نشریه تحقیقات کاربردی علوم جغرافیایی، سال نوزدهم، شماره ۵۳، تابستان ۹۸

تعیین نواحی حساس به فرسایش آبی در حوضه آبخیز هروی

دریافت مقاله: ۹۶/۹/۱۲ **پذیرش نهایی:** ۹۷/۴/۲۳

صفحات: ۴۹-۳۳

محمدجواد وحیدی: استادیار گروه مهندسی علوم خاک دانشکده کشاورزی دانشگاه بیرجند، بیرجند، ایران.
Email: m.jvdi@birjand.ac.ir
رسول میرعباسی نجف‌آبادی: استادیار گروه مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شهرکرد، ایران.[۱]
Email: mirabbasi_r@yahoo.com

چکیده

به منظور حفاظت از منابع خاک و آب باید نواحی فرسایش‌پذیر حوضه‌های آبخیز شناسایی گردند تا بتوان با برنامه‌ریزی در قالب طرح‌های حفاظت خاک یا آبخیزداری، از تخریب بیشتر اراضی جلوگیری و فرسایش را کنترل نمود. بر این اساس، تحقیق حاضر با هدف کلاس‌بندی و پهنه‌بندی نواحی حساس به فرسایش آبی در حوضه آبخیز هروی با استفاده از منحنی یول‌استورم انجام شده است. در این مطالعه، ۱۰ زیرحوضه بر اساس سطوح تغذیه آبراهه‌ها جدا شد. تغییرات مکانی مشخصه‌های خاک زیرحوضه‌ها شامل بافت و میانگین اندازه قطر ذرات به روش قرائت کامل هیدرومتر اندازه‌گیری گردید و حداکثر سرعت پتانسیل خروجی زیرحوضه‌ها نیز بر اساس خصوصیات هر زیرحوضه محاسبه شد. سپس وضعیت فرسایش و رسوب در حوضه‌ها و زیرحوضه‌ها با استفاده از منحنی یول‌استورم (بر اساس میانگین اندازه قطر ذرات رسوب و سرعت پتانسیل خروجی) بررسی و به طور مقایسه‌ای از لحاظ فرسایش‌پذیری کلاس‌بندی شد. نهایتاً نقشه پهنه-بندی نواحی حساس به فرسایش آبی منطقه مورد مطالعه به دست آمد. نتایج به دست آمده نشان داد که قسمت‌های بالادست و کناری حوضه، شامل زیرحوضه شماره ۴ (۸/۹۴ درصد از اراضی)، فرسایش‌پذیری خیلی زیاد و زیرحوضه‌های شماره ۱ و ۹ (۳۶/۹۴ درصد از اراضی) فرسایش‌پذیری زیاد دارند. این نواحی اغلب دارای شیب زیاد و فاقد پوشش گیاهی یا دارای پوشش گیاهی ضعیف (مانند مراتع ضعیف و زراعت دیم) هستند؛ لذا ارائه راهکارهای مناسب جهت جلوگیری از فرسایش بیشتر در آن‌ها الزامی است.

کلید واژگان: پهنه‌بندی، حوضه آبخیز هروی، سامانه اطلاعات جغرافیایی، فرسایش آبی، منحنی یول‌استورم.

---

۱. مسئول مقاله: شهرکرد، دانشگاه شهرکرد، دانشکده کشاورزی، گروه مهندسی آب: ۰۹۱۳۳۳۳۳۲۷۵

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-29]
[DOR: 20.1001.1.22287736.1398.19.53.3.1]
[DOI: 10.29252/jgs.19.53.33]

مقدمه

خاک یکی از مهمترین منابع طبیعی هر کشور است. در واقع خاک بستر تولید تلقی شده و هر عاملی که باعث از بین رفتن این بستر شود، زندگی و رفاه بشر را به خطر انداخته است (فائو[1]، ۲۰۱۶). تولید رسوب یکی از مهمترین پیامدهای فرسایش خاک است و در شکل‌های مختلف سبب اثرات درون و برون منطقه‌ای می‌گردد. در واقع فرسایش خاک از طریق هدررفت فیزیکی خاک، کاهش عمق ریشه، آب قابل دسترس و ذخایر غذایی موجب کاهش کمی و کیفی عملکرد محصولات کشاورزی می‌گردد (رفاهی، ۱۳۸۸) و رسوب مواد حمل شده در آبراهه‌ها نیز باعث کاهش ظرفیت انتقال جریان‌های سیلابی و افزایش خطر طغیان رودها می‌شود. از طرف دیگر، رسوب این مواد در مخازن سدها و بنادر باعث کاهش ظرفیت و عمر مفید آن‌ها می‌گردد (شفاعی بجستان، ۱۳۹۰).

با توجه به اینکه هر ساله هزاران تن خاک حاصلخیز از اراضی مختلف کشور، در اثر فرسایش از دسترس خارج شده و با انباشت در مناطق رسوب‌گذاری، موجب بروز خسارات قابل‌ملاحظه‌ای می‌شوند (صدوق و همکاران، ۱۳۹۴)، لذا باید مناطق فرسایش‌پذیر همراه با شدت و مقدار آن شناسایی گردند تا با شناسایی نواحی تخریب-پذیر و کلاس‌بندی مناسب آن، بتوان اقدام به برنامه‌ریزی در قالب طرح‌های حفاظت خاک یا آبخیزداری نمود. حوضه‌های آبخیز و زیرحوضه‌های آنها، واحدهای اصلی در مدیریت منابع آب و زمین هستند (مور[2] و همکاران، ۱۹۹۱). فناوری سیستم‌های اطلاعات جغرافیایی (GIS) به عنوان بهترین ابزار در جهت تحلیل‌های کمی و مدلسازی از فرآیند فرسایش و رسوب به شمار می‌رود که محققین مختلف در صدد تحلیل و مدلسازی فرسایش و رسوب با آن بوده‌اند (شای[3] و همکاران، ۲۰۰۴ و تیرونه و آیالو[4]، ۲۰۱۵). مقدار رسوبات معلق بر اثر مواد فرسایش یافته، از مناطق مختلف بالادست حوضه آبخیز کنترل می‌گردد و وضعیت و طبیعت غالب آبخیز نقش مهمی در خصوصیات و شرایط بارهای رسوبی آن دارد (ثقفیان و همکاران، ۱۳۸۸).

در بسیاری از مطالعات سعی شده که با روش‌های گوناگون در قالب سامانه اطلاعات جغرافیایی (GIS)، مناطق حساس به فرسایش حوضه آبخیز را به منظور کنترل و انجام اقدامات حفاظتی خاک شناسایی نمایند که با توجه به شرایط خاص حاکم بر هر حوضه آبخیز، روش خاصی به کار گرفته شده و موفقیت‌آمیز بوده است (صدوق و همکاران، ۱۳۹۴؛ تیرونه و آیالو، ۲۰۱۵؛ مقصودی و همکاران، ۱۳۸۹؛ کرم و همکاران، ۱۳۸۹؛ حسینخانی، ۱۳۹۲؛ بوکت و تفری[5]، ۲۰۰۹؛ شینده[6] و همکاران، ۲۰۱۰؛ گاجبهی[7] و همکاران، ۲۰۱۴؛ ناکوی[8] و همکاران، ۲۰۱۵؛ گاناسری و رامش[9]، ۲۰۱۶؛ گلاگای و میناله[10]، ۲۰۱۶). در این بین، مطالعات در زمینه

1 FAO
2 Moore
3 Shia
4 Tiruneh & Ayalew
5 Bewket & Teferi
6 Shinde
7 Gajbhiye
8 Naqvi
9 Ganasri & Ramesh
10 Gelagay & Minale

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-29]
[DOR: 20.1001.1.22287736.1398.19.53.3.1]
[DOI: 10.29252/jgs.19.53.33]

شناسایی مناطق حساس به فرسایش از طریق تقسیم‌بندی زیرحوضه‌ها در محیط ArcGIS و برآورد فرسایش‌پذیری آنها از طریق محاسبه حداکثر سرعت پتاسیل و میانگین قطر ذرات رسوب (D_{50}) زیر حوضه‌ها با استفاده از منحنی یول‌استورم[1] دیده نمی‌شود و استفاده از چنین روشی با توجه به شرایط حاکم بر حوضه آبخیز، نوعی نوآوری در بحث شناسایی نواحی فرسایش‌پذیر محسوب می‌گردد. بوکت و تفری (۲۰۰۹) نیز به منظور ارزیابی خطرات فرسایش خاک و اولویت‌بندی آن برای اجرای مراحل مدیریتی در سطح زیرحوضه چموگا در حوضه آبخیز کوهستانی بلو نیل[2] در اتیوپی، از تلفیق فناوری GIS و سنجش از دور با مدل ساده ارزیابی فرسایش USLE استفاده کردند. ناکوی و همکاران (۲۰۱۵) در حوضه آبخیز نان-نادی[3] هند، با روش شاخص عملکرد رسوب (SYI) لایه‌های اطلاعاتی فرسایندگی خاک، توپوگرافی، بارش و کاربری اراضی را به طور وزنی در محیط GIS تلفیق[4] نمودند و آنها را در ۲۴ زیرحوضه محاسبه کردند. اولویت‌بندی کلاس‌ها بر اساس مقادیر عملکرد رسوب در همه زیرحوضه‌ها انجام شد. گاناسری و رامش (۲۰۱۶) نیز فرسایش خاک را با استفاده از مدل RUSLE و با استفاده از سنجش از دور و GIS در حوضه نتراواتی[5] هند ارزیابی نمودند. دلیر حسن‌نیا (۱۳۸۳)، وضعیت فرسایش در حوضه آبخیز لیقوان را با نرم‌افزار ArcView با روش شبکه‌بندی و موج سینماتیک مورد بررسی قرار داد و با استفاده از مدل موج سینماتیک، عمق و سرعت جریان هنگام وقوع بارش در تمام سلول‌ها را محاسبه کرد؛ سپس سلول‌هایی که ذرات بستر آن‌ها در آستانه حرکت یا بالاتر قرار داشتند، به عنوان مناطق فرسایش‌پذیر حوضه شناخته شدند.

منطقه مورد مطالعه در این تحقیق، شامل حوضه‌های آبخیز لیقوان و هروی واقع در استان آذربایجان‌شرقی است که در دهه‌های اخیر دارای تغییرات شدید کاربری اراضی بوده و با وجود روند کاهشی بارندگی، روند تغییرات دبی و رسوب این حوضه‌ها در درازمدت افزایش یافته است (وحیدی و همکاران، ۱۳۹۴؛ وحیدی[6] و همکاران، ۲۰۱۳). لذا لازم است نواحی حساس به فرسایش در این منطقه شناسایی و گروه‌بندی شود تا بتوان با ارائه راهکارهای مناسب مدیریتی از گسترش بیشتر فرسایش این حوضه آبخیز جلوگیری نمود. بر این اساس، تحقیق حاضر در نظر دارد تا با استفاده از روش جدا کردن زیرحوضه‌ها و تعیین تغییرات مکانی مشخصه‌های فیزیکی خاک (بافت و میانگین اندازه قطر ذرات) و حداکثر سرعت پتانسیل خروجی، وضعیت فرسایش و رسوب را با استفاده از منحنی یول‌استورم مورد بررسی قرار دهد و به طور مقایسه‌ای زیرحوضه‌ها را از لحاظ فرسایش‌پذیری طبقه‌بندی نماید. افزایش دقت، سرعت و سهولت دست‌یابی مکانی به وسله فناوری GIS از مزایای تحقیق حاضر می‌باشد.

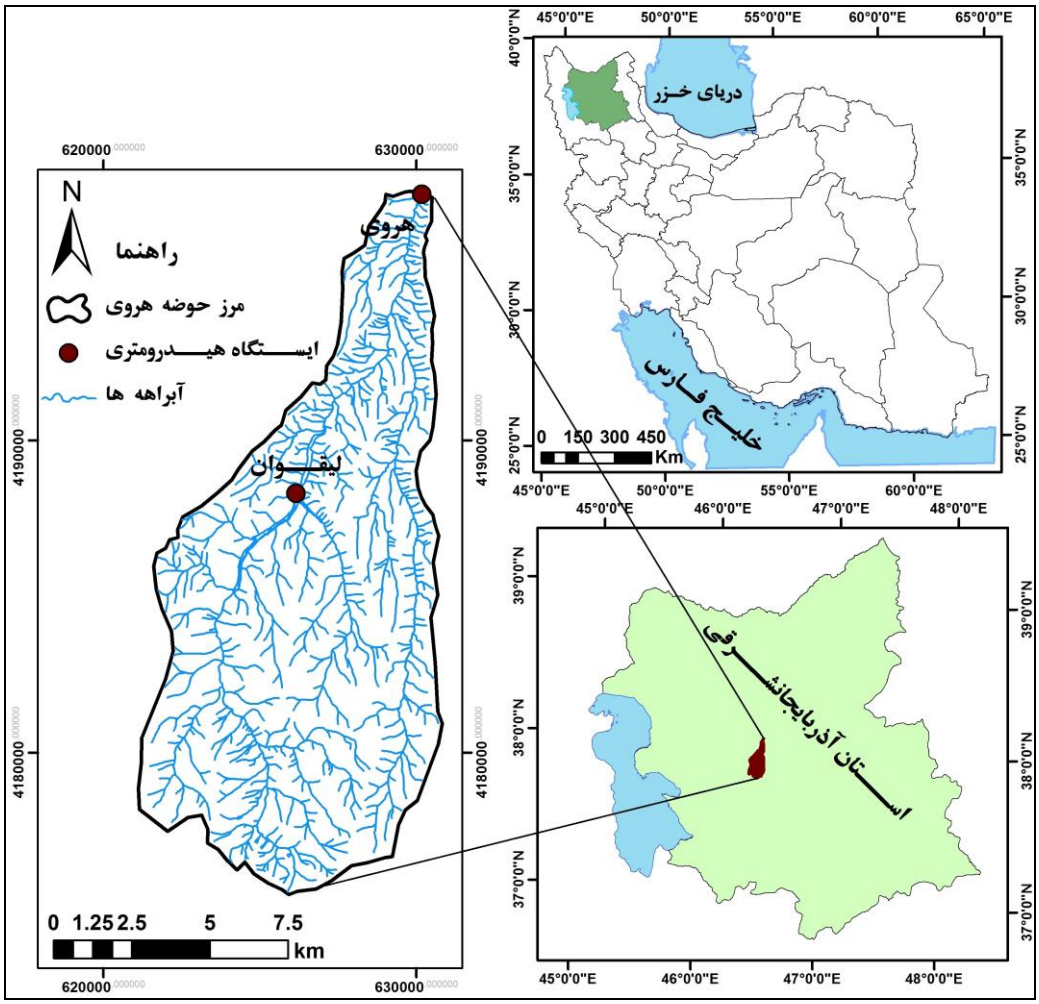
[1] Hjulstrom curve
[2] Chemoga watershed, Blue Nile basin,
[3] Nun Nadi Watershed
[4] Overlay
[5] Nethravathi Basin
[6] Vahidi

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-29]
[DOR: 20.1001.1.22287736.1398.19.53.3.1]
[DOI: 10.29252/jgs.19.53.33]

روش تحقیق

منطقه مورد مطالعه

منطقه مورد مطالعه شامل حوضه آبخیز هروی می‌باشد که حوضه آبخیز لیقوان که از حوضه‌های آبخیز معرف کشور است، زیرحوضه هروی محسوب می‌شود. این منطقه در شمال‌غرب ایران و در استان آذربایجان شرقی قرار گرفته و در واقع قسمتی از حوضه آبخیز بزرگ مهرانه‌رود می‌باشد. منطقه مورد مطالعه از ارتفاعات سهند شروع و به ایستگاه هیدرومتری هروی خاتمه می‌یابد. این محدوده با مساحتی معادل ۱۳۵/۱۲ کیلومتر مربع و محیط ۶۳/۶۹ کیلومتر، بین طول‌های شرقی ″۴۰ ′۲۲ °۴۶ تا ″۰۳ ′۲۹ °۴۶ و عرض‌های شمالی ″۰۲ ′۴۳ °۳۷ تا ″۱۶ ′۵۵ °۳۷ قرار گرفته است. حداکثر ارتفاع منطقه مورد مطالعه در ارتفاعات سهند معادل ۳۶۲۰ متر و حداقل ارتفاع آن ۱۳۵۰ متر از سطح آزاد دریا در محل خروجی حوضه واقع شده است. شکل(۱)



شکل (۱). موقعیت منطقه مورد مطالعه (حوضه‌های هروی و لیقوان) در استان آذربایجان شرقی و کشور ایران

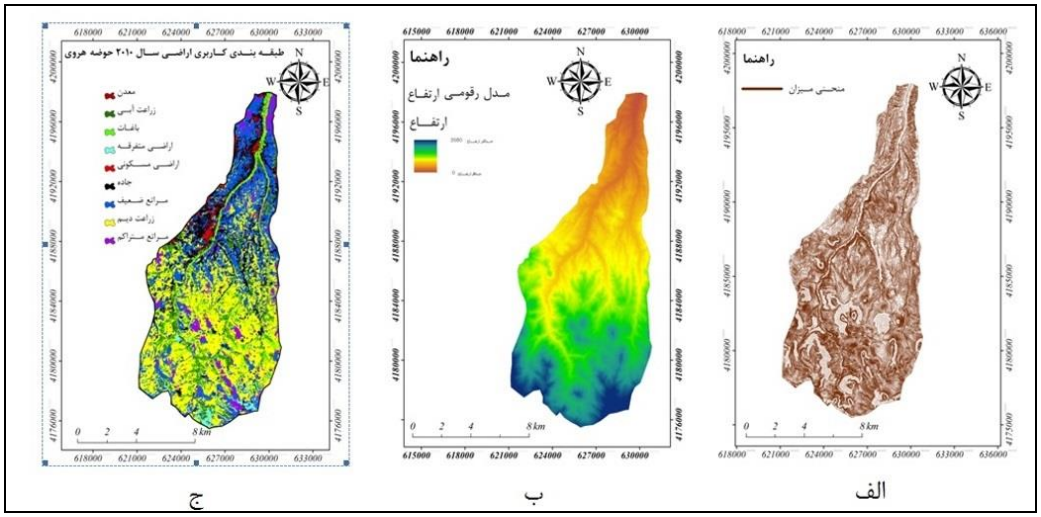
[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-29]
[DOR: 20.1001.1.22287736.1398.19.53.3.1]
[DOI: 10.29252/jgs.19.53.33]

در جدول (۱)، خلاصه‌ای از ویژگی‌های مهم دو حوضه آبخیز هروی و لیقوان نشان داده شده است. اقلیم منطقه با توجه به روش دومارتین از نوع نیمه‌خشک و با روش آمبرژه از نوع نیمه‌خشک سرد می‌باشد. بررسی تغییرات کاربری اراضی با تصاویر ماهواره‌ای حوضه، حاکی از تغییرات شدید کاربری اراضی طی دهه‌های اخیر می‌باشد و با گذشت زمان، پوشش متراکم (مراتع و باغات) کاهش و اراضی لخت یا با پوشش ضعیف (معدن، مناطق مسکونی و زراعت دیم) افزایش یافته‌اند (وحیدی و همکاران، ۲۰۱۳). جهت بررسی خصوصیات فیزیوگرافی از نقشه‌های توپوگرافی ۱:۵۰۰۰۰ سازمان جغرافیایی نیروهای مسلح استفاده گردید. در شکل (۲)، نقشه منحنی میزان، مدل ارتفاع رقومی و کاربری اراضی حوضه آبخیز مورد مطالعه نشان داده شده است.

جدول (۱). برخی از ویژگی‌های مهم حوضه‌های آبخیز هروی و لیقوان

نام حوضه آبخیز	LONG		LAT		A	P
هروی	۶۳۰۲۰۳/۱۸۱		۴۱۹۸۱۵۹/۱۲۹		۱۳۵/۱۲	۶۳/۶۹
لیقوان	۶۲۶۳۰۰/۲۷۲		۴۱۸۸۶۱۰/۳۸۹		۷۶/۲۵	۴۲/۱۳
	LM	SMC	SB	H_{max}	H_{min}	K
هروی	۲۸/۹۷	۵/۲۸	۳۱/۱۷	۳۴۵۰	۱۹۲۰	۱/۵۳
لیقوان	۱۷/۰۰	۷/۳۵	۳۴/۷۳	۳۴۵۰	۲۱۹۹/۹۷	۱/۳۵
	2R	LK	WK	LG	WG	TC
هروی	۱۳/۱۱	۲۶/۸۰	۵/۰۴	۶۲۶۷۲۷/۷۷	۴۱۸۴۹۴۴/۷۴	۷/۷۰
لیقوان	۹/۸۵	۱۶/۴۲	۴/۶۴	۶۲۵۱۶۷/۵۲	۴۱۸۲۱۷۱/۲۵	۴/۴۸

LONG: طول جغرافیایی نقطه خروجی در زیرحوضه (متریک) LAT: عرض جغرافیایی نقطه خروجی در زیرحوضه (متریک) A: مساحت زیرحوضه (کیلومتر مربع) P: محیط زیرحوضه (کیلومتر) LM: طول کانال اصلی (کیلومتر) SMC: شیب متوسط کانال اصلی (درصد) SB: شیب متوسط زیرحوضه (درصد) H_{max}: حداکثر ارتفاع در کانال اصلی (متر) H_{min}: حداقل ارتفاع در کانال اصلی (متر) K: ضریب گراویلیوس 2R: قطر دایره معادل (کیلومتر) LK: طول مستطیل معادل (کیلومتر) WK: عرض مستطیل معادل (کیلومتر) LG: طول جغرافیایی مرکز ثقل زیرحوضه (متریک) WG: عرض جغرافیایی مرکز ثقل زیرحوضه (متریک) TC: زمان تمرکز براساس معادله برانسبی ویلیامز (ساعت)

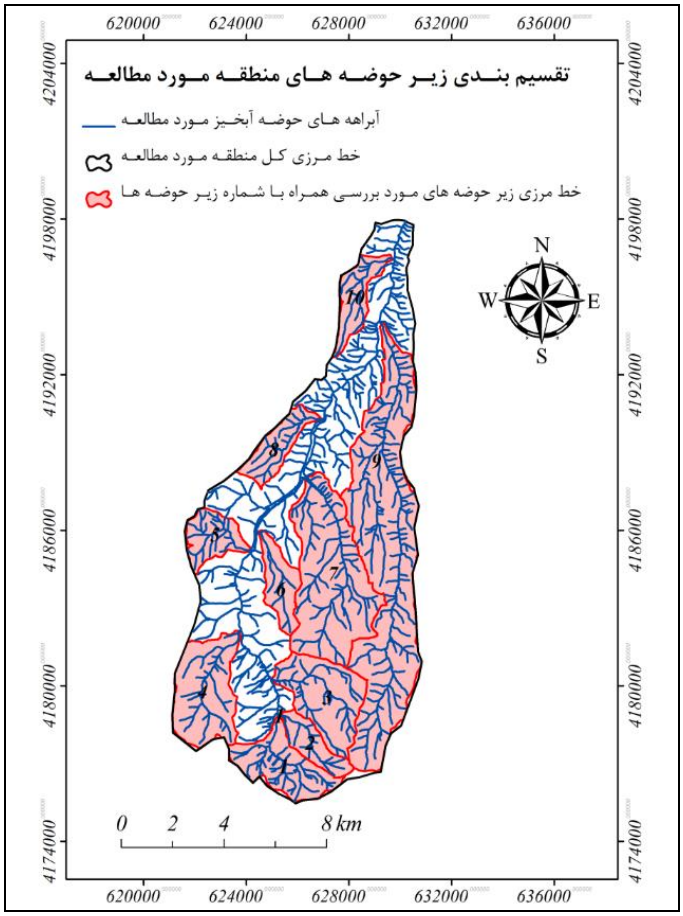


شکل (۲). الف) نقشه منحنی میزان ب) نقشه رقومی ارتفاع ج) نقشه پوشش و کاربری اراضی منطقه مورد مطالعه

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-29]
[DOR: 20.1001.1.22287736.1398.19.53.3.1]
[DOI: 10.29252/jgs.19.53.33]

طبقه‌بندی نواحی مختلف منطقه مورد مطالعه از لحاظ فرسایش‌پذیری

به منظور تعیین و طبقه‌بندی نواحی مختلف منطقه مورد مطالعه از لحاظ وضعیت فرسایش‌پذیری، بر اساس سطوح تغذیه حوضه‌ی آبخیز، کل منطقه به ۱۰ زیرحوضه تقسیم‌بندی و شماره‌گذاری شد. شکل(۳).



شکل (۳). شماره‌گذاری زیرحوضه‌های تفکیک شده بر اساس سطوح تغذیه حوضه آبخیز

جدا کردن زیرحوضه‌ها در محیط سامانه اطلاعات جغرافیایی (GIS) با کمک نرم‌افزار ArcGIS.10 انجام گردید. خصوصیات مختلف این زیرحوضه‌ها شامل: طول و عرض مستطیل معادل، قطر دایره معادل، موقعیت خروجی‌ها و غیره نیز در هر یک از زیر حوضه‌ها تعیین و نسبت‌های هورتن، یعنی R_L و L_Ω نیز در هر زیر حوضه محاسبه گردید. L_Ω: متوسط طول آبراهه‌های رده‌های موجود در زیرحوضه یا حوضه آبخیز مورد بررسی و R_L: نسبت طولی آبراهه‌ها در زیرحوضه یا حوضه آبخیز مورد مطالعه است.

طبق قانون طول آبراهه‌ها[1]، متوسط طول آبراهه‌های رده i در یک حوضه (Li) از رابطه (۱) به دست می‌آید:

1. Law of stream lengths

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-29]
[DOR: 20.1001.1.22287736.1398.19.53.3.1]
[DOI: 10.29252/jgs.19.53.33]

رابطه (۱) $i=L^{-1}(R_L)^{i-1}$

که در آن، i: شماره رده مورد نظر، Li: متوسط طول آبراهه‌های رده i، L^{-1}: متوسط طول آبراهه‌های رده یک و R_L: نسبت طولی آبراهه‌ها در حوضه، که عبارت است از متوسط نسبت‌های طولی آبراهه‌های هر رده به طول آبراهه‌های رده پایین‌تر (علی‌زاده، ۱۳۸۹). رابطه (۱) را به صورت رابطه (۲) می‌توان نوشت:

رابطه (۲) $\frac{Li}{L^{-1}}=(R_L)^{i-1}$

با Lnگیری از دو طرف رابطه (۲) رابطه (۳) به دست می‌آید:

رابطه (۳) $Ln\frac{Li}{L^{-1}}=-LnR_L+(LnR_L)i$ یا $Ln\frac{Li}{L^{-1}}=(i-1)LnR_L$

$Ln\frac{Li}{L^{-1}}$ همان Y، i همان X و شیب خط (LnR_L) خواهد بود که با آنتی Ln گرفتن از آن، R_L را که مقدار ثابتی در هر حوضه یا زیرحوضه خواهد بود، به دست می‌آید (فوری و تروتمن[1]، ۲۰۰۸).

در جدول (۲)، پارامترهای L_Ω و R_L زیرحوضه‌ها و حوضه‌های آبخیز مورد مطالعه نشان داده شده است. زمان تمرکز هر حوضه یا زیرحوضه نیز باید از طریق روش‌های تجربی به دست آید که برای حوضه‌های اصلی لیقوان و هروی، از روش برانسبی و ویلیامز و برای زیر حوضه‌ها که مساحت کمتری دارند از روش کرپیچ استفاده گردید (رفاهی، ۱۳۸۸). در نهایت، با استفاده از رابطه (۴) که توسط رودریگرز-ایتورب و والدز[2] (۱۹۷۹) و والدز و همکاران[3] (۱۹۷۹) ارائه شده است، سرعت خروجی بر حسب متر بر ثانیه در هر زیرحوضه محاسبه گردید.

جدول (۲). پارامترهای L_Ω و R_L در زیرحوضه‌ها و حوضه‌های آبخیز مورد مطالعه

نام حوضه	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸	۹	۱۰	لیقوان	هروی
L_Ω (km)	۷/۸۷	۳	۷/۷۷	۶/۵۵	۳/۳۶	۴	۱۰/۲	۳/۴۲	۱۸/۰۴	۳/۸۶	۳۲/۴۹	۵۹/۴۱
R_L	۱/۵۱	۵/۷۸	۵/۸۴	۱/۲	۱/۰۵	۱/۷۵	۳/۳۹	۱/۶۵	۱/۴۶	۱/۳۳	۳/۲۶	۲/۲۴

L_Ω: متوسط طول آبراهه‌ها (بر حسب کیلومتر)RL : نسبت طولی آبراهه‌ها

لازم به ذکر است که سرعت خروجی، حداکثر سرعت پتانسیل می‌باشد و سرعتی است که باعث زمان وقوع حداکثر سیلاب در زیرحوضه یا حوضه آبخیز می‌تواند ایجاد شود.

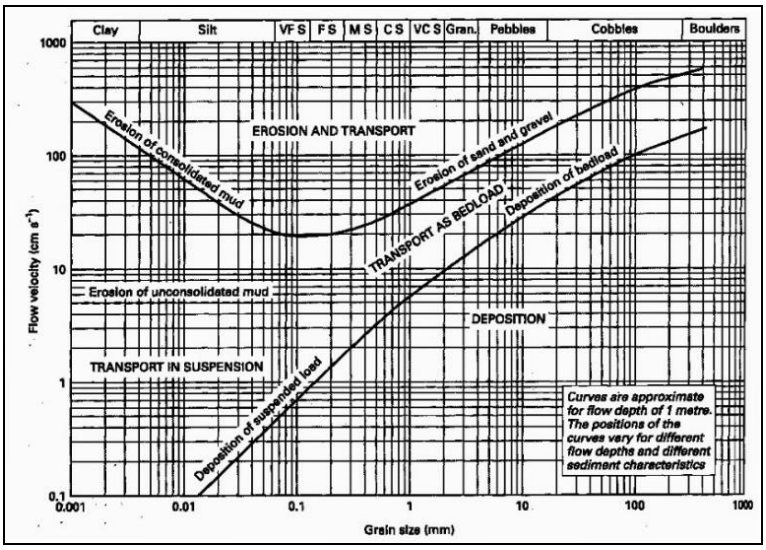
رابطه (۴) $V=\frac{1}{3600}L_\Omega(0.278TcRL^{0.747})^{-1}$

که در آن، L_Ω میانگین طول کل رده‌های موجود در زیرحوضه یا حوضه آبخیز بر حسب متر، R_L نسبت طولی آبراهه‌ها در زیرحوضه یا حوضه آبخیزکه بدون بعد است، Tc زمان تمرکز بر حسب ساعت است که در زیرحوضه‌های کوچک از رابطه کرپیچ و در زیرحوضه‌های متوسط از رابطه برانسبی و ویلیامز محاسبه می‌شود (والدز و همکاران، ۱۹۷۹) و V حداکثر سرعت خروجی بر حسب متر بر ثانیه می‌باشد. با داشتن حداکثر سرعت خروجی که در مستطیل معادل هر زیرحوضه یا حوضه آبخیز در نظر گرفته می‌شود و با استفاده از

1 Furey & Troutman
2 Rodriguez-Iturbe & Valdes
3 Valdes et al

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-29]
[DOR: 20.1001.1.22287736.1398.19.53.3.1]
[DOI: 10.29252/jgs.19.53.33]

منحنی یول‌استورم[1] می‌توان وضعیت زیرحوضه‌ها را از لحاظ وضعیت فرسایش و رسوب مورد بررسی قرار داد. در منحنی یول استورم، محور X، میانگین قطر اندازه ذرات را بر حسب میلی‌متر و محور Y، سرعت رودخانه را بر حسب متر بر ثانیه نشان می‌دهد. شکل(۴).



شکل (۴). منحنی یول‌استورم

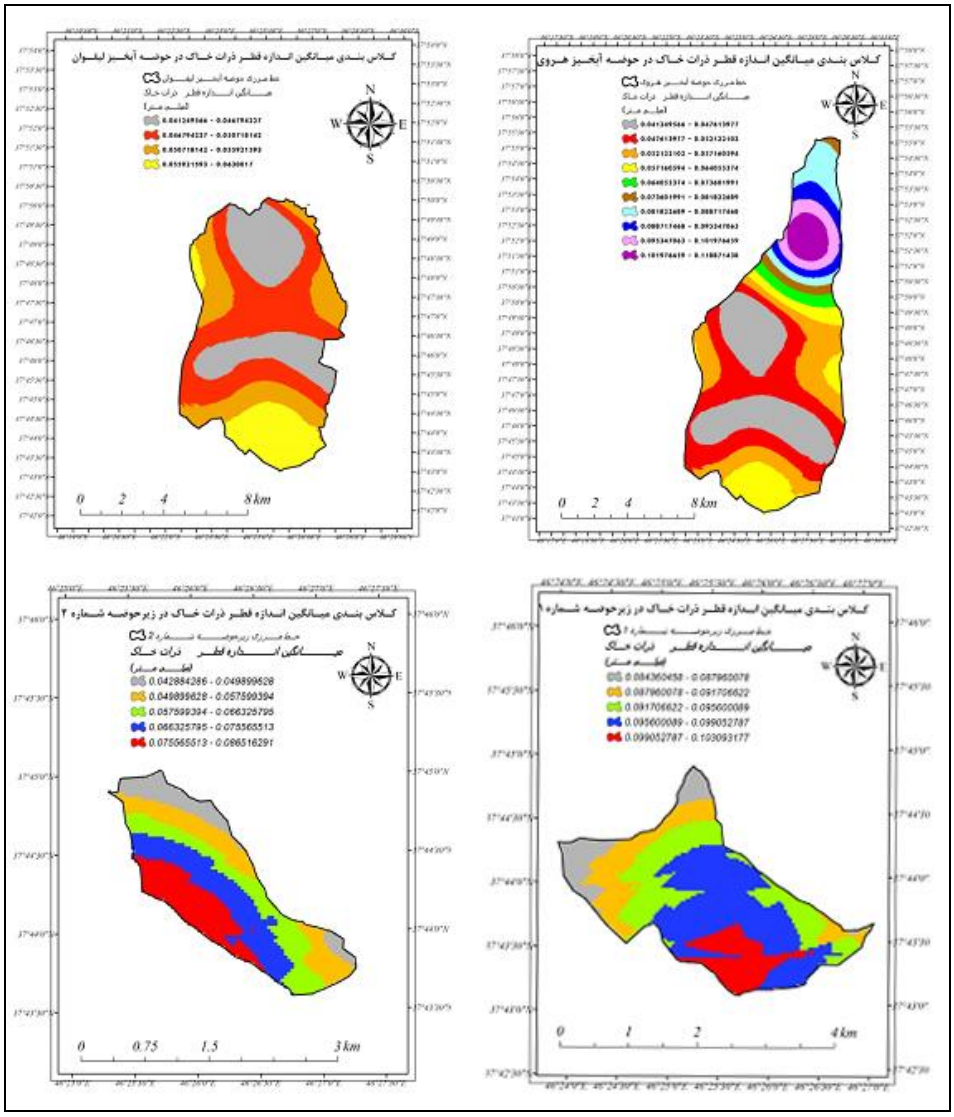
در واقع می‌توان از منحنی یول‌استورم، برای تعیین اینکه ذرات در رودخانه فرسایش خواهد یافت یا در مرحله انتقال و یا رسوب است، استفاده نمود. منحنی یول‌استورم رابطه بین سرعت جریان و توانایی انتقال مواد در اندازه‌های مختلف (یعنی از ریزترین ذرات: رس و سیلت تا بزرگترین تخت‌سنگ‌ها) را نشان می‌دهد. بافت خاک به روش هیدرومتر[2] (قرائت چهار زمانه) تعیین گردید و به منظور تعیین میانگین اندازه قطر ذرات نمونه-های خاک مورد بررسی از روش هیدرومتر با قرائت کامل استفاده گردید و قرائت در زمان‌های ۳۰، ۶۰ و ۹۰ ثانیه، ۳، ۱۰، ۳۰، ۶۰ و ۹۰ دقیقه، ۲، ۵ و ۲۴ ساعت انجام شد (گی و بادر[3]، ۱۹۸۵). پس از آن با استفاده از منحنی توزیع اندازه ذرات خاک[4]، میانگین قطر اندازه ذرات نمونه‌های خاک محاسبه گردید. با داشتن مقادیر حداکثر سرعت خروجی و میانگین D_{50} در زیرحوضه‌ها و حوضه‌های آبخیز می‌توان با استفاده از منحنی یول-استورم، وضعیت فرسایش و رسوب را مورد بررسی قرار داد.

1 Hjulstorm curve
2 Hydrometer method
3 Gee & Bauder
4 Soil particle size distribution curve

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-29]
[DOR: 20.1001.1.22287736.1398.19.53.3.1]
[DOI: 10.29252/jgs.19.53.33]

نتایج

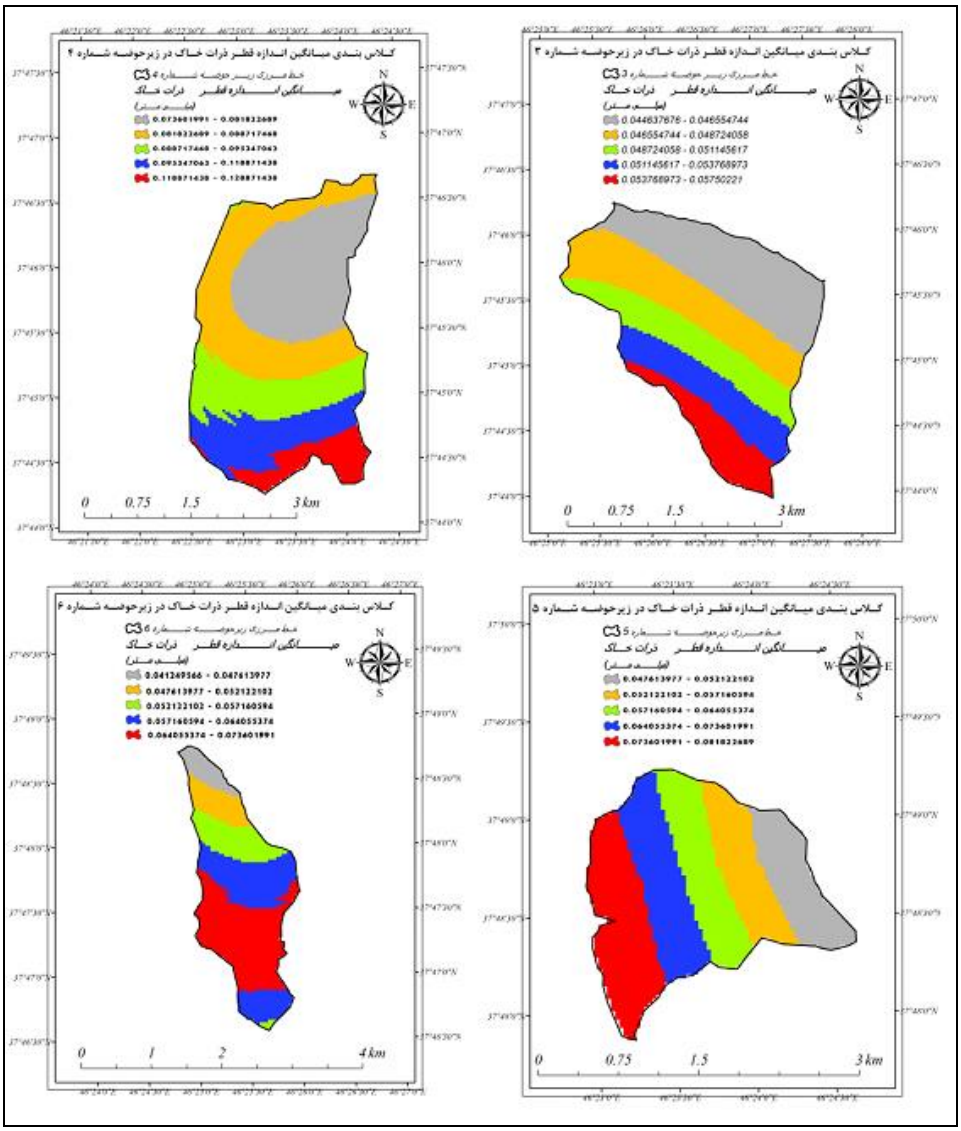
نتایج بافت حاصل از بررسی ۷۷ نمونه خاک از حوضه‌های آبخیز لیقوان و هروی نشان داد که بافت خاک در هر دو حوضه آبخیز، سبک بوده و لوم شنی[1] می‌باشد. وجود این بافت در کلیه حوضه‌ها و زیر حوضه‌ها مؤید رسوبی بودن خاک سطحی منطقه است. شکل (۵)، پراکنش D_{50} را در حوضه‌های آبخیز هروی، لیقوان و زیرحوضه‌های ۱ تا ۲، شکل (۶)، پراکنش D_{50} را در زیرحوضه‌های شماره ۳ تا ۶ و شکل (۷)، پراکنش D_{50} را در زیرحوضه‌های شماره ۷ تا ۱۰ نشان می‌دهد.



شکل (۵). نقشه پراکنش D_{50} حوضه‌های هروی و لیقوان و زیرحوضه‌های ۱ تا ۲

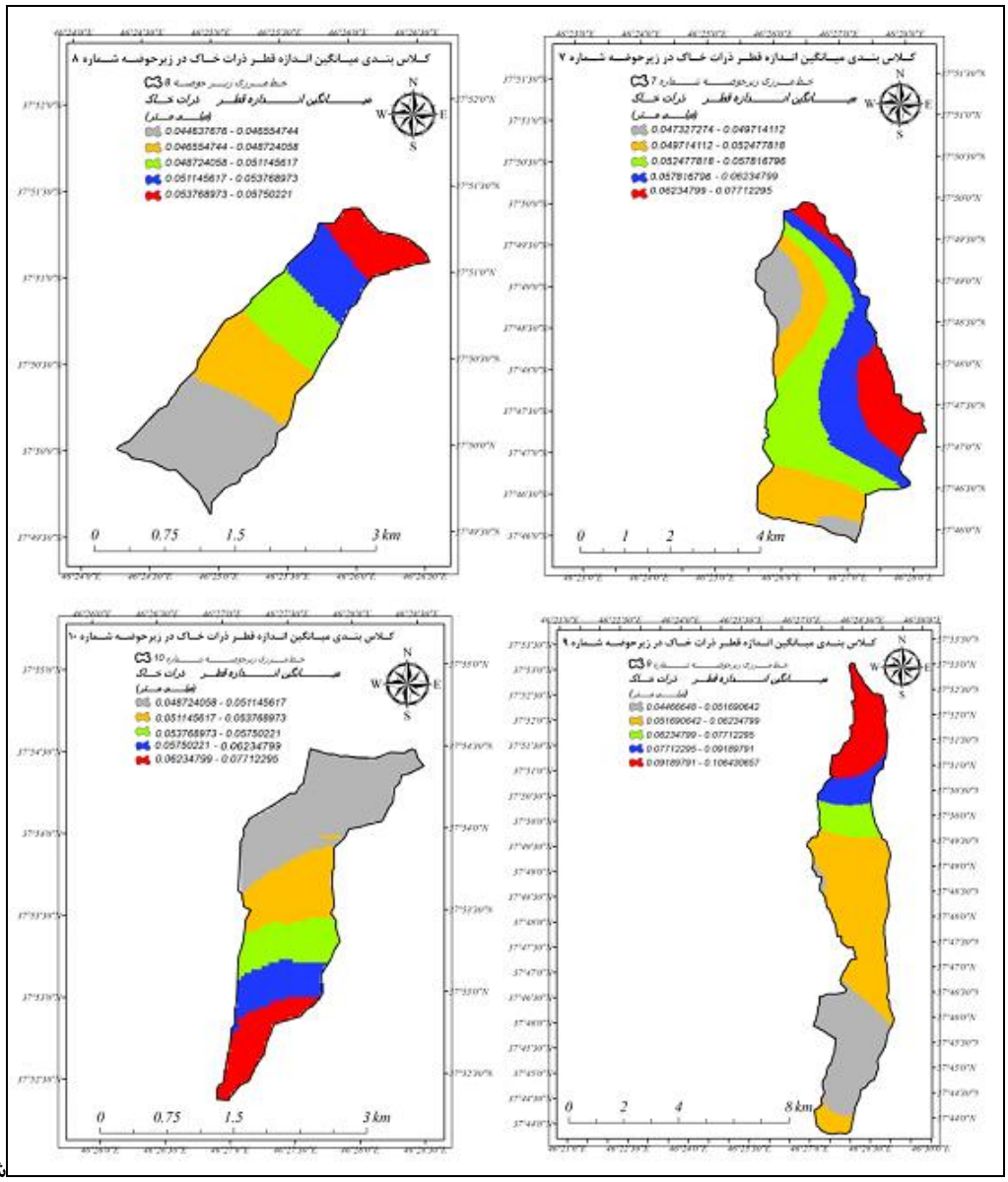
[1] Sandy loam

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-29]
[DOR: 20.1001.1.22287736.1398.19.53.3.1]
[DOI: 10.29252/jgs.19.53.33]



شکل (۶). نقشه پراکنش D_{50} زیرحوضه‌های ۳ تا ۶

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-29]
[DOR: 20.1001.1.22287736.1398.19.53.3.1]
[DOI: 10.29252/jgs.19.53.33]



شکل (۷). نقشه پراکنش D_{50} زیرحوضه‌های ۷ تا ۱۰

در جدول (۳)، حداکثر سرعت خروجی (m/sec) و میانگین قطر اندازه ذرات رسوب یا D_{50} (mm) به همراه سایر خصوصیات اندازه‌گیری‌شده (در محیط نرم‌افزار ArcGIS) در حوضه‌ها و زیرحوضه‌ها (مساحت، محیط، بافت خاک، زمان تمرکز و ...) گزارش شده است.

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-29]
[DOR: 20.1001.1.22287736.1398.19.53.3.1]
[DOI: 10.29252/jgs.19.53.33]

جدول (۳). مشخصات کامل زیرحوضه‌ها و حوضه‌های آبخیز لیقوان و هروی

مشخصات زیرحوضه‌ها	شماره زیرحوضه‌ها	۱	۲	۳	۴	۵	۶
مساحت زیر حوضه (km^2)		۶/۴۱۶	۲/۹۸۵	۸/۴۱۵	۸/۹۳۶	۳/۵۸۶	۳/۵۶۸
محیط زیر حوضه (km)		۱۳/۰۴۶	۸/۶۷۸	۱۳/۰۲۱	۱۳/۹۲۸	۸/۷۵۰	۱۰/۱۱۶
طول آبراهه اصلی(km)		۵/۴۱۸	۴/۱۸۳	۵/۸۴۱	۴/۱۵۱	۴/۲۱۵	۵/۱۷۰
شیب متوسط آبراهه اصلی (٪)		۱۴/۸۱۷	۲۰/۷۸۱	۱۳/۰۱۰	۲۰/۶۱۱	۹/۴۸۹	۱۳/۲۵۸
شیب متوسط زیر حوضه (٪)		۳۸/۹۳۹	۴۲/۱۴۱	۳۴/۵۴۹	۳۸/۵۳۱	۲۶/۸۱۲	۳۰/۰۸۳
ضریب گراویلیوس		۱/۴۴۲	۱/۴۰۶	۱/۲۵۶	۱/۳۰۴	۱/۲۹۳	۱/۴۹۹
قطر دایره معادل (km)		۲/۸۵۷	۱/۹۴۹	۳/۲۷۲	۳/۳۷۲	۲/۱۳۶	۲/۱۳۰
طول مستطیل معادل (km)		۵/۳۱۶	۳/۴۸۱	۴/۷۳۲	۵/۲۶۷	۳/۲۸۲	۴/۲۱۰
عرض مستطیل معادل (km)		۱/۲۰۶	۰/۸۵۷	۱/۷۷۸	۱/۶۹۶	۱/۰۹۲	۰/۸۴۷
زمان تمرکز کرپیچ (دقیقه)		۳۰/۴۶۲	۲۱/۹۱۰	۳۳/۹۳۳	۲۱/۸۵۱	۲۹/۸۰۲	۳۰/۶۶۵
V^* (m/sec)		۱۱/۳۲۰	۵/۷۸۰	۳/۶۸۰	۱۵/۶۸۰	۶/۵۳۰	۵/۲۰۰
D_{50}^* (mm)		۰/۰۹۲	۰/۰۶۳	۰/۰۴۹	۰/۱۱۱	۰/۰۶۶	۰/۰۶۱
مشخصات زیرحوضه‌ها	شماره زیرحوضه‌ها	۷	۸	۹	۱۰	لیقوان	هروی
مساحت زیر حوضه (km^2)		۱۶/۹۸۹	۳/۵۱۹	۳۰/۵۱۹	۳/۵۵۴	۷۶/۲۵۰	۱۳۵/۱۲۰
محیط زیر حوضه (km)		۲۰/۸۳۱	۹/۹۶۶	۴۱/۵۵۶	۱۱/۰۲۷	۴۲/۱۳۰	۶۳/۶۹۰
طول آبراهه اصلی(km)		۹/۴۱۱	۴/۷۳۰	۱۹/۹۶۴	۵/۳۸۰	۱۷/۰۰۰	۲۸/۹۷۰
شیب متوسط آبراهه اصلی (٪)		۸/۸۰۹	۷/۱۸۷	۷/۶۷۰	۵/۷۲۷	۷/۳۵۰	۵/۲۸۰
شیب متوسط زیر حوضه (٪)		۲۹/۷۱۶	۲۰/۹۹۷	۲۸/۷۰۱	۲۲/۶۷۳	۳۴/۷۳۰	۳۱/۱۷۰
ضریب گراویلیوس		۱/۴۱۵	۱/۴۸۷	۲/۱۰۶	۱/۶۳۷	۱/۳۵۰	۱/۵۳۰
قطر دایره معادل (km)		۴/۶۴۹	۲/۱۱۶	۶/۲۳۱	۲/۱۲۶	۹/۸۵۰	۱۳/۱۱۰
طول مستطیل معادل (km)		۸/۳۹۱	۴/۱۳۱	۱۹/۱۸۷	۴/۷۶۸	۱۶/۴۲۰	۲۶/۸۰۰
عرض مستطیل معادل (km)		۲/۰۲۴	۰/۸۵۱	۱/۵۹۰	۰/۷۴۵	۴/۶۴۰	۵/۰۴۰
زمان تمرکز(TC^*)		۵۶/۹۲۸	۳۶/۲۴۶	۱۰۷/۱۳۶	۴۳/۶۸۵	۴/۴۸۰	۷/۷۰۰
V^* (m/sec)		۴/۳۲۰	۳/۹۰۰	۷/۶۳۰	۴/۲۷۰	۳/۰۰۰	۴/۲۲۰
D_{50}^* (mm)		۰/۰۵۷	۰/۰۵۱	۰/۰۷۵	۰/۰۵۵	۰/۰۴۶	۰/۰۵۴

*V: حداکثر سرعت پتانسیل خروجی، D_{50}^*: میانگین اندازه قطر ذرات رسوب، TC^*: زمان تمرکز بر اساس معادله کرپیچ (دقیقه) برای زیرحوضه‌ها و برای حوضه‌های لیقوان و هروی بر اساس معادله برانسبی‌ویلیامز (ساعت)

نتایج بررسی‌ها با استفاده از منحنی یول استورم نشان داد که در زیرحوضه ۱، فرسایش و انتقال ذرات در اندازه رس، سیلت و شن خیلی ریز صورت گرفته و مواد ریز رس و سیلت به صورت انتقال در سوسپانسیون[1] و فرسایش مواد به صورت گل سست[2] انجام می‌گیرد. اگر ذرات درشت نیز وجود داشته باشد (درشت‌تر از

[1] Suspension
[2] Erosion of unconsolidated mud

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-29]
[DOR: 20.1001.1.22287736.1398.19.53.3.1]
[DOI: 10.29252/jgs.19.53.33]

میانگین D_{50} زیرحوضه)، در آستانه فرسایش بوده و می‌توانند به صورت بار بستر[1] انتقال یابند. در زیرحوضه ۲، فرسایش ذرات در اندازه رس و سیلت، به صورت انتقال در سوسپانسیون بوده و گل و لای سست در آستانه فرسایش قرار دارند. ذرات درشت‌تر در صورت وجود، می‌توانند در آستانه انتقال به صورت بار بستر باشند. در زیرحوضه ۳ نیز انتقال ذرات خاک در اندازه رس و سیلت به صورت سوسپانسیون می‌باشد. در زیرحوضه ۴، فرسایش ذرات رسوبی (خاک) در اندازه رس، سیلت و شن خیلی ریز بوده که ذرات ریز در سوسپانسیون انتقال یافته و فرسایش گل و لای سست نیز وجود دارد. همچنین، گل و لای محکم و به هم چسبیده[2] نیز در آستانه فرسایش قرار دارند و ذرات درشت‌تر از میانگین D_{50} زیرحوضه نیز می‌توانند به صورت بار بستر انتقال یابند. در زیرحوضه ۵ و ۶ نیز وضعیت مانند زیرحوضه ۲ بوده و علاوه بر انتقال ذرات در اندازه رس و سیلت در سوسپانسیون، گل و لای سست در آستانه فرسایش قرار دارند. همچنین در صورت وجود ذراتی درشت‌تر از میانگین D_{50} زیرحوضه‌ها، آن‌ها در آستانه انتقال به صورت بار بستر هستند. در زیرحوضه‌های ۷، ۸ و ۱۰ وضعیت فرسایش و رسوب مانند زیرحوضه ۳ بوده و انتقال ذرات در اندازه رس و سیلت در سوسپانسیون صورت می‌گیرد. در زیرحوضه ۹، فرسایش و انتقال مواد بیشتر در ذراتی در اندازه رس، سیلت و شن خیلی ریز دیده می‌شود. ذرات ریز رس و سیلت به صورت انتقال در سوسپانسیون و فرسایش مواد به صورت گل سست صورت می‌گیرد و در صورت وجود ذرات درشت (درشت‌تر از میانگین D_{50} زیرحوضه)، آن‌ها در آستانه انتقال به صورت بار بستر خواهند بود. بررسی‌های بیشتر با استفاده از منحنی یول‌استورم نشان داد که حوضه آبخیز هروی از حوضه لیقوان فرسایش‌پذیری بیشتری دارد، در حالیکه، در هر دو حوضه آبخیز، انتقال ذرات در اندازه رس و سیلت به صورت سوسپانسیون صورت می‌گیرد. در حوضه آبخیز لیقوان به دلیل اینکه حداکثر سرعت خروجی کمتر است، ذرات درشت‌تر از میانگین D_{50} در آستانه رسوب بوده و بر اساس حداکثر سرعت خروجی، تقسیم‌بندی زیرحوضه‌های آبخیز مورد مطالعه از لحاظ فرسایش‌پذیری می‌تواند به صورت زیر باشد:

زیرحوضه ۷ < زیرحوضه ۶ < زیرحوضه ۲ < زیرحوضه ۵ < زیرحوضه ۹ < زیرحوضه ۱ < زیرحوضه ۴

زیرحوضه ۳ < زیرحوضه ۸ < زیرحوضه ۱۰ <

نتایج دلیر حسن‌نیا (۱۳۸۳) نیز نشان داد که فرسایش شدید بیشتر در آبراهه‌های حوضه آبخیز ایجاد می‌گردد و لذا باید سعی شود پوشش‌های گیاهی در سطح این آبراهه‌ها (خصوصاً آبراهه‌های اصلی) حفظ شود.

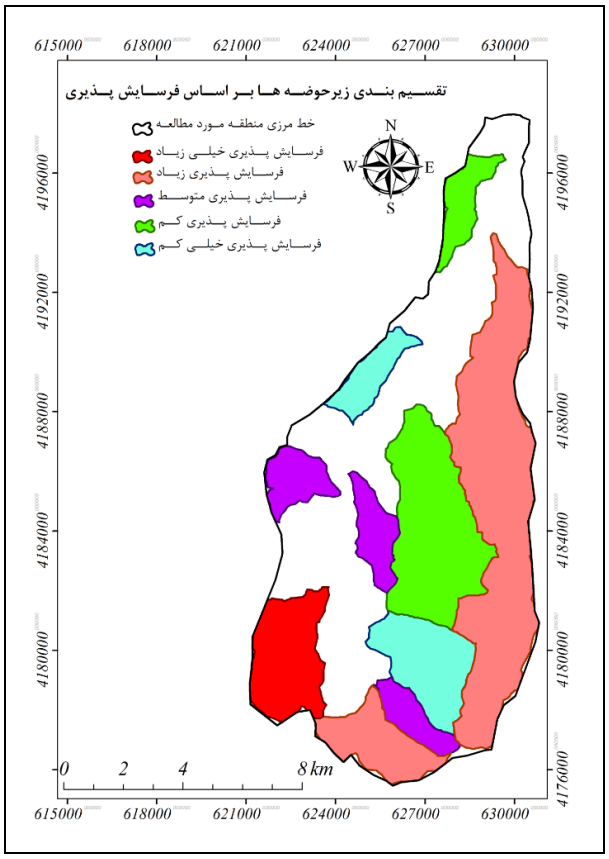
در تحقیق حاضر، به منظور طبقه‌بندی نواحی مختلف از لحاظ فرسایش‌پذیری از حداکثر سرعت پتانسیل خروجی محاسبه شده در زیرحوضه‌ها استفاده شد؛ به طوریکه این سرعت می‌تواند نمایانگر پتانسیل زیرحوضه-ها از لحاظ فرسایش‌پذیری باشد. بر این اساس، فرسایش‌پذیری منطقه مورد مطالعه به ۵ گروه، به ترتیب زیر طبقه‌بندی گردید:

گروه ۱: فرسایش‌پذیری خیلی زیاد که در آن حداکثر سرعت پتانسیل خروجی زیرحوضه بیش از ۱۲ متر بر ثانیه بوده و زیر حوضه شماره ۴ را شامل می‌شود. گروه ۲: فرسایش‌پذیری زیاد که در آن حداکثر سرعت پتانسیل خروجی بین ۷ تا ۱۲ متر بر ثانیه بوده و زیرحوضه‌های شماره ۱ و ۹ را در بر می‌گیرد. گروه ۳:

[1] Bed load
[2] Consolidated mud

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-29]
[DOR: 20.1001.1.22287736.1398.19.53.3.1]
[DOI: 10.29252/jgs.19.53.33]

فرسایش‌پذیری متوسط که در آن حداکثر سرعت پتانسیل خروجی زیرحوضه بین ۵ تا ۷ متر بر ثانیه است و زیرحوضه‌های شماره ۲، ۵ و ۶ را شامل می‌شود. گروه ۴: فرسایش‌پذیری کم که در آن سرعت خروجی زیرحوضه بین ۴ تا ۵ متر بر ثانیه بوده و زیرحوضه‌های شماره ۷ و ۱۰ را در بر می‌گیرد. گروه ۵: فرسایش-پذیری خیلی کم که در آن حداکثر سرعت پتانسیل خروجی زیرحوضه بین ۳ تا ۴ متر بر ثانیه است و زیرحوضه‌های شماره ۳ و ۸ را شامل می‌شود. شکل (۸)، نقشه طبقه‌بندی زیرحوضه‌ها در منطقه مورد مطالعه را از لحاظ فرسایش‌پذیری نشان می‌دهد که بر اساس حداکثر سرعت پتانسیل خروجی و میانگین قطر ذرات رسوب زیرحوضه‌ها تهیه شده است.



شکل (۸). نقشه طبقه‌بندی نواحی فرسایش‌پذیر زیرحوضه‌های منطقه مورد مطالعه

با توجه به اینکه زیرحوضه‌ها بر اساس وضعیت فرسایش و رسوب‌دهی طبقه‌بندی گردیده است، از نظر مدیریت آبخیزداری بسیار کاربردی شده و لذا می‌توان با ارائه راهکارهای مناسب در مناطقی که فرسایش‌پذیری در آن-ها بالاست (زیرحوضه‌های ۴، ۱ و ۹) از فرسایش بیشتر پیشگیری نمود. نتایج بوکت و تفری (۲۰۰۹) نیز نشان داد که بیش از ۵۸ ٪ از کل حوضه آبخیز در معرض خطر فرسایش شدید و بسیار شدید (بیش از ۸۰ تن در هکتار در سال) قرار دارند که عمدتاً در اراضی پرشیب کشت شده یا تحت چرای شدید در قطعات میانی و

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-29]
[DOR: 20.1001.1.22287736.1398.19.53.3.1]
[DOI: 10.29252/jgs.19.53.33]

بالادست حوضه واقع شده‌اند و در حدود ۲۵ ٪ از اراضی، فرسایش بیش از ۱۲۵ تن در هکتار در سال دارند. بر اساس نرخ فرسایش خاک، حوضه به ۶ کلاس اولویت برای مداخله حفاظتی تقسیم و ۱۸ میکرو حوضه، به عنوان واحد برنامه‌ریزی شناسایی گردید. در نهایت نقشه پهنه‌بندی مناطق مستعد فرسایش تهیه و توصیه شد از این روش در سایر مناطق مشابه استفاده گردد. ناکوی و همکاران (۲۰۱۵) که اولویت‌بندی کلاس‌ها بر اساس مقادیر عملکرد رسوب در همه زیرحوضه‌های حوضه آبخیز نان-نادی هند را انجام دادند، مشخص نمودند که ۱۴ ٪ از زیرحوضه‌ها کلاس تولید رسوب خیلی زیاد و حدود ۳۰/۵۷ ٪ دارای کلاس زیاد هستند. این نواحی نیاز به توجه فوری و روش‌های حفاظتی داشتند. لذا پس از بررسی وضعیت فرسایش خاک، زهکشی و شیب، مکان‌های احداث بند مشخص گردید. گاناسری و رامش (۲۰۱۶) نیز پس از پهنه‌بندی نواحی فرسایش‌پذیر، نواحی زراعی را به دلیل مدیریت نامناسب به عنوان مناطق فرسایش‌پذیر معرفی کردند و اجرای عملیات حفاظتی و مدیریتی خاک را برای کاهش فرسایش توصیه نمودند. مطالعات دیگری در زمینه پهنه‌بندی نواحی حساس به فرسایش با استفاده از GIS در ایران و جهان انجام گردیده است که در هر یک پس از شناسایی نواحی فرسایش‌پذیر و با توجه به شرایط حوضه، توصیه‌ها و راهکارهای اجرایی برای حفاظت خاک ارائه شده است (صدوق و همکاران، ۱۳۹۴؛ تیرونه و آیالو، ۲۰۱۵؛ مقصودی و همکاران، ۱۳۸۹؛ کرم و همکاران، ۱۳۸۹؛ حسینخانی، ۱۳۹۲؛ شینده و همکاران، ۲۰۱۰؛ گاجبهی و همکاران، ۲۰۱۴؛ ؛ گلاگای و میناله، ۲۰۱۶). جدول (۴)، مساحت نواحی مختلف از لحاظ فرسایش‌پذیری را در حوضه آبخیز مورد مطالعه نشان می‌دهد.

جدول (۴). مساحت نواحی مختلف حوضه آبخیز مورد مطالعه از لحاظ فرسایش‌پذیری

کلاس فرسایش‌پذیری	شماره زیرحوضه‌ها	مساحت (کیلومتر مربع)
فرسایش‌پذیری خیلی زیاد	۴	۸/۹۳۶
فرسایش‌پذیری زیاد	۱و ۹	۳۶/۹۳۶
فرسایش‌پذیری متوسط	۲، ۵ و ۶	۱۰/۱۴۰
فرسایش‌پذیری کم	۷ و ۱۰	۲۰/۵۴۵
فرسایش‌پذیری خیلی کم	۳ و ۸	۱۱/۹۳۵

همان‌طور که مشاهده می‌شود، بیشتر مناطق حوضه آبخیز (۳۶/۹۳۶ کیلومتر مربع) در گروه فرسایش‌پذیری زیاد قرار دارد (همچنین ۸/۹۳۶ کیلومتر مربع از حوضه آبخیز، فرسایش‌پذیری خیلی زیاد دارد)؛ لذا لازم است برای کنترل فرسایش در این نواحی اقدامات لازم به کار رود.

با تطبیق نواحی مختلف حوضه آبخیز از لحاظ فرسایش‌پذیری با نقشه‌های کاربری اراضی و نقشه شیب شکل(۲)، مشخص گردید که مناطق حساس به فرسایش اغلب پرشیب بوده و فاقد پوشش یا دارای پوشش ضعیف (مراتع ضعیف و زراعت دیم) هستند.

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-29]
[DOR: 20.1001.1.22287736.1398.19.53.3.1]
[DOI: 10.29252/jgs.19.53.33]

نتیجه‌گیری

نتایج این مطالعه نشان داد که زیرحوضه‌های ۱، ۴ و ۹ (قسمت‌های بالادست و کناری حوضه)، در مجموع با مساحتی معادل ۴۵/۸۷۲ کیلومتر مربع (معادل ۳۶/۹۳۶ درصد از کل حوضه)، بیشترین حساسیت نسبت به فرسایش را دارند. از آنجا که مناطق حساس به فرسایش اغلب پرشیب بوده و فاقد پوشش یا دارای پوشش ضعیف (مراتع ضعیف و زراعت دیم) هستند؛ لذا ارائه راهکارهای مناسب جهت جلوگیری از فرسایش بیشتر در آن‌ها الزامی است. در این راستا، تثبیت شیب‌های تند و ناپایدار (مثلاً با احداث دیوارهای سنگی)، جلوگیری از تبدیل مراتع متراکم به اراضی دیم کم بازده، جلوگیری از چرای بیش از حد و قطع درختان و کشت گیاهان متراکم در نواحی لخت و فرسایش‌پذیر ضروری می‌باشد.

منابع

ثقفیان، بهرام؛ قرمزچشمه، باقر؛ سمیعی، مسعود و عاشقی، رضا. (۱۳۸۸). **عوامل مؤثر بر رسوب‌دهی معلق حوزه‌های آبخیز جنوب‌غربی ایران**، مجله مهندسی و مدیریت آبخیز، ۱(۳): ۱۵۳-۱۴۰.

حسینخانی، حسین. (۱۳۹۲). **ارزیابی خطر فرسایش و پتانسیل رسوب‌دهی حوضه آبریز سد شهریار میانه با استفاده از تکنیک‌های GIS و مدل EPM**. فصلنامه زمین‌شناسی ایران، ۷(۲۶): ۹۶-۸۷.

دلیر حسن‌نیا، غلامرضا. (۱۳۸۳). **بررسی فرسایش در حوضه لیقوان با روش شبکه‌بندی و موج سینماتیک**، پایان‌نامه کارشناسی‌ارشد گروه مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تبریز.

رفاهی، حسینقلی. (۱۳۸۸). **فرسایش آبی و کنترل آن**. چاپ ششم. انتشارات دانشگاه تهران.

شفاعی بجستان، محمود. (۱۳۹۰). **مبانی نظری و عملی هیدرولیک انتقال رسوب**. چاپ دوم. انتشارات دانشگاه شهید چمران اهواز.

صدوق، سیدحسن؛ حسین‌زاده، محمدمهدی؛ آزادی، فهیمه. (۱۳۹۴). **پهنه‌بندی فرسایش در حوضه آبخیز کهمان با استفاده از سه مدل EPM، BLM و Fargas**. هیدروژئومورفولوژی، ۱(۲): ۱۵۴-۱۳۷.

علی‌زاده، امین. (۱۳۸۹). **اصول هیدرولوژی کاربردی**. چاپ بیست و هشتم (با تجدید نظر). دانشگاه امام رضا (ع). انتشارات آستان قدس رضوی.

کرم، امیر؛ صفریان، آمنه؛ حجه فروش‌نیا، شیلا. (۱۳۸۹). **برآورد و پهنه‌بندی فرسایش خاک در حوضه ماملو (شرق تهران) با استفاده از روش‌های معادله اصلاح شده جهانی فرسایش خاک و فرآیند تحلیل سلسله مراتبی**. پژوهش‌های دانش زمین. ۱(۲): ۸۶-۷۳.

مقصودی، مهران؛ حبیبی، حسین. (۱۳۸۹). **پهنه‌بندی فرسایش خاک و برآورد رسوب در حوضه آبخیز مریم نگار با استفاده از مدل‌های تجربی**. پژوهش‌های دانش زمین، ۱(۱): ۳۴-۱۸.

وحیدی، محمدجواد؛ جعفرزاده، علی‌اصغر؛ فاخری‌فرد، احمد؛ صادقی، سیدحمیدرضا؛ رضایی‌مقدم، محمدحسین؛ ولی‌زاده کامران، خلیل. (۱۳۹۴). **بررسی تغییرات پوشش و کاربری اراضی حوضه آبریز لیقوان در استان آذربایجان شرقی**. فصلنامه‌ی علمی-پژوهشی فضای جغرافیایی، ۱۵(۴۹): ۱۰۰-۷۵.

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-29]

[DOR: 20.1001.1.22287736.1398.19.53.3.1]

[DOI: 10.29252/jgs.19.53.33]

Bewket, W., Teferi, E. (2009) **Assessment of soil erosion hazard and prioritization for treatment at the watershed level: Case study in the Chemoga watershed, Blue Nile basin, Ethiopia**. Land Degradation and Development, 20: 609–622.

FAO (Food and Agriculture Organization of the United Nations), State of the World's Forests (SOFO). **Forests and agriculture: land use challenges and opportunities**. (2016) Costa Rica; Georgia; Viet Nam; Tunisia; Gambia; Ghana; Americas. 125 pp.

Furey, P.R., Troutman, B.M. (2008) **A consistent framework for Horton regression statistics that leads to a modified Hack's law**. Geomorphology, 102: 603–614.

Gajbhiye, S., Mishra, S.K., Pandey, A. (2014) **Prioritizing erosion-prone area through morphometric analysis: an RS and GIS perspective**. Appl Water Sci, 4: 51–61.

Ganasri, B.P., Ramesh, H. (2016) **Assessment of soil erosion by RUSLE model using remote sensing and GIS - A case study of Nethravathi Basin**. Geoscience Frontiers, 7(6): 953-961.

Gee, G.W., Bauder, and J.W. (1985) **Particle-size Analyses**. In: Klute, A., editor. pp. 283-412. Methods of Soil Analysis, Part I. Agronomy.

Gelagay, H.S., Minale, A.S. (2016) **Soil loss estimation using GIS and Remote sensing techniques: A case of Koga watershed, Northwestern Ethiopia**. International Soil and Water Conservation Research, 4: 126–136.

Moore, I.D., Grayson, R.B., Ladson, A.R. (1991) **Digital terrain modelling: A review of hydrological, geomorphological, and biological applications**. Hydrological processes, 5(1): 3-30.

Naqvi, H.R., Athick, M.A., Ganaie, H.A., Siddiqui, M.A. (2015) **Soil erosion planning using sediment yield index method in the Nun Nadi watershed, India**. International Soil and Water Conservation Research, 3: 86–96.

Rodriguez-Iturbe, I., Valdes, J.B. (1979) **the geomorphologic structure of hydrologic response**. Water Resources Research, 15: 1409–1420.

Shia, Z.H., Caia, C.F., Dinga, S.W., Wanga, T.W., Chow, T.L. (2004) **Soil conservation planning at the small watershed level using RUSLE with GIS: a case study in the Three Gorge Area of China**. CATENA, 55(1): 33-48.

Shinde, V., Tiwari, K.N., Singh, M. (2010) **Prioritization of micro watersheds on the basis of soil erosion hazard using remote sensing and geographic information system**. International Journal of Water Resources and Environmental Engineering, 2(3): 130-136.

Tiruneh, G., Ayalew, M. (2015) **Soil loss estimation using geographic information system in Enfraz watershed for soil conservation planning in highlands of Ethiopia**. International journal of agricultural Research, Innovation and Technology, 5(2): 21-30.

Vahidi, M.J., Jafarzadeh, A.A., Fakherifard, A., Sadeghi, S.H.R., Rezaei-Moghaddam, M.H., Sofia, G., Tarolli, P. (2013) **DIGITAL CHANGE DETECTION USING REMOTELY SENSED DATA FOR MONITORING LAND USE/ LAND COVER IN HERVI WATERSHED,IRAN**. International Journal of Agriculture, 3(2): 423-440.

Valdes J.B., Fiallo, Y., Rodriguez-Iturbe, I. (1979) **A rainfall-runoff analysis of the geomorphologic IUH**. Journal of Water Resources Research, 15(6): 1421–1434.

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-29]
[DOR: 20.1001.1.22287736.1398.19.53.3.1]
[DOI: 10.29252/jgs.19.53.33]