه‌ها می‌شود؛ در چنین شرایطی توده مقاوم با دریافت رطوبت، مقاوم‌تر می‌شود (به دلیل افزایش نیروی کششی بین ملکول‌ها و اجزای نفوذپذیر لایه رسوبی) ولی حفر و انتقال مواد از پای آن‌ها زمینه حرکت مواد بالادست را به سمت پایین‌دست فراهم می‌کند که در صورت جذب آب فراوان توسط لیتولوژی موجود در دامنه، شرایط برای ایجاد زمین‌لغزش جریانی فراهم می‌شود. شواهد این نوع لغزش را می‌توان به‌وفور در اطراف رودخانه الموت مشاهده کرد (شکل ۸الف). این

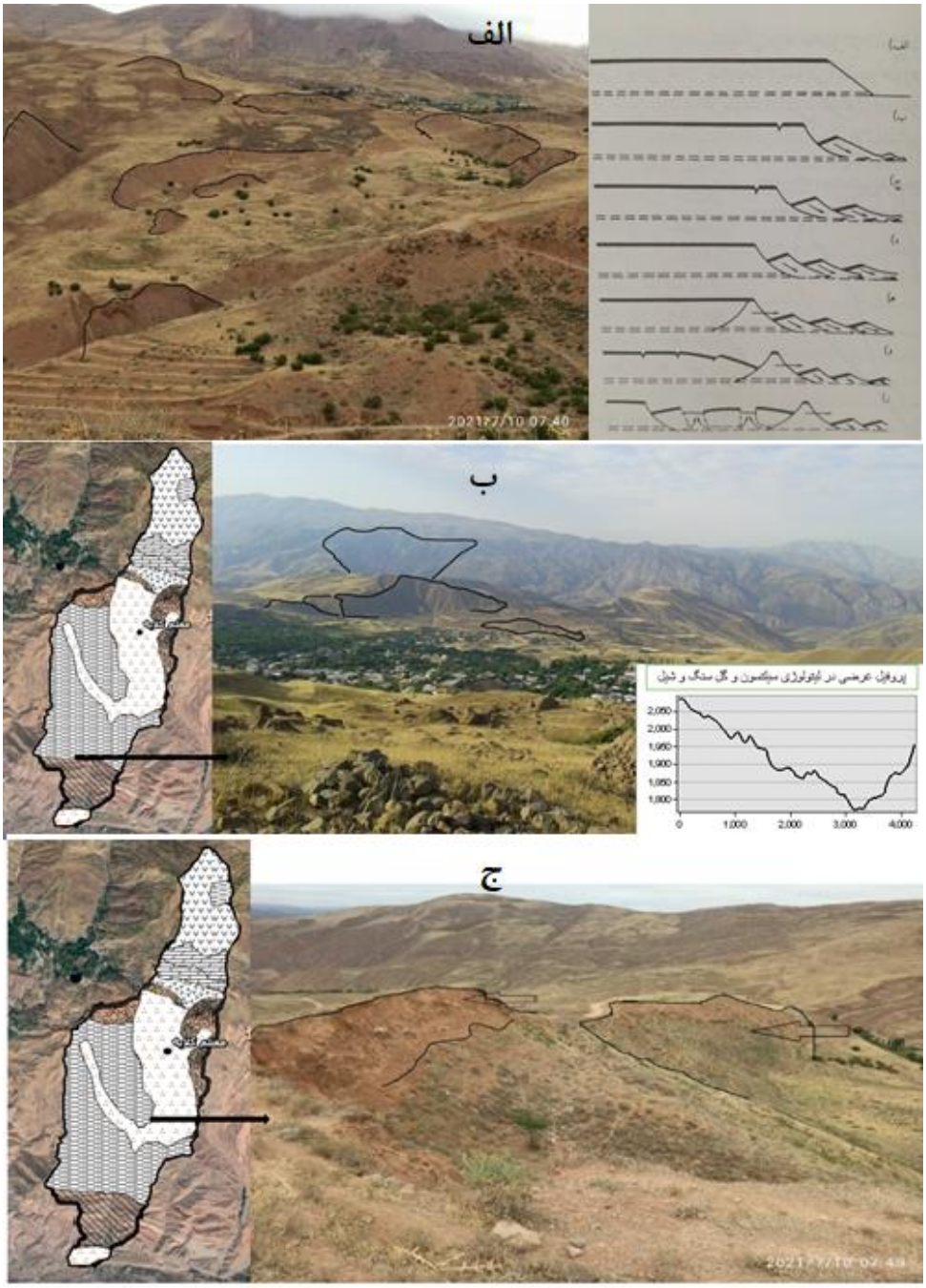
مطلب در راستای یافته‌های زمردیان (۱۳۹۱: ۸۷) است که یکی از فاکتورهای اثرگذار برای ایجاد زمین‌لغزش وجود لایه‌های رس سیلتی یا مارنی است که در اکثر کوهپایه‌های ایران گسترش‌یافته‌اند. این سازندها به‌ویژه اگر در جهت شیب طبقات زمین‌شناسی باشند به‌عنوان سطوح گسیختگی عمل کرده و باعث لغزش می‌شوند. مطلب مذکور را می‌توان در شکل (۸ب) مشاهده کرد. همان‌طور که مشخص است لغزش چرخشی رخ‌داده باعث ایجاد سطوح گسیختگی مقعر شده است.



شکل (۸): لغزش چرخشی. الف) در امتداد دامنه مشرف‌به ساحل رودخانه الموت. ب) گسیختگی مقعر در لغزش چرخشی سیلتستون دور از آبراهه اصلی.

Figure (8): Rotational slip. A) Along the slope overlooking the Alamut river bank. b) Concave rupture in siltstone rotational slip away from the main channel.

۳- خاک روانی: محدوده‌ای که ازنظر لیتولوژی، لایه‌ها متشکل از سیلتستون و مادستون و گلسنگ است، زمین‌لغزش‌هایی رخ می‌دهد که بیشتر ناشی از کم شدن مقاومت لایه‌های رسی موجود در بین ساختار زمین‌شناسی منطقه است؛ نمای کلی منطقه به‌صورت تراس‌های لغزشی در می‌آید. یک سری از لغزش‌های چرخشی باعث حرکت رو به بالا و پایین سطح زمین همراه با انفصال لایه با مقاومت ضعیف از محل اثر لغزش شده است (شکل ۹ الف و ب). در هر یک از تراس‌های مذکور، لغزش‌های ثانوی به علت ثابت نبودن سطح اساس رودخانه الموت در مقیاس میکرو رخ‌داده است. جریان خاک یا خاک روانی یک جریان دانه‌ای به پایین است که در فواصل بارش‌های سنگین رخ می‌دهد خاک روانی تیپیک در رأس خود با یک پرتگاه تند تلاقی پیدا می‌کند درواقع این محل مرز بین مواد جابجا شده از زمین غیر آشفته دامنه می‌باشد (شکل ۹ج).



شکل (۹): الف) سمت چپ: مکانیسم انفصال در مدل آزمایشی. *منبع: سید و ویلسون، ۱۹۷۶: ۳۴۸؛ به نقل از چورلی و شوم، ۱۳۹۳.* **سمت راست: تراس‌های لغزشی در رسوبات سیلتستون و مادستون. ب) نمایی دورتر از تراس‌های لغزشی در رسوبات سیلتستون و مادستون و شیل. ج) روانی خاک در دامنه مشرف‌به رودخانه معلم‌کلایه**

Figure (9): a) Left side: Detachment mechanism in the experimental model. Source: Said and Wilson, 1976: 348; Quoted from Chorley and Shum, 2013. Right side: sliding terraces in siltstone and mudstone sediments. b) Farther view of sliding terraces in siltstone, mudstone and shale sediments. c) Flow of the soil in the slope overlooking Mo'alem-Kelayeh River

بحث

مواد در حرکات دامنه‌ای، به سه نوع اصلی (قائم، مورب و جانبی) جابجا می‌شوند. حرکات قائم شامل سقوط مواد خاکی در صخره و فرونشینی در اثر حرکت مواد تحت‌الارضی است (چورلی و شوم، ۱۳۹۲: ۶۷). بر این اساس علاوه بر توجه به خصوصیات سنگ‌شناسی در منطقه مطالعاتی باید به نیروهای عمل‌کننده بر دامنه نیز توجه کرد. به‌طوری‌که اگر این نیروها بر روی دامنه نسبت به مواد موجود قدرت

فشار بیشتری داشته باشد حرکت توده‌ای را در دو بخش می‌توان موردبررسی قرارداد. مورد اول عواملی که فشار برشی را افزایش می‌دهند که شامل جابجایی تکیه‌گاهی جانبی (برش‌های داخلی- شیب‌دار شدن دامنه)، اضافه شدن بار دامنه‌ای، جابجایی لایه‌های تحتانی که نقش تکیه‌گاه دارند، فشار جانبی (مانند آبگیری رس‌ها) است و بخش دوم عواملی همچون تغییرات در نیروهای موجود در بین دانه‌ها در ارتباط با آب محتوی رسوب، هوازدگی و واکنش‌های فیزیکوشیمیایی، تغییرات در ساختمان مانند شکاف برداشتن شیل‌ها و استحکام‌پذیری رس‌ها و درنهایت وجود مواد آلی مانند پوسیدگی ریشه‌ها است که منجر به کاهش مقاومت برشی می‌شوند (وارن، ۱۹۸۸: ۳۷۲[1]) (جدول ۱). در این راستای عوامل بخش اول برای نمونه زمین لغزش بزرگ معلم کلایه را می توان در نظر گرفت که از یک طرف لایه کنگلومراییمحصور در بین سیلتستوان، براثر تغییرات محیطی شرایط افزایش نیرو و گسیختگی برایش فراهم می گردد و از پایین دست نیز لایه سیلتستونی باحساسیت بیشتر در مقابل عوامل فرسایشی پای کنگلومرا را تخلیه می کند و ترکیب توأمان نیروها باعث بزرگ‌ترین زمین لغزش منطقه می‌گردد. درراستای عوامل دوم نیز می توان از زمین لغزش‌های درون لیتولوژیکی حوضه معلم کلایه نام برد؛ بخصوص زمین لغزش‌های رخ‌داده در سیلتستون و مادستون موجود در منطقه که با جذب آب و فرایندهای فیزیکوشیمیایی حادث در ذرات به مرور زمان چالاب‌های را ایجاد می‌کنند که منجر به دام انداختن رواناب‌ها شده و به مرور زمان، با آبگیری بیشتر دانه‌ها شرایط را برای زمین لغزش های بعدی که در مقیاس متفاوتی رخ می‌دهند فراهم می‌نماید.در یک ناحیه معین پراکندگی حرکت توده‌ای مواد می‌تواند با تنوع ساختمانی و سنگ‌شناسی مرتبط باشد. به‌عنوان‌مثال رخنمون‌های سیلت از رخنمون‌های ماسه‌سنگی برای این پدیده مستعدتر هستند (چورلی و شوم، ۱۳۹۲: ۹۱). در حوضه معلم کلایه هرجا لیتولوژی‌های مختلف در کنار هم قرار گرفته اند، عملکرد متفاوت آن‌ها در مقابل رواناب، شرایط مساعدی برای زمین لغزش فراهم نموده اند. برای مثال در بخش‌هایی از حوضه که لیتولوژی کربناته رخنمون دارد، به علت نفوذناپذیری مستقیم آن، رواناب ها بر آن‌ها بعد از هرگونه بارشی سریعاً به جریان می‌افتد و زمانی که به سیلتستون یا مادستون مجاور می‌رسد در آن نفوذ کرده و به همراه آب نفوذی باریده شده بر خود آن‌ها شرایط را برای زمین لغزش فراهم می نمایند. با توجه به ثابت نگه‌داشتن فاکتورهای اثرگذار در وقوع حرکات دامنه‌ای در مناطقی که لیتولوژی متفاوتی دارند ممکن است سنگ‌هایی که نسبتاً نامقاوم هستند (همانند کنگلومرای محصور در حوضه معلم کلایه) پیوستگی خود را حفظ نکرده و باعث ایجاد حرکات دامنه‌ای شوند.

جدول ۱: جهت و حرکت توده‌ای مواد. *منبع: وارن، ۱۹۸۸*

Table (1): direction and mass movement of materials. Source: Warren, 1988

جهت حرکت	نوع حرکات دامنه‌ای		
قائم	ریزشی (سقوط)	فرونشینی	-
جانبی	لغزشی (انتقالی- چرخشی)	پراکندگی	-
مورب	لغزشی (انتقالی- چرخشی)	جریانی	خزشی

جریان ماده و انرژی در آبراهه‌ها متناسب با محیط، در طی زمان، حریم شکل‌زایی ایجاد می‌نماید. معمولاً این حریم برای جریان سیال آب بستر و کناره رودخانه بسیار کمتر از حریمی است که رودخانه با برهم زدن شیب کناره‌ها در حرکات توده‌ای و دامنه‌ای ایجاد می‌نماید. در مطالعات سیستم‌های باز سعی محقق بر آن است که با ثابت فرض نمودن اجزاء مختلف، نقش جزء یا اجزایی از سیستم را پررنگ‌تر نموده و مطالعه نمایند. بر همین اساس با نگاه سیستمی به حرکات دامنه‌ای و بخصوص زمین‌لغزش، تلاش بر آن است که نقش لیتولوژی را در وقوع حرکات دامنه‌ای بررسی نمود. با تمرکز بر خصوصیات لیتولوژیکی مشخص گردید که رودخانه به‌عنوان یک بردار ثابت در انواع لیتولوژی‌ها عملکرد حرکات دامنه‌ای را متأثر نموده است. بر این اساس زمین‌لغزش‌های حوضه معلم‌کلایه با توجه به لیتولوژی و حریم رودخانه‌ها مورد ارزیابی قرارگرفته است. با توجه سازندهای حوضه، به‌صورت گام‌به‌گام انواع زمین‌لغزش‌ها از سراب حوضه به پایاب، به صورت گام به گام مورد ارزیابی قرار گرفت. در حوضه معلم‌کلایه سازند کرج، روته، شمشک و رسوبات نئوژن و تخریبی مهم‌ترین سازندهای زمین شناسی هستند کـه عمدتا فرسایش پذیر بوده و قابلیت فرسایش‌پذیری بالایی دارنـد. تـشکیل لندفرم هزاردره یا بدلند، گویای این

[1].Warren, 1988

حساسیت در منطقه است. با توجه به بررسی‌های صورت گرفته در نقش لیتولوژی در وقع انواع حرکات دامنه‌ای، نتایج بررسی‌ها حاکی از آن است که در حوضه معلم‌کلایه حرکات دامنه‌ای در مقیاس ماکرو (لغزش اصلی مشرف‌به معلم‌کلایه) و میکرو (شامل انواع حرکات لغزشی، ریزشی و خزشی) با توجه به رسوبات حساس موجود در منطقه رخ‌داده است. هرچند، در شرایط کنونی، مهمترین عامل فرسایشی حوضه، فرایند آبی است ولی با توجه به حساسیت لیتولوژی‌ها و وضعیت مجاور آن‌ها چنین می‌توان نتیجه گرفت که حرکات دامنه‌ای و حمل مواد فراهم شده ناشی از آن توسط آب‌های جاری، مسئول نهایی شکل گیری سطوح ارضی در این قسمت از ایران هستند.

نتیجه‌گیری

در پژوهش حاضر با جنبه‌های تجربی محیط جغرافیایی زمین‌لغزش‌های معلم‌کلایه موردبررسی قرار گرفت. بدین منظور با تکیه بر دید چندجانبه و توجه به خصوصیات اساسی تجربه محیطی، زمینه‌های ارتباط لیتولوژی با زمین‌لغزش و تلفیق اطلاعات موجود با اطلاعات زمینه‌ای فراهم گردید. نتایج بررسی نقش لیتولوژی بر وقوع حرکات دامنه‌ای در حوزه مطالعاتی حاکی از این است که لیتولوژی به دو صورت مستقیم و غیر مستقیم بر وقوع حرکات دامنه‌ای اثرگذار است. اثر مستقیم آن از طریق تفاوت در نفوذپذیری آب در لیتولوژی‌های مختلف است که هرچه لیتولوژی نفوذپذیرتر باشد امکان حرکات توده‌ای در آن بیشتر است. به گونه‌ای که در حوضه معلم کلایه لیتولوژی سیلتستون و مادستوان با نفوذ بیشتر آب به درون زمین شرایط را برای ناپایداری دامنه‌ها و وقوع انواع مختلف حرکات توده‌ای فراهم نموده‌اند. اینگونه لیتولوژی‌ها با نفوذ آب به درون خود و افزایش فشار و نیرویی که در سطوح شیب‌دار، دامنه ها را ناپایدار و دچار زمین لغزش‌های عمدتاً از نوع چرخشی نموده اند. اثر غیر مستقیم لیتولوژی بر حرکات دامنه‌ای به عوامل جانبی مختلفی بستگی دارد: رودخانه، موقعیت آن نسبت به خط تقسیم آب، مجاورت با لیتوژی‌های دیگر، گسیختگی.معمولاً رودخانه‌ها در اثرگذاری بر حرکات دامنه‌ای دارای حریمی هستند که وسعت آن علاوه بر ماده و انرژی جاری در بستر رودخانه، به نوع لیتولوژی که رودخانه از آن عبور می‌کنند نیز بستگی دارد. جایی که لیتولوژی مقاوم باشد و شیب سطوح ارضی برای جریان‌های آبی مستعدتر باشد حریم اثرگذاری، وسعت بیشتری به خود می‌گیرد. لیتولوژی واقع در سطوح ارضی پایین‌دست رودخانه‌ها (مناطق دورتر از خط تقسم آب یا سراب حوضه)، در مقابل حرکات دامنه‌ای آسیب‌پذیرتر شده و حرکات دامنه‌ای وسعت بیشتری می‌گیرند؛ چرا که با گذشت زمان و اثرگذاری فرسایش بر سطوح ارضی، لیتولوژی‌هایی با مقاوم بیشتر در اسکلت اصلی ناهمواری به صورت مرتفع رخنمون می‌یابند و لیتولوژی حساس‌تر در مقابل فرسایش، به طرف خط القعرها قسمت‌های کم ارتفاع‌تر را نسبت به لیتولوژی‌های مقاوم‌تر موجود در محیط پیدا می‌کنند. در چنین مناطقی علاوه بر سست‌تر شدن لیتولوژی به صورت مقطعی، ماده و انرژی جاری در رودخانه نیز افزایش می‌یابد، ولی به دلیل شیب کمتر سطوح ارضی، حریم اثرگذاری رودخانه محدودتر می‌شود، ولی مواد را در ضخامت بیشتری جابه‌جا نموده و منجر به شکل گیری دره‌های عمیقی در منطقه شده‌اند. البته حوضه های کوچک و محلی در اینگونه مناطق (با رودخانه‌هایی با رتبه عمدتاً یک یا دو) امکان زمین‌لغزش میکروی بیشتری را فراهم می‌آورند. این دو موضوع باعث ناپایداری دائمی سطوح ارضی، با لیتوژی سست، در قسمت‌هایی پایاب حوضه معلم کلایه شده است. در سطوح ارضی نزدیک به خط الرأس‌ها و در سراب حوضه، هرچند ماده و انرژی کمتر و لیتولوژی مقاوم‌تری وجود دارد، ولی به علت شیب بیشتر دامنه‌ها و دخالت هوازدگی فیزیکی در تخلخل سنگ‌ها (به دلیل اختلاف دمای بیشتر و تکرار بیشتر آن با توجه به ارتفاع بیشتر) باید زمینه اثرگذاری رودخانه بر وقوع حرکات دامنه‌ای بیشتر شود؛ در صورتی که با تسلط بیشتر لیتولوژی مقاوم در مناطق مرتفع تر و وقوع ریزش های مکرر، امکان وقوع دیگر حرکات دامنه ای را به حداقل می رساند. لیتولوژی‌های مقاوم در جوار لیتولوژی‌های سست شرایط مساعدی را برای نفوذ بیشتر آب به درون لیتولوژی سست فراهم می‌کنند؛ این امر به همراه آبی که به طور مستقیم در لیتولوژی سست نفوذ نموده است منجر به افزایش فشار و در نتیجه نیروی برشی در مواد دامنه‌ای شده و زمینه را برای حرکات توده ای وسیع‌تر فراهم می‌نماید. در چنین شرایطی اگر توده نفوذناپذیری در پایین دست لغزش‌ها وجود داشته باشد به مرور زمان برجسته‌تر شده و اگر از زیر آب به درون آن نفوذ نماید، زمینه را برای گسیختگی لیتولوژی مقاوم فراهم می‌نماید. چنین شرایطی در کنگلومرای

مسلط بر شهر معلم کلایه، به همراه تکیه‌گاه سست کنگلومرا بر سیلتستون، شرایط را برای بزرگترین زمین لغزش حوضه، یعنی زمین لغزش معلم لایه فراهم نموده است.

References

Aghayary, L., Asghari Saraskanrood, S., & Zeynali, B. (2024). Identification and zoning of landslide prone areas in Germi city. *Hydrogeomorphology*, (), -. Doi: 10.22034/hyd.2024.58703.1709 [In Persian]

Arbanas, S. M., & Arbanas, Ž. (2015). Landslides: A guide to researching landslide phenomena and processes. In *Transportation Systems and Engineering: Concepts, Methodologies, Tools, and Applications* (pp. 1393-1428). IGI Global. DOI: 10.4018/978-1-4666-8473-7.ch070

Ayalew, L., Yamagishi, H., & Ugawa, N. (2004). Landslide susceptibility mapping using GIS-based weighted linear combination, the case in Tsugawa area of Agano River, Niigata Prefecture, Japan. *Landslides*, 1, pp 73-81. https://doi.org/10.1007/s10346-003-0006-9

Beheshtirad, M., Feiznia, S., Salajegheh, A., Ahmadi, H. (2009). Investigating applicability of certainty factor landslide hazard zonation model (a case study Mo'alem-Kelayeh h watershed). *Journal of physical geography*, 2(5), pp 19-28. [In Persian] https://sid.ir/paper/185094/en

Bommer, J. J., & Rodríguez, C. E. (2002). Earthquake-induced landslides in Central America. *Engineering Geology*, 63(3-4), pp 189-220.

Chen, W., Zhang, S., Li, R., & Shahabi, H. (2018). Performance evaluation of the GIS-based data mining techniques of best-first decision tree, random forest, and naïve Bayes tree for landslide susceptibility modeling. *Science of the total environment*, 644, pp 1006-1018. https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.06.389

Chorley, Richard J.; Shum, Stanley E; Soden, David A. (2012). Geomorphology, volume three: range, watercourse, coastal and wind processes. Translated by Ebrahimi Moghimi and Ahmed Motamed. Tehran: Samit Publications. 455 p. [In Persian]

Cruden, D. (1991). A simple definition of a landslide. *Bulletin of Engineering Geology & the Environment*, *43*(1).

Guerra, A. J. T., Fullen, M. A., Jorge, M. D. C. O., Bezerra, J. F. R., & Shokr, M. S. (2017). Slope processes, mass movement and soil erosion: A review. *Pedosphere*, *27*(1), 27-41. http://www.cnki.net/kcms/detail/32.1315.P.20160627.1639.038.html

Guzzetti F, Mondini, A C, Cardinali M, Fiorucci F, Santangelo M, Chang K T. (2012). Landslide inventory maps: new tools for an old problem. *Earth Science Reviews*. 112: 42-66. http://dx.doi.org/10.1016/j.earscirev.2012.02.001

Hijazi, A., Rezaei Moghadam, M., H., & Naseri, A. (2020). Landslide hazard zoning using artificial neural network models and TOPSIS downstream of Sanandaj Dam, *Hydrogeomorphology Journal*, 7(24), 65-82. [in persian].

Jafari, G. H., & Khodaei, R. (2023). Morphometry and reconstruction of the Moallem-Kalaye landslide. *Journal of Natural Environmental Hazards*, 12(35), 59-78. [In Persian] DOI: 10.22111/jneh.2022.40129.1849

Jamalabadi, J., Safari, F., Borabadi, A., & Al-Mohammad, M. (2021). Identification and zoning of susceptible area of landslide in the Javroud rural district. *Emergency Management*, 10(2), pp 47-55. [In Persian]

Kayani, Sh., Muzazi, A., Gholam Nia, Kh., Ainali, G. (2019). Evaluating the effectiveness of the logistic regression model in landslide risk zoning (case study: Hasht Chin catchment area of Ardabil province).*15th*

National conference on Watershed Management Sciences and Engineering of Iran, Sari. [In Persian] https://civilica.com/doc/1255420

Khazaei, N., Darrafshi, S., Sheikhzadeh Shandiz, R., Bagheri Jamkhane, Z. (2021). Investigation of landslide accident points using GIS in Mazandaran province. National Conference on Architecture, Civil Engineering, Urban Development and Horizons of Islamic Art in the Second Step Statement of the Revolution, Tabriz. [In Persian] https://civilica.com/doc/1251957

Khubulava, I., & Chakhaia, G. (2018). The forecast of stability of the landslide slope existing in the River Gldaniskhevi Valley. *Annals of Agrarian Science*, 16(3), pp 321-323. https://doi.org/10.1016/j.aasci.2018.05.008

Kiani, T., Hydrad, N., Parastoo, G.A. (2020). Active tectonics of the Roudbar region: with special reference to the landslides of the area. *Journal of Spatial Analysis Environmental Hazards* 2020; 7 (1), pp 65-88. [In Persian] URL: http://jsaeh.khu.ac.ir/article-1-2780-en.html

McColl, S. T. (2022). Landslide causes and triggers. In *Landslide hazards, risks, and disasters* (pp. 13-41). Elsevier.

Mosaffaie J, Salehpour Jam A, Tabatabaei M. (2022) Landslide risk assessment and management in Shahroud watershed of Qazvin province. *Journal of Spatial Analysis Environmental Hazards*. 9 (3): 199-212. [In Persian]
URL: http://jsaeh.khu.ac.ir/article-1-3336-fa.html

Ogila, W. A. M. (2021). Analysis and assessment of slope instability along international mountainous road in North Africa. *Natural hazards*, *106*(3), 2479-2517. https://doi.org/10.1007/s11069-021-04552-9

Popescu, M. E. (2002, July). Landslide causal factors and landslide remediatial options. In *3rd international conference on landslides, slope stability and safety of infra-structures* (pp. 61-81). CI-Premier PTE LTD Singapore.

Pradhan, S. P., Vishal, V., & Singh, T. N. (Eds.). (2019). Landslides: theory, practice and modelling. *Springer International Publishing*. https://doi.org/10.1007/978-3-319-77377-3

Prasanna, J., Gnanatheepan, W. (2018). Study on housing units locate in very high and high landslide hazard prone areas of Hali-Ela divisional secretariat division, Sri Lanka. *Procedia engineering*, 212, pp 22-29. https://doi.org/10.1016/j.proeng.2018.01.004

Rajabi, M., Rezaei Moghadam, M. H., Takzare, A. (2022). Quantitative Analysis of Landslide Risk and Its Zoning in Alamut River Basin Using Logistic Regression Method. *Geographic Space* 22(77), pp 1-14. [In Persian] URL: http://geographical-space.iau-ahar.ac.ir/article-1-3407-fa.html

Ramezani Gurabi, B., Ebrahimi, H. (2010). Landslide and its stabilization. *Environmental based territorial planning (Amayesh)*, 2(7), pp 129-139. [In Persian] https://sid.ir/paper/130428/en

Sasanpour, F., Mohammadi, N. (2021). Management of natural landslide risk reduction using regional statistics, Tehran province. The second international conference and the fifth national conference on protection of natural resources and environment, Ardabil. [In Persian] https://elmnet.ir/doc/470124460-74691

Seddighi, H., & Ghasemi, A. R. (2023). Landslide risk modeling using logistics regression model (Case study: Chaharmahal and Bakhtiari province). *Researches in Earth Sciences*, *14*(4), 42-60. [In Persian] doi: 10.48308/esrj.2023.104053

Soori, S., Lashkaripour, G., Ghafoori, M., & Farhadi, T. (2013). Prioritization of landslide effective factors and its hazard mapping using AHP model (A case study: Keshvari watershed). *Scientific Quarterly Journal of Iranian Association of Engineering Geology*, 6(Number 1 & 2), pp 1-12. [In Persian] https://doi.org/10.22071/gsj.2010.57315

Wang, X., & Niu, R. (2010). Landslide intelligent prediction using object-oriented method. *Soil Dynamics and Earthquake Engineering*, 30(12), pp 1478-1486.

Warren, W. H. (1988). Action modes and laws of control for the visual guidance of action. *In Advances in psychology* (Vol. 50, pp. 339-379). North-Holland. https://doi.org/10.1016/S0166-4115(08)62564-9

Table 1 - Type, size, and status of fonts in different parts of the article

Font style	Size	Position of use
B Nazanin	14	Title
B Nazanin	11	Names of authors
B Nazanin	9	Authors' organizational affiliation
B Nazanin	11	Abstract text and keywords
B Nazanin(Bold)	12	Main titles
B Nazanin(Bold)	11	Subheadings
B Nazanin(Bold)	10	Subtitles of figures and tables (Persian)
Times	9	Subtitles of figures and tables (English)
B Nazanin	13	The text of the article
B Nazanin	11	Relationships are used
Times	11	English words and sources in the text of the article
Times	11	Extended abstract and English sources at the end of the article

References:

The sources cited in the text should be mentioned in parentheses with the authors' family name, year of publication and page number: (Ganji, 1997: 22) and the names of foreign researchers and writers should be written in Persian, such as (Smith et al. 1, 2007, p. 33).) And be subtitled in English.

The citation method is APA. Persian sources should also be translated into English. Source font (1) is New Times. References will be in alphabetical order.

- Reference to a journal publication:

- Nevin, A., Smith, B.,Yu,J.,& Amadi,A.(1990). The changing of teacher education special education. Teacher Education and Special Education: The Journal of the Teacher Education Division of the Council for Exceptional Children, 13(4), 147-148.

Reference to a online journal:-

-Jameson, J. (2013). E-Leadership in higher education: The fifth "age" of educational technology research. British Journal of Educational Technology, 44(6), 889-915. doi: 10.1111/bjet.12103.-

Reference to a book-

- Author, A.(Year of Publication).Title of work. Publisher City, State: Publisher.

- Finney, J. (1970). Time and again. New York, NY: Simon and Schuster.

- Zahedi,M.,&.Khatibi,M.(2015).Hydrology.Tehran,Samt.

The colons and dots should be consistent with the format and the example provided for authors.

The article should be sent in four different files according to the instructions below: (the sample files are provided in this page.

First file – including the main article in word text with the authors' details (including academic rank and the name of the institute of the author or authors in Persian and in English. The full address of the corresponding author including: postal address, phone, fax, and email in Persian and English. (Please do not include the above mentioned information in any other pages of the article).

Second file in word text including the main article without the authors' details.

Third file, including the abstract with the authors' details.

Fourth file, including the abstract without the authors' details.

The number for all of the maps- tables should be mentioned within the text and the part related to the text, and all of the maps and graphs should be written below them with the numbers in order.

The number for the shapes and tables should be included in the parentheses and in the form of: shape (1) or table (2).

- effectiveness of Random Tree Algorithm (RTC), Maximum Likelihood (MLC), and Support Vector Machine (SVM) models in detecting changes in the water area of Lake Neor and the effects of these changes on the surface temperature using the LST model in the 2002-2022 period……..…….1

- Comparative assessment of a semi-distributed hydrological model with an integrated model to simulate the runoff of Gomanab Chai basin……22

- Evaluation of the morphological changes of Haraz river following human pressures in the Amol city, Mazandaran……40

- Investigationon Groundwater Recharge Mapping Using GIS based intgarted spatial sdeceion making systesms: A Case Study from Quetta Region, Pakistan……58

- Estimation of river bank erosion and effective factors in Polealmas-Gilande reach, Balkhlochai River in Ardabil……87

- Spatial assessment and zoning of landslide risk in Zamkan watershed using support vector machine and logistic regression……102

- Spatial analysis of lithology in the occurrence of landslides in the eastern Alamut basin
- case study: Mo'alem-Kelayeh Basin……124

- Evaluating Flooding Nodes of Drainage Network in Hamedan City Using the SWMM Model……143

HYDROGEOMORPHOLOGY

Publisher: University of Tabriz

Director-in- charge: Behrooz Sari Sarraf (Ph.D)

Editor-in-Chief: Davoud Mokhtari (Ph.D)

Managing Editor: Parvin Hydarzadegan

International Editorial Board:

Ihsan ÇİÇEK (Ph.D). Ankara University of Ankara, Ankara, Turkiye,

Hüseyin Gökçekuş (Ph.D). Near East University, Lefksha Cyprus,

Editorial Board:

Behrooz Sari Sarraf (Ph.D). University of Tabriz, Tabriz, Iran,

Davoud Mokhtari (Ph.D). University of Tabriz, Tabriz, Iran,

Maryam Bayati Khatibi (Ph.D). University of Tabriz, Tabriz, Iran,

Sayyed Reza Hosseinzadeh (Ph.D). University of Ferdowsi, Mashhad, Iran,

Shahram Roostaei (Ph.D). University of Tabriz, Tabriz, Iran,

Abbas Samadi (Ph.D). University of Urmia, Urmia, Iran,

Ahmad Fakherifard (Ph.D). University of Tabriz, Tabriz, Iran,

Manijeh Ghahroudi (Ph.D). University of Shahid Beheshti, Tehran, Iran,

Fariba Karami (Ph.D). University of Tabriz, Tabriz, Iran,

Ahmad Golchin (Ph.D). University of Zanjan, Zanjan, Iran,

Majid Montaseri (Ph.D). University of Urmia, Urmia, Iran,

Rasoul Mirabbasi (Ph.D). University of Shar Kord, ShahKord, Iran

Vahid Nourani (Ph.D). University of Tabriz, Tabriz, Iran,

Sadolla Velayeti (Ph.D). University of Ferdowsi, Mashhad, Iran,

Massoud Goodarzi (Ph.D). Soil Conservation and Watershed Management Research Institute, Tehran, Iran,

Mohammadreza Gharibreza (Ph.D). Soil Conservation and Watershed Management Research Institute, Tehran, Iran,

Alireza Ildoromi (Ph.D). University of Malayer, Malayer, Iran,

Journal of: Faculty of Planning & Environmental Sciences, Tabriz University, Iran.

P.O BOX: 5166616471, **Phone:** +98 41- 33392296,

E-mail: hyd@tabrizu.ac.ir hydro.geomor@gmail.com

E-ISSN: 2676-4571

1947
Tabriz University

Hydrogeomorphology

(An Approved Scientific Research-based Journal)

Vol.11, No.40

2024

Faculty of Planning & Environmental sciences



ISSN: 2383-3254