فصلنامه تحقیقات جغرافیایی، سال ۲۸، شماره ٤، زمستان۱۳۹۲ ، شماره پیاپی ۱۱۱

**احمد نوحه گر**، دانشیار دانشگاه هرمزگان
**محمد کاظمی**، دانش‌آموخته کارشناسی ارشد آبخیزداری دانشگاه هرمزگان

A.Nohegar
M. Kazemi

Email: Mohamad.kazemi86@Gmail.com

شماره مقاله: ۹۲۲ صص: ١٤-١
وصول: ۱۳۹۱/۱۱/۸ پذیرش: ۱۳۹۲/۷/۲

# ارزیابی خطر فرسایش آبی با استفاده از مدل ICONA
# (مطالعهٔ موردی: حوضهٔ آبخیز تنگ بستانک شیراز)

## چکیده

فرسایش خاک یکی از مهم‌ترین مسایل زیست محیطی، کشاورزی و تولید غذا در جهان محسوب می شود و تأثیرات مخربی به تمام اکوسیستم‌های طبیعی و تحت مدیریت انسان دارد؛ لذا یافتن راه حل‌های سریع و به موقع الزامی به نظر می رسد. از جمله این راه‌حل‌ها کاربرد مدل ICONA[1] می‌باشد که توسط انجمن علمی حفاظت ازطبیعت اسپانیا ارایه شده است. درمیان بسیاری از روش‌ها برای پیش‌بینی فرسایش با استفاده از GIS و RS، نتایج شبیه‌سازی این مدل به صورت همگانی پذیرفته شده است. این تحقیق سیمای فرسایش آبی حوضه آبخیز تنگ بستانک شیراز را به شکل موردی بررسی‌کرده و وضعیت فرسایش خاک و پهنه بندی آن را نشان می‌دهد. این مدل دارای هفت مرحله می باشد که در گام اول نقشه شیب، درگام بعد نقشه زمین‌شناسی و درمرحله سوم ازهمپوشانی لایه شیب و زمین شناسی، لایه فرسایش‌پذیری خاک تهیه شد. در گام چهارم، نقشهٔ کاربری با استفاده از تکنیک‌های سنجش ازدور تهیه شد و در مرحله پنجم، نقشه پوشش گیاهی با استفاده از شاخص NDVI[2] ساخته شد. در مرحله ششم، لایه اطلاعاتی کاربری‌اراضی و لایهٔ پوشش گیاهی همپوشانی شده و نقشه حفاظت خاک را می‌سازند. در گام آخر، لایهٔ فرسایش‌پذیری خاک و لایه حفاظت خاک همپوشانی شده و نقشه خطر فرسایش‌پذیری را می‌سازند.

نتایج نشان دادکه ازکل سطح حوضه، ۲۸/۶٪ کلاس‌خطرفرسایش خیلی‌کم، ۳۶/۷٪ کلاس خطر فرسایش کم،۲۶/۷٪ کلاس خطر فرسایش متوسط، ۳/۲٪کلاس خطر فرسایش زیاد و۴/۸٪ کلاس خطر فرسایش بسیار زیاد را به خود اختصاص داده‌اند. این مدل سعی بر پهنه بندی خطر فرسابش آبی با استفاده بهینه از دورسنجی و سامانه اطلاعات جغرافیایی دارد.

**واژه‌های کلیدی :** فرسایش، پهنه بندی، سامانه اطلاعات جغرافیایی، سنجش از دور، ICONA .

*1 -Institute Conservation Of Nature*
*2 - Normalized Difference Vegetation Index*

[ Downloaded from georesearch.ir on 2026-08-26 ]

**مقدمه**

مدل مورد استفاده در این تحقیق، مدل ICONA می باشد که توسط انجمن علمی حفاظت از طبیعت اسپانیا ارایه شده است. این مدل در کشورهای اروپایی و بسیاری از مناطق مدیترانه‌ای و نیمه مدیترانه‌ای قابل استفاده می باشد. در میان بسیاری از راه‌های مؤثر برای پیش بینی فرسایش به همراه استفاده از GIS **و** RS، نتایج شبیه سازی این مدل به صورت همگانی پذیرفته شده است. لازم به ذکر است که در قرن اخیر پدیده‌ی فرسایش خاک و انتقال رسوبات برای جامعه بشری مسایل و مشکلات زیادی را به وجود آورده است. به طوری که تجزیه و تحلیل آن و پیدا کردن راه حل‌های سریع و به موقع مستلزم تحقیقات دامنه داری در سطح جهانی است. فرسایش، نتیجه و حاصل اثر متقابل مجموعه ای از عوامل طبیعی و انسانی است که بر حسب شـرایط خاص منطقه، یک یا چند عـامل، به عنوان عـوامل اصلی و تعیین کننده عمل می نمایند. با توسعه و پیشرفت بشر شدت فرسایش خاک فزونی یافته، به‌طوری که شدت فرسایش خاک در آسیا، آفریقا و امریکای جنوبی با ۳۰ تا ۴۰ تن در هکتار در سال بیشترین و در اروپا و امریکای شمالی با ۱۳ تن در هکتار در سال کمترین است (برایان،۲۰۰۰ و بایرامین ،۲۰۰۳). فرسایش خاک یکی از مهم‌ترین مسایل زیست محیطی، کشاورزی و تولید غذا در جهان محسوب می شود و تأثیرات مخربی بر تمام اکوسیستم‌های منابع طبیعی و تحت مدیریت انسان دارد (بای بوردی،۱۳۷۲). رشد روزافزون جمعیت ایران در ۴۰ سال اخیر و نیاز روز افزون به توسعه منابع غذایی، موجب استفاده بی‌رویه و بیش از توان اکولوژیکی منابع طبیعی کشور شده است. این روند به تشدید فرآیند تخریب منابع آب و خاک منجر شده است. امروزه پدیده فرسایش با کاهش حاصلخیزی خاک، باعث تخریب اکوسیستم‌های طبیعی نظیر مراتع، جنگل‌ها و اکوسیستم‌های کشاورزی می‌گردد(بایرامین، ۲۰۰۳). فرسایش توسط آب، خاک سطحی و مواد غذایی را خـارج می‌کند، حاصلخیزی خاک را در معرض خطـر قرار می‌دهد، ظرفیت نگهداری آب قـابل استفـاده را کاهش می‌دهد، پایداری ساختمان خاک را کاهش می‌دهد و باعث انسداد سطحی می‌شود(روتن و تیلر،۱۹۹۰). تأثیرات فرسایش در منطقه شامل از دست رفتن خاک از منطقه، شکستن ساختمان خاک، کاهش مواد آلی و مواد غذایی، حرکت به سمت کاهش حاصلخیزی خاک و در آخر کاهش منابع غذایی و کاهش پوشش گیاهی می‌باشد(کروسن،۱۹۹۷ واستیگن،۲۰۰۱). تأثیرات فرسایش در خارج از منطقه شامل مشکل رسوب گذاری در مسیر رودخانه، افزایش به خطر افتادن مواد غذایی و کاهش طول عمر منابع می‌باشد(هارگوین و همکاران،۲۰۰۶وکلارک،۱۹۸۵). فرسایش پذیری خاک، قابلیت ذاتی خاک برای از دست رفتن، توسط عوامل فرسایش می‌باشد. پدیدهٔ فرسایش خاک تابعی از قابلیت جدا شدن ذرات تشکیل دهندهٔ قشر سطحی خاک، همزمان با تغییر مکان آنها توسط عوامل انتقال دهنده است(حسین و همکاران،۲۰۰۷). عوامل تشدید فرسایش خاک، معمولاً به چهار پارامتر اقلیم، پستی و بلندی، پوشش گیاهی و خاک و نیز اثر متقابل آنها بستگی دارد (لافلان،۱۹۹۸). مدل حاضر این موارد را به خوبی در بطن خود بررسی می‌نماید و نتایج حاصل از درجه اعتبار بالایی برخوردار است. تهیه نقشه صحیح خطر فرسایش در سامانه اطلاعات جغرافیایی برای تعیین مناطقی که خطر فرسایش بالایی دارند و برای توسعه مناسب تکنیک‌های پیشگیری از فرسایش، بسیار مهم می‌باشد (میتاسوا و همکاران،۱۹۹۶). مطالعات بسیاری روی مدل‌سازی فرسایش خاک با به‌کارگیری تکنیک‌های RS و GIS انجام شده است(رود و فرد،۱۹۹۷)، این مدل نیز در بطن خود به‌خوبی از توانمندی و توانایی سنجش از دور و سیستم‌های اطلاعات جغرافیایی در برآورد پارامترها و پهنه بندی خطر فرسایش استفاده می‌کند(بایرامین، ۲۰۰۳). تولید نقشه های

[ Downloaded from georesearch.ir on 2026-08-26 ]

صحیح به منظور مدیریت حوضه‌ی آبخیز، ازجمله نقشه‌های فرسایش خاک می تواند به‌وسیله فرآیند تشکیل پایگاه اطلاعات مکانی و با استفاده از سیستم اطلاعات جغرافیایی همراهی شود(مسهوق و همکاران،۲۰۰۲).

تصاویر لندست با سنجنده‌ی TM و تکنیک آنالیز [1]سامانه اطلاعات جغرافیایی می تواند برای تهیه نقشه‌های تخریب و فرسایش اراضی مورد استفاده قرار بگیرد (زابو[2]، ۱۹۹۸). مورگان[3] (۱۹۷۸)، برنی[4] (۱۹۹۷) و آلکرونا[5] (۱۹۸۸)، موفق به کاربرد اطلاعات RS[6] برای تعیین پوشش گیاهی و کاربری اراضی مرتبط با فرسایش شدند. بوجی[7] (۱۹۹۵)، میلوارد و مرسی[8] (۱۹۹۹) و جنگ[9] (۱۹۹۹)، در تحقیقات خود، موفق به کاربرد تکنیک‌های RS و GIS برای تعیین خطر فرسایش فرسایش خاک شدند. اوزل و همکاران[10] (۱۹۹۹)، تحقیقی را بر حوضه آبخیز دالامان در کشور ترکیه با استفاده از مدل ICONA انجام دادند و موقعیت خطر فرسایش پذیری حوضه را تعیین کردند(میلوارد،۱۹۹۹). در مطالعهٔ دیگری که در ترکیه و بر سد یوسوفلی انجام شد، کلاس فرسایش پذیری منطقه مورد مطالعه با وسعت ۱۵۲۵۰۰۰ هکتار و با به‌کارگیری مدل ICONA و تصاویر لندست، سنجنده TM و شاخص NDVI، تعیین و برآورد شد. همچنین در مطالعه دیگری که در کشور میانمار انجام شد، خطر فرسایش‌پذیری منطقه با استفاده از مدل ICONA و با به‌کارگیری تصاویر لندست، سنجنده‌ی TM و شاخص NDVI برآورد گردید. بر طبق این تحقیق ۷۶/۵ درصد از منطقه دارای خطر فرسایش پذیری کم، ۲۱/۸ درصد از منطقه خطر فرسایش پذیری متوسط و ۱/۷ درصد از منطقه دارای خطر فرسایش پذیری بالا بود. رئوفی (۲۰۰۴)، سعی در تعیین نقشه فرسایش به وسیلهٔ استفاده از تکنیک پردازش تصاویر در حوضهٔ طالقان در استان تهران کرد. حاجی قلی زاده(۲۰۰۵)، از سنجده ETM[11] به اضافه روش تفسیر عکس‌های ماهواره‌ای برای تهیهٔ نقشهٔ فرسایش برای پنج حوضه در استان تهران استفاده کرد. نتایج این تحقیق نشان می‌دهد که تشخیص فرسایش سطحی و شیاری به دلیل وضوح تصاویر بسیار مشکل است. دراین پژوهش با کمک مدل ICONA به بررسی وضعیت فرسایش آبی و پهنه بندی خطرفرسایش آبی در حوضهٔآبخیز تنگ بستانک شیراز پرداخته شده است.

## داده ها و روش پژوهش

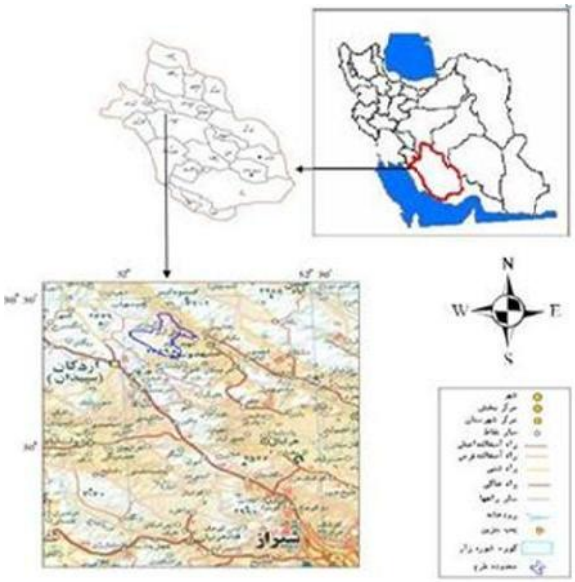
### موقعیت منطقهٔ مطالعاتی

حوضهٔ مورد مطالعه در این بررسی، تحت عنوان حوضه آبخیز تنگ بستانک در حدود ۸۰ کیلومتری شمال غرب شهرستان شیراز و در موقعیت جغرافیایی"۴۳ ´۰۳ ۵۲° تا ´۳۶ ´۱۳ ۵۲° شرقی و ´۳۳ ´۱۶ ۳۰° تا ´۱۸ ´۲۵ ۳۰° شمالی واقع شده است. این حوضه از نظر تقسیمات حوضه های آبریزکشوری، جزء زیر حوضه آبریز نیریز و شیراز بوده که آب‌های آن پس از واردشدن به رودخانه کر، وارد دریاچه بختگان می‌شود. میانگین بارش سالانه این حوضه ۶۰۹ میلی متر

*1 -Geographic Information System*
*2 -Szabo*
*3 -Morgan*
*4 -Berney*
*5-Ahlcrona*
*6 -Remote sensing*
*7 - Bojie*
*8 -Millward and mersey*
*9 -jong*
*10-Ozel*
*11 -Enhanced Thematic Mapper*

[ Downloaded from georesearch.ir on 2026-08-26 ]

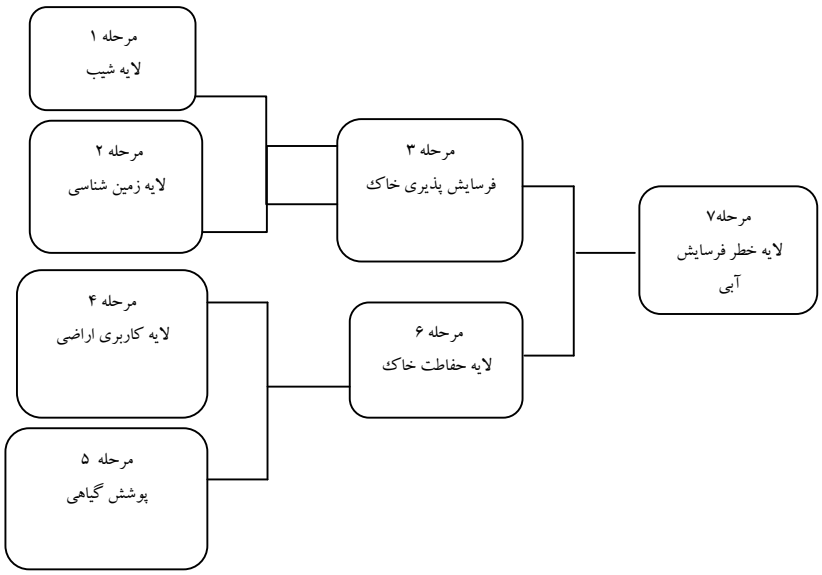
می‌باشد، این حوضه طبق روش اقلیم نمای دومارتن اصلاح شده، دارای اقلیم مدیترانه ای سرد می باشد. شکل (۱)، موقعیت منطقه و راه‌های دسترسی به آن را نشان می‌دهد.




**شکل ۱) موقعیت حوضهٔ آبخیز تنگ بستانک و راه‌های دسترسی به آن**

## معرفی مدل

مدل ICONA دارای هفت مرحله می باشد، که در شکل(۲) نشان داده شده است.




**شکل ۲) مراحل مختلف مدل ICONA**

تصویر ماهواره لندستTM4 ، لایه های اطلاعاتی آبراهه ها و جاده ها، نقشهٔ رقومی توپوگرافی ودستگاه GPS

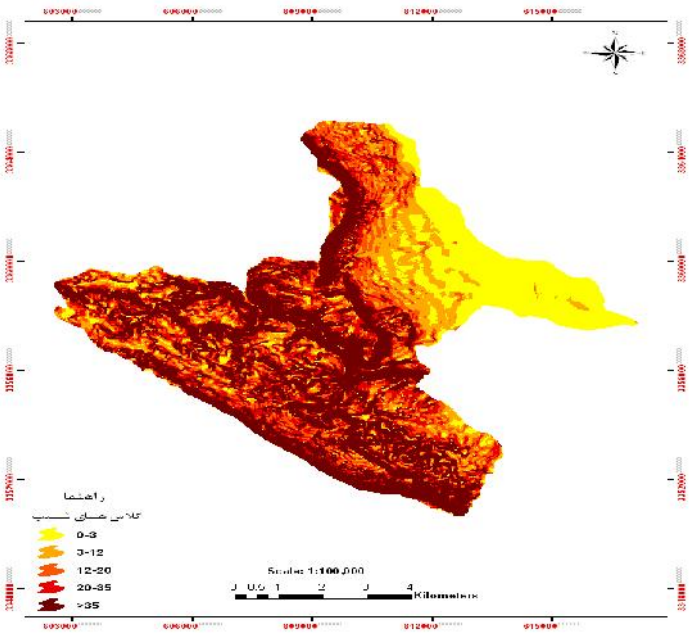
[ Downloaded from georesearch.ir on 2026-08-26 ]

مرحلهٔ ۱) تهیهٔ لایهٔ شیب منطقه

در این مرحله، ابتدا لایهٔ شیب تهیه می شود. برای به‌دست آوردن کلاس شیب منطقه از اطلاعات نقشه های ۲۵۰۰۰ : ۱ سازمان نقشه برداری استفاده شده است. لایهٔ شیب از اطلاعات نقشه DEM به‌دست آمد. نقشه DEM[1] با الگوریتم TPSS[2] تهیه شده و در پنج گروه طبقه بندی گردید که شکل (۳) بیانگر آن می باشد. کلاس بندی شیب منطقه در جدول زیر آورده شده است.

**جدول ۱) طبقات شیب منطقه**

| عنوان | دامنه درصد شیب | کلاس |
|---|---|---|
| شیب خیلی کم | ۰ -۳ | ۱ |
| شیب کم | ۳ -۱۲ | ۲ |
| شیب متوسط | ۱۲ -۲۰ | ۳ |
| شیب تند | ۲۰ -۳۵ | ۴ |
| شیب خیلی تند | >۳۵ | ۵ |




**شکل۳) نقشهٔ شیب حوضهٔ آبخیز تنگ بستانک**

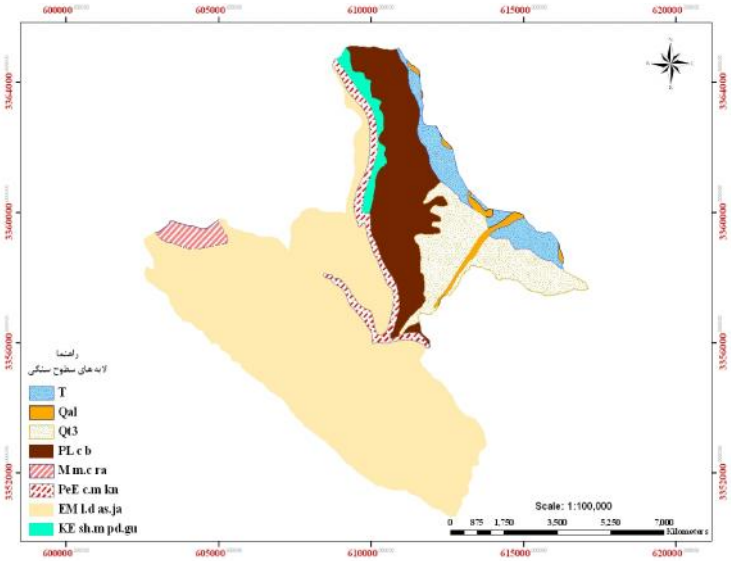
مرحلهٔ ۲ ) لایه سطوح سنگی (زمین شناسی)

در این مرحله برای طبقه بندی لایه سطوح سنگی از نقشه زمین شناسی رقومی شده با مقیاس ۱/۵۰۰۰۰ استفاده شد و سازند زمین شناسی بر طبق مقاومت به هوادیدگی در ۵ گروه طبقه بندی گردید که در جدول (۲) نشان داده شده است و به علاوه جزئیات و درصد مناطق در ۵ گروه طبقه بندی شده است. نقشه سطوح سنگی نشان دهندهٔ نوع سنگ ، مواد

[1] *Digital Elevation Model*
[2] *Tin Plate Smoothing Spline*

[ Downloaded from georesearch.ir on 2026-08-26 ]

مادری یا رسوب سطحی یا خاک با تأکید بر مقاوت نسبت به فرسایش شیمیایی و مکانیکی می‌باشد، که شکل (۴) بیانگر این مطلب است.




**شکل٤) نقشهٔ لایه سطوح سنگی حوضهٔ آبخیز تنگ بستانک**

**جدول ۲) جدول لایه های سطوح سنگی**

| Lithofacies Classes ( type of Material ) |
|---|
| ( 1a ) Non-weathered compact rock, strongly cemented conglomerates or soils, crusts, hard pans ( massive, limestone, highly stone soils, igneous / eruptive rocks ) |
| ( 2b ) fractured and / or medium weathered cohesive rocks or soils |
| ( 3c ) Slightly to medium compacted sedimentary rocks ( slate, schists, compactedmarls, etc.)and soils |
| ( 4d ) Soft, low – resistant or strongly/deeply weathered rock(marl, gypsum, clayey saltes, etc. ) or soils |
| ( 5e ) loose, non cohesive sediment / soils and detritic material |

مرحلهٔ ۳ ) نقشه فرسایش پذیری خاک

برای مشخص کردن نقشه فرسایش پذیری خاک، لایه شیب و سطوح سنگی همپوشانی می شوند و نقشهٔ پتانسیل خطر فرسایش و سطح فرسایش پذیری از ترکیب این دو به دست می آید. زمینه و سطح فرسایش پذیری در جداول زیر آورده شده است. برای مثال، کلاس فرسایش پذیری صخره متراکم ، دارای کلاس (1a) و شیب کمتر از ۳ درصد، مینیمم یا (EN) می‌باشد یا لس‌های فاقد رسوب/خاک چسبنده با شیب بیشتر از ۳۵ درصد، دارای کلاس فرسایش پذیری ماکسیمم یا (EX) می باشد. زمینه فرسایش پذیری در جدول (۳) آورده شده است.

**جدول۳) جدول زمینه و سطح فرسایش پذیری**

| Slope class | Lithofacies Class | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| | 1 ( a) | 2 ( b ) | 3 ( c ) | 4 ( d ) | 5 ( e ) |
| 1 | 1 ( EN ) | 1 ( EN ) | 1 ( EN ) | 1 ( EN ) | 2 ( EB ) |
| 2 | 1 ( EN ) | 1 ( EN ) | 2 ( EB ) | 3 ( EM ) | 3 ( EM ) |
| 3 | 2 ( EB ) | 2 ( EB ) | 3 ( EM ) | 4 ( EA ) | 4 ( EA ) |
| 4 | 3 ( EM ) | 3 ( EM ) | 4 ( EA ) | 5 ( EX ) | 5 ( EX ) |
| 5 | 4 ( EA ) | 4 ( EA ) | 5 ( EX ) | 5 ( EX ) | 5 ( EX ) |

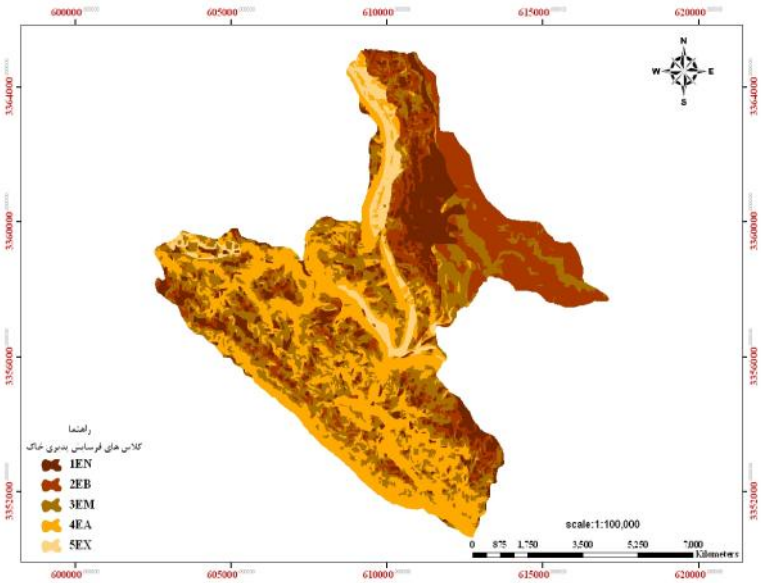
[ Downloaded from georesearch.ir on 2026-08-26 ]

شاخص فرسایش پذیری در جدول (۴) آورده شده است.

**جدول٤) جدول شاخص فرسایش پذیری**

| Class | Label | Description |
|---|---|---|
| 1 | EN | Very low |
| 2 | EB | Low |
| 3 | EM | Medium |
| 4 | EA | High |
| 5 | EX | Extreme |

باتوجه به مطالب بالا نقشه فرسایش پذیری خاک در شکل (۵) نشان داده شده است.




**شکل٥) نقشهٔ فرسایش پذیری خاک حوضهٔ آبخیز تنگ بستانک**

مرحلهٔ ۴ ) تعیین کاربری منطقه

تصاویر ماهواره لندست و سنجنده TM سال ۱۹۸۸ با بیشترین احتمال الگوریتمی برای تشخیص گروه‌های مختلف کاربری موجود در منطقه طبقه بندی شدند. این کار با نمونه گیری‌های یکنواخت و همگن و استفاده از شاخص OIF[1] در منطقه صورت گرفت(رابطهٔ ۱).

$$OIF = \frac{\sum_{j=1}^{3} SDi}{\sum_{j=1}^{3} |CCj|}$$

رابطهٔ ۱)

که: $\sum_{j=1}^{3} SDi$ = مجموع انحراف معیار های سه باند؛ $\sum_{j=1}^{3} |CCj|$ = مجموع قدر مطلق ضرایب همبستگی بین دو باند از سه باند (ترکیب باندی ۴۳۲).

در این قسمت از مطالعه، از فنون سنجش از دور به خوبی بهره برده شد؛ از آن جمله می‌توان به استفاده ازکوواریانس باندها، ضریب کاپای ۰/۹۱ و صحت کلی ۰/۹۲ و همچنین تست صحت کاربر و تولیدکننده برای کاربری‌های اراضی

[1] *Optimum Index Factor*

[ Downloaded from georesearch.ir on 2026-08-26 ]

مختلف وطبقه‌بندی صحیح آنها اشاره کرد(روابط۲، ۴،۳و۵) (کاظمی،۱۳۸۹، یوسفی و همکاران،۱۳۹۰)، که نتایج در جدول شمارهٔ (۵) آورده شده است. ده کاربری مختلف به‌وسیلهٔ این نمونه‌گیری‌ها در منطقهٔ مورد مطالعه از هم تفکیک شدند، که این کاربری‌ها در ۵کلاس قرار می‌گیرند. کاربری‌های موجود در منطقه و نقشهٔ کاربری در جدول و شکل (۶) آورده شده است.

رابطهٔ۲) $OA = 1/N( \Sigma Pii)$

که:OA = صحت کلی، N = تعداد کل پیکسل های آزمایشی، ΣPii = مجموع پیکسل های درست طبقه بندی شده.

برای ارزیابی ضریب کاپا از رابطهٔ (۳) استفاده شد.

رابطهٔ۳) $K=(OA-1/q)/(1-1/q)$

که:K= ضریب کاپا، q = پیکسل های درست طبقه بندی نشده.

همچنین در این مطالعه از روش‌های دقت کاربر و دقت تولیدکننده استفاده شد.

رابطهٔ ۴) $PA=ta/ga\times100$

رابطهٔ۵) $UA=ta/n1\times100$

که در این روابط PA: دقت کلاس a برای تولیدکننده، ta: تعداد پیکسل‌های صحیح طبقه‌بندی شده، ga: تعداد پیکسل‌های کلاس a : درواقعیت زمینی. UA: درصد دقت کلاس a برای دقت کاربر، n1: تعداد پیکسل‌های کلاس a در نتیجه طبقه بندی .

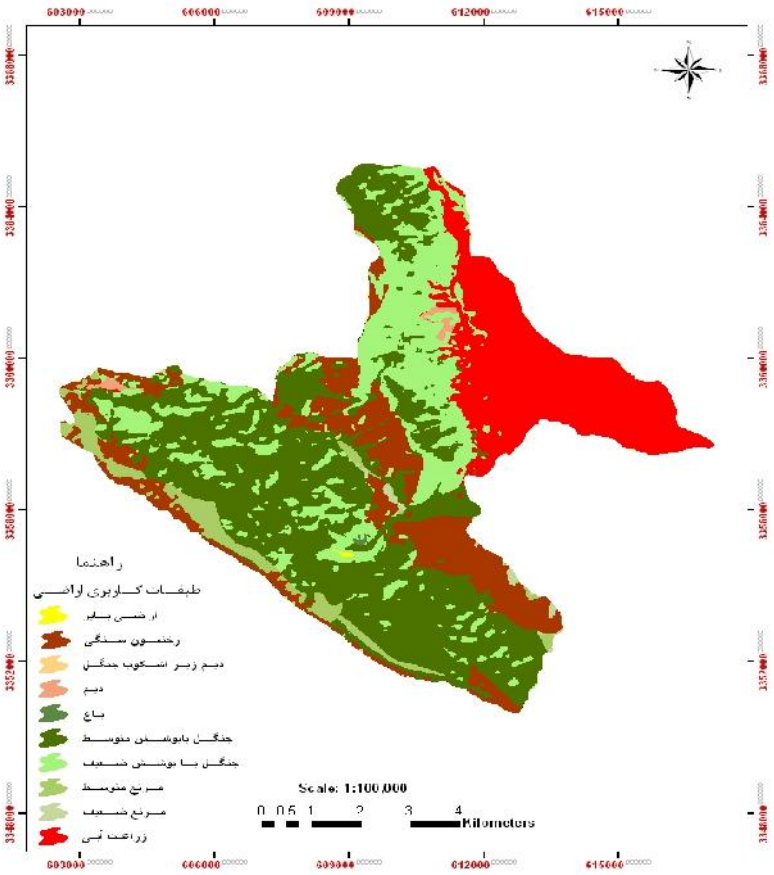
**جدول۵) آزمون دقت کلاس‌های طبقه‌بندی شده کاربری‌های اراضی**

| طبقات کاربری اراضی | دقت کلی | دقت کاپا | صحت کاربر | صحت تولیدکننده |
|---|---|---|---|---|
| جنگل با پوشش متوسط | ۰/۸۹ | ۰/۸۸ | ۹۸/۱ | ۹۳/۴۸ |
| جنگل با پوشش ضعیف | ۰/۸۵ | ۰/۸۴ | ۸۹/۶۲ | ۹۳/۸۴ |
| مرتع متوسط | ۰/۸۶ | ۰/۸۵ | ۸۸/۵۱ | ۹۴/۹۳ |
| مرتع ضعیف | ۰/۹۰ | ۰/۸۹ | ۸۵/۸۷ | ۸۸/۵۱ |
| زراعت آبی | ۰/۹۲ | ۰/۹۱ | ۸۸/۶۸ | ۹۶/۵۸ |
| دیم | ۰/۷۹ | ۰/۷۸ | ۹۲/۳۹ | ۹۴/۴۴ |
| دیم زیراشکوب جنگل | ۰/۷۰ | ۰/۶۸ | ۷۸/۶۱ | ۵۶/۱۶ |
| رخنمون سنگی | ۰/۹۴ | ۰/۹۳ | ۱۰۰ | ۱۰۰ |
| اراضی بایر | ۰/۸۸ | ۰/۸۷ | ۷۹/۰۵ | ۹۰/۹۷ |
| باغ | ۰/۸۵ | ۰/۸۴ | ۹۲/۰۲ | ۹۴/۴۴ |

**جدول٦) جدول طبقات کاربری‌های اراضی**

| نوع کاربری | کلاس |
|---|---|
| کشت دیم | ۱ |
| کشت آبی | ۲ |
| جنگل | ۳ |
| مرتع | ۴ |
| صخره | ۵ |

[ Downloaded from georesearch.ir on 2026-08-26 ]




**شکل ٦) نقشهٔ کاربری‌های اراضی حوضهٔ آبخیز تنگ بستانک**

مرحلهٔ ۵ ) تعیین پوشش گیاهی

برای به‌دست آوردن نقشهٔ پوشش گیاهی، از شاخص NDVI و تصاویر لندست TM استفاده شد. فرمول شاخص NDVI به صورت رابطه (۶) می باشد.

$$NDVI = NIR\ Band - R\ Band / NIR\ Band + R\ band$$ رابطهٔ۶)

لایهٔ NDVI در ۴ گروه طبقه بندی می‌شود و سپس با توجه به رابطهٔ ذیل(رابطهٔ۷)، لایهٔ پوشش گیاهی را تولید می کند. این شاخص نشان دهنده میزان انرژی انعکاس از زمین مربوط به تفاوت در شرایط نوع پوشش گیاهی می باشد. محدودهٔ شاخص NDVI، بین ۱+ تا ۱- می باشد. اگر انعکاس طیفی اندازه‌گیری شده از سطح زمین خیلی شبیه به هر دو باند باشد، مربوط به زمانی است که شاخص نزدیک به صفر است. نتیجهٔ تفاوت بین هر دو باند این است که مقدار NDVI دارای محدودهٔ اطلاعاتی زیادی می‌باشد. فعالیت فتوسنتز گیاهی یک بازتاب بسیار زیاد را در بخش IR طیف ( باند ۴ ، لندست ETM )، در مقایسه با بخش مرئی (قرمز، باند ۳، لندست TM) نشان می‌دهد. بنابراین، مقدار NDVI برای فعالیت فتوسنتز گیاهی مثبت خواهد بود. مناطق فاقد پوشش گیاهی و یا با پوشش گیاهی کم (مثل خاک‌های لخت، حومه شهرها)، همانند فعالیت غیرفتوسنتزی گیاهی( گیاهان دچار تنش یا مسن )، مقدار صفر یا منفی را نشان می‌دهند. فاکتور درصد پوشش گیاهی از نمایه گیاهی NDVI با استفاده از فرمول ارایه شده توسط وان درنیف و همکاران(۱۹۹۹)، تخمین زده شد، که در آن $\beta$ و$\alpha$ پارامترهای بدون واحد هستند و مقادیر آنها به ترتیب ۲ و۱ است.

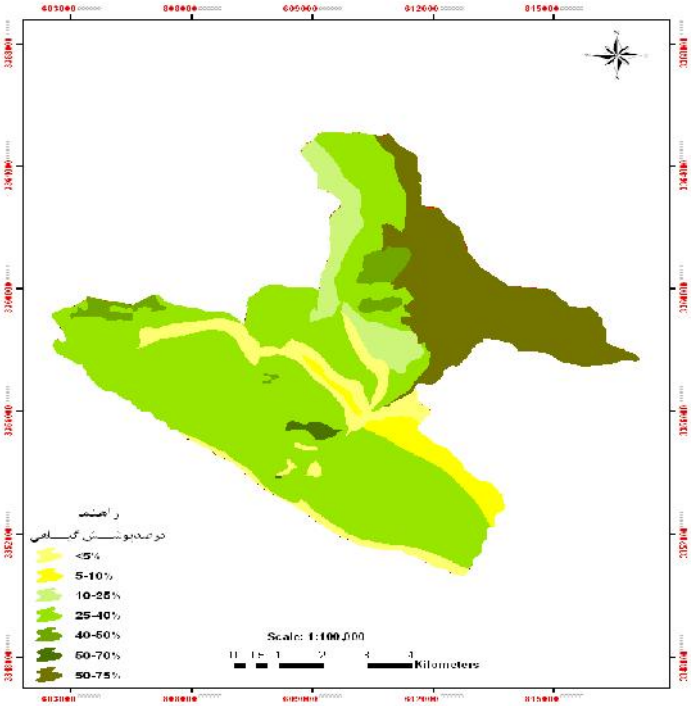
$$C= \exp(- \alpha\ NDVI/\beta\text{-}NDVI)$$ رابطهٔ۷)

[ Downloaded from georesearch.ir on 2026-08-26 ]

کلاس‌بندی درصد پوشش گیاهی منطقه مورد مطالعه و نقشه پوشش گیاهی به‌ترتیب در جدول و شکل (۷) آورده شده است.

**جدول۷) جدول طبقات درصد پوشش گیاهی**

| درصد پوشش گیاهی | طبقه |
|---|---|
| درصدپوشش گیاهی کمتراز۲۵٪ | ۱ |
| درصد پوشش گیاهی بین۲۵٪تا۵۰٪ | ۲ |
| درصد پوشش گیاهی بین ۵۰٪تا۷۵٪ | ۳ |
| درصدپوشش گیاهی بیشتر از ۷۵٪ | ۴ |




**شکل ۷) نقشهٔ پوشش گیاهی حوضهٔ آبخیز تنگ بستانک**

مرحلهٔ ۶ ) تعیین وضعیت حفاظت خاک

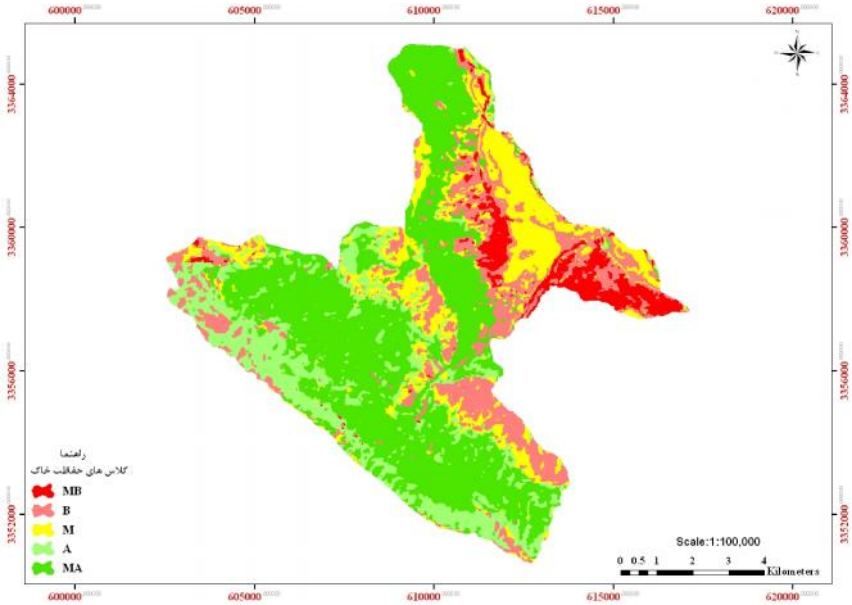
در این مرحله، برای به‌دست آوردن نقشهٔ حفاظت خاک، لایهٔ کاربری و لایهٔ پوشش گیاهی همپوشانی می‌شوند. کلاس وضعیت حفاظت خاک با توجه به نوع کاربری و میزان پوشش گیاهی در جدول (۸) نشان داده شده است.

**جدول۸) جدول وضعیت حفاظت خاک**

| Land Use | Vegetation cover (NDVI) | | | |
|---|---|---|---|---|
| | 1 | 2 | 3 | 4 |
| 1 | 5 ( MB ) | 5 ( MB ) | 4 ( B ) | 4 ( B ) |
| 2 | 5 ( MB ) | 5 ( MB ) | 4 ( B ) | 3 ( M ) |
| 3 | 3 ( M ) | 2 ( A ) | 1 ( MA ) | 1 ( MA ) |
| 4 | 4 ( B ) | 3 ( M ) | 2 ( A ) | 1 ( MA ) |
| 5 | 5(MB) | 4(B) | 3(M) | 2(A) |

[ Downloaded from georesearch.ir on 2026-08-26 ]

نقشهٔ حفاظت خاک، با توجه به کلاس‌های ارایه شده، به صورت شکل (۸) می باشد.




**شکل ۸) نقشهٔ حفاظت خاک حوضهٔ آبخیز تنگ بستانک**

مرحلهٔ ۷) نقشهٔ خطر فرسایش خاک ICONA

سرانجام در مرحلهٔ آخر، نقشهٔ حفاظت خاک و نقشهٔ فرسایش‌پذیری خاک برای به وجودآوردن نقشهٔ خطر فرسایش خاک ICONA ترکیب می‌شوند. زمینهٔ فرسایش و کلاس فرسایش خاک، در جداول (۹) و (۱۰) آورده شده است.

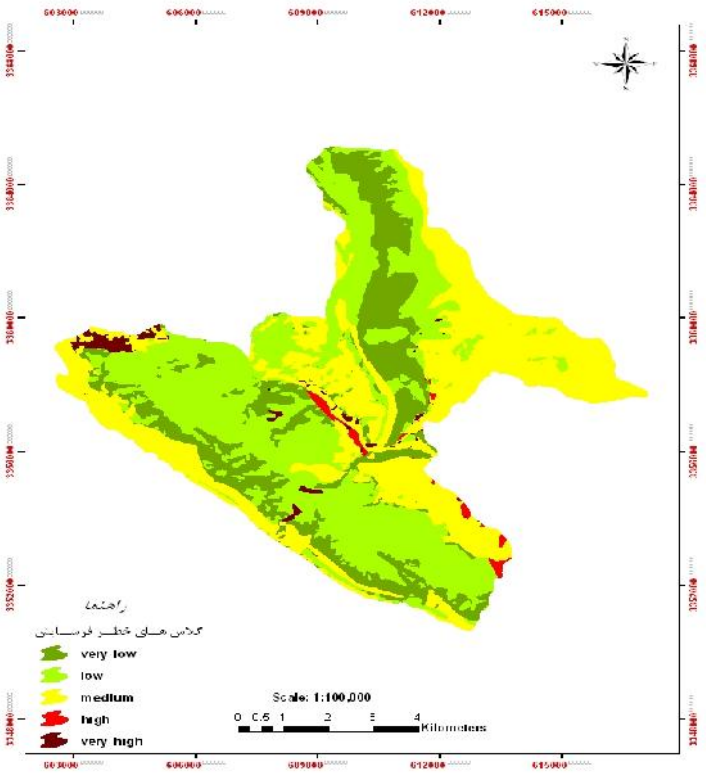
**جدول ۹) جدول طبقات حفاظت خاک و فرسایش پذیری**

| Erosion Risk | | Level of erodibility | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | | 1 EN | 2 EB | 3 EM | 4 EA | 5 EX |
| Level of soil protection | 1 MA | 1 | 1 | 1 | 2 | 2 |
| | 2 A | 1 | 1 | 2 | 3 | 4 |
| | 3 M | 1 | 2 | 3 | 4 | 4 |
| | 4 B | 2 | 3 | 3 | 5 | 5 |
| | 5 MB | 2 | 3 | 4 | 5 | 5 |

**جدول۱۰) جدول کلاس‌های خطر فرسایش**

| | |
|---|---|
| خیلی کم | ۱ |
| کم | ۲ |
| متوسط | ۳ |
| زیاد | ۴ |
| خیلی زیاد | ۵ |

[ Downloaded from georesearch.ir on 2026-08-26 ]




**شکل۹) نقشهٔ خطر فرسایش حوضهٔ آبخیز تنگ بستانک**

## بحث

تحقیق حاضر نشان می‌دهد، که تکنیک RS و GIS نقش بسیار مهمی را در مطالعات خطر فرسایش خاک ایفا می‌کنند. از این‌رو این تحقیق بر آن است که سیمای فرسایش حوضه آبخیز مورد نظر را بررسی کرده و وضعیت و روند تخریب و فرسایش خاک را با استفاده از سامانهٔ اطلاعات جغرافیایی و تکنیک سنجش از دور به صورت یک مطالعهٔ موردی در منطقه تنگ بستانک در قالب مدل فرسایشی ICONA برآورد و تخمین نماید. مدل ICONA برای تعیین و تخمین خطر فرسایش خاک، بسیار مفید می‌باشد. در این مدل از تکنیک‌های RS و GIS به خوبی استفاده می‌شود. برداشت‌ها و بازدیدهای میدانی و مقایسهٔ این نتایج با داده‌های زمینی ، صحت ، دقت و سهولت این مدل را تأیید می‌کند. فاکتورهای زیادی می‌توانند با به‌کارگیری تکنولوژی‌های جدید، مثل RS و GIS به آسانی تجزیه و تحلیل و ارزیابی شوند. تکنیک RS ، ابزار بسیار قوی و کارآمد برای جمع آوری و مشاهدهٔ اطلاعات پوشش زمین و کاربری اراضی می‌باشد. همچنین تکنیک GIS برای پردازش مقدار زیادی اطلاعات مکانی و فراهم کردن صحت و دردسترس بودن بیشتر اطلاعات مربوط به فرسایش خاک، بسیار مفید می‌باشد. این مدل به دلیل استفاده از همین تکنیک‌ها، به ویژه در مناطقی که مساحت زیادی دارند، مناطقی که اطلاعات کافی در مورد آنها وجود ندارد و همچنین دسترسی به این مناطق به دلایلی از جمله صعب العبور بودن ممکن نمی‌باشد، بسیار مؤثر است. اجرای این مدل فرسایشی، می‌تواند به شناسایی مکان‌هایی که تحت تأثیر فرسایش هستند، کمک کند و با شناسایی این مکان‌ها، مدیریت لازم جهت کنترل و کاهش فرسایش خاک اعمال شود. مدل مذکور، قادر به ارایهٔ پتانسیل فرسایش پذیری خاک و همچنین خطر فرسایش آبی می‌باشد. نقشهٔ نهایی خطر فرسایش نشان می‌دهد که از کل مساحت حوضه آبخیز، ۲۸/۶ درصد کلاس خطر فرسایش خیلی کم، ۳۶/۷درصد کلاس خطر فرسایش کم، ۲۶/۷ درصد کلاس خطر فرسایش متوسط، ۳/۲ درصد کلاس خطر فرسابش زیاد و ۴/۸

[ Downloaded from georesearch.ir on 2026-08-26 ]

درصد کلاس خطر فرسایش بسیار زیاد را شامل می‌شوند. در این تحقیق، نقشهٔ خطر فرسایش پذیری منطقهٔ مورد مطالعه در سال ۱۹۸۸ براساس مدل فرسایشی ICONA و با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای لندست ۴، سنجندهٔ TM[1] برآورد شد. این مدل دارای هفت مرحله می‌باشد. نقشهٔ پتانسیل خطر فرسایش (مرحلهٔ ۳)، از همپوشانی لایهٔ شیب (مرحله ۱) و لایهٔ زمین شناسی (مرحله ۲) به‌دست می‌آید. نتیجهٔ این فرآیند، نشان می دهد که ۱۳ درصد از منطقه پتانسیل خیلی کم، ۲۲/۸ درصد از منطقه پتانسیل کم، ۲۸/۴ درصد پتانسیل متوسط، ۳۰/۸ درصد پتانسیل زیاد و ۵ درصد از حوضهٔ مطالعاتی دارای کلاس فرسایش پذیری بسیار زیاد می‌باشد. لایهٔ کاربری(مرحلهٔ ۴) و لایهٔ پوشش گیاهی (مرحله ۵) به‌دست آمده از تصاویر ماهواره ای طبقه بندی شده و ترکیب می‌شوند تا نقشهٔ حفاظت خاک (مرحلهٔ ۶) را تولید کنند. نتیجهٔ این فرآیند نشان می‌دهد که ۵/۶ درصد کلاس خیلی کم، ۱۸/۲کلاس کم، ۱۵/۶ کلاس متوسط، ۱۷/۱ کلاس زیاد، ۴۳/۵ کلاس بسیار زیاد حفاظت خاک را شامل می‌شوند. در مرحلهٔ آخر فاز پیشگویی (مرحلهٔ ۷)، لایهٔ فرسایش‌پذیری خاک و لایهٔ حفاظت خاک ترکیب شده و نقشهٔ پتانسیل خطر فرسایش خاک ICONA را تشکیل می‌دهند. رضایی و جکس(۲۰۰۴)، در تحقیقی اثر شیب، ارتفاع و پوشش گیاهی بر توزیع مکانی خصوصیات خاک را بررسی و دریافتند که شیب به‌طور معناداری بسیاری از خواص فیزیکی سطح خاک از جمله درجه خاکدانه سازی، درصد سنگریزه درشت، ضخامت مؤثر پروفیل خاک، ظرفیت نگهداری آب و عمق سطح ایستایی آب را تحت تأثیر قرار می‌دهد، که مدل مذکور شیب را با دقت بالا و الگوریتم جدیدی در امر فرسایش وارد می کند. توجه به این نکته الزامی است که طول و جهت شیب در جذب نور تأثیر فراوانی دارد و تبخیر مسلماً در دامنه‌های جنوبی بالاتر است و لذا پوشش گیاهی و مواد آلی کمتر و میزان فرسایش خاک بیشتر است. این مهم مخصوصاً در مناطق خشک و نیمه خشک جلوه می‌کند. این پارامتر در مدل گنجانده نشده؛ لذا این مدل برای مناطق مدیترانه‌ای و نیمه مدیترانه‌ای کاربرد دارد. نقش کاربری اراضی و پوشش گیاهی در فرسایش کاملاً روشن است و این مدل این پارامترها را با دقت بالا در بطن خود استفاده می‌کند. مطالعات اوزل و همکاران(۱۹۹۹) و بایرامین(۲۰۰۳) و نتایج حاصل از این مطالعه صحت و کارکرد سریع و آسان این مدل را نسبت به مدل‌های دیگر پهنه بندی فرسایش نشان می‌دهد.

## نتیجه گیری

مطالعهٔ فوق به منظور کاربرد مدل ICONA برای پهنه‌بندی فرسایش‌پذیری خاک و خطر فرسایش آبی صورت پذیرفت. نتایج نشان داد، وسعت مناطق دارای خطر فرسایش کم، بیشترین سطح از حوضه را به خود اختصاص داده که این مناطق دارای پوشش قابل توجهی می‌باشند. صرفه‌جویی در وقت و هزینه‌ها از مزایای کاربرد این مدل می‌باشد. همچنین کم کردن قضاوت کارشناسی و استفاده از روش‌ها و الگوریتم‌های نوین در تهیه لایه های اطلاعاتی مؤثر بر فرسایش که بر دقت و صحت مطالعه می‌انجامد، از دیگر مزایای این مدل است. توجه به این نکته الزامی است که این مدل مختص مناطق مدیترانه ای و نیمه‌مدیترانه‌ای می باشد و کاربرد آن برای مناطق دیگر، از جمله مناطق نیمه‌خشک محدود است. از جمله این محدودیت ها، لحاظ نکردن جهت شیب می‌باشد که یکی از عوامل تأثیرگذار بر میزان فرسایش مخصوصاً در مناطق گرم و خشک می باشد؛ لذا توصیه می گردد، این مدل برای مناطق تعریف شده و با کاربرد روش‌های دورسنجی و سامانه اطلاعات جغرافیایی صورت پذیرد.

*1 - Thematic mapper*

[ Downloaded from georesearch.ir on 2026-08-26 ]

## منابع و مآخذ


۱) احمدی، حسن(۱۳۷۴)، ژئومورفولوژی کاربردی، جلداول، فرسایش آبی، انتشارات دانشگاه تهران، ۶۳۴ ص.

۲) بای بوردی، محمد(۱۳۷۲)، فیزیک خاک، چاپ ششم، انتشارات دانشگاه تهران، شماره ۱۶۷۲.

۳) شکل آبادی، م.(۱۳۷۹)، بررسی فرسایش پذیری نسبی خاک برخی از سازندهای زمین شناسی و رابطه آن تعدادی از خصوصیات فیزیکی با و شیمیایی خاک‌ها در حوضه آبخیز گل آباد؛ پایان نامه کارشناسی ارشد خاکشناسی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه صنعتی اصفهان.

۴) کاظمی، محمد(۱۳۸۹)، ارزیابی تأثیر تغییرات کاربری اراضی بر پتانسیل سیل خیزی، پایان نامه کارشناسی ارشد دانشکده منابع طبیعی، گروه آبخیزداری دانشگاه هرمزگان.

۵) یوسفی، ص.،تازه، م.، میرزایی، س.، مرادی، ح.ر. و توانگر،ش.(۱۳۹۰)، مقایسه الگوریتم‌های مختلف طبقه‌بندی تصاویر ماهواره‌ای در تهیه نقشه کاربری اراضی(مطالعه موردی:شهرستان نور)، مجله کاربرد سنجش از دور و جی آی اس در علوم منابع طبیعی، سال دوم،شماره دوم، صفحات۲۵-۱۵.

6) Ahlcrona, E. (1988), The impact of climate on land transformation in central Sudan Unpublished Ph.D. thesis. Lund University, Lund, Sweden.
7) Bayramin, I., O., Dengiz, O. Baskan and M. Parlak (2003), Soil erosion assessment with ICONA model: Case study, Beypazari area, Turk. J. Agric. For., 27: 105-116.
8) Bryan, R.B. (2000), Soil erodibility and processes of water erosion on hill slope Geomorph., 32: 385-415.
9) Bojie, Fu, W. Xilin and H. Gulinck (1995), Soil erosion types in the loess hill and gully area of China. Journal of Environmental Science, 7: 266-272.
10) Berney, O., F. Gallart, J.C. Griesbach, L.R. Serrano, J.D.R. Sinago and A. Giordano (1997), Guidelines for mapping and measurement of rainfall-Induced erosion processes in the 14editerranean coastal areas. Priority actions programme, regional activity centre, plit, Croatia.
11) Clark, E.H. (1985), The off-site costs of soil erosion. Journal of Soil And Water Conservation 40, 19 22.
12) Crosson, P. (1997), Will erosion threaten agricultural productivity. Environment 39 (8), 4 31.
13) Jong, S.M., M.L. Paracchini, F. Bertolo, S. Folving, J. Megier, & A.P.J. de Roo (1999), Regional assessment of soil erosion using the distributed model SEMMED and remotely sensed data. Catena. Special issue: Soil erosion modeling at the catchment scale, 37: 291-308.
14) Hajigholizadeh M. (2005), Capability using high resolution satellite images in distinguishes some erosion features in Tehran province, Iran. Proc. 3th Erosion and Sediment National Conference, September (2005), Soil Conservation and Watershed Management Research Institute, Tehran, Iran (in Iranian).
15) Hussein, HH. , HT. , Kariem and A.K. , Othman (2007), soil erodibility in northern Iraq using natural runoff plot data, journal soil and Tillage Research.94-220-228
16) Laflan, J.M. and E.J. Rose (1998), Methodologies for assessment of soil degradation due to water erosion, IniL al, R., W.E.H., Blum, C.V Valentine and B.A.,Stewart (eds.), Methods for assssment of soil degradation, CRC Press Boca Raton pp: 31-56.
17) McHugh, M., Walling, D., Wood, G., Zhang, Y., and Williamson, A. (2002), "Prediction of sediment delivery to water courses from land." National Soil Resources Institute., Cranfield University.
18) Millward, A.A. and J.E. Mersey (1999), Adapting the RUSLE to model soil erosion potential in a mountainous tropical watershed. Catena, 38: 109-129.
19) Mitasova, H.; Hofierka, J.; Zlocha, M.; Iverson, R.L. (1996), "Modeling topographic potential for erosion and deposition using GIS." International Journal of Geographical Information Science, 10, 5,629-641.
20) Morane, P., G. Wang and G. Gertner (1996), Spatial uncertainly analysis for mapping soil erodibility based on joint sequential simulation, Catena, 53: 65-78.
21) Ozel, M.E., O. DoÛan, N. K. kakar and H. YÝldÝrÝm. (1999), Dalaman HavzasÝ Erozyon Haritalama Pilot Projesi, TEMA. Üstanbul.
22) Raoofi M., Refahi H. GH., Jalali, N., and Sarmadian F. (2004), A study of the efficiency of digital processing methods of satellite images to map and locate soil erosion. Iranian Journal of Agriculture Sciences., Vol. 35, No. 4, pp. 797- 807 (in Iranian).
23) Rezaei, s. and Gilkes,R. (2004) , The effects of landscape attribute and plant community on soil physical properties in rangelands, Geoderma125.145-154.
24) Rode, M. and H.G. Frede (1997), Modification of AGNPS for agriculturalland and climate conditions in central Germany. Journal of Environmental Quality, 26: 165-172.
25) Rhoton, F.E., Tyler, D.D. (1990), Erosion induced changes in soil properties of a fragipan soil. Soil Sci., Soc. Am. J. 54, 223-228.
26) Steegen, A., Govers, G., Takken, I., Nachtergaele, J., Poesen, J., Merckx, R. (2001), Factors controlling sediment and phosphorus export from two Belgian agricultural catchments, Journal of Environmental Quality., 30 (4), 1249-1258.
27) Szabo, J., L. Pasztor, Z. Suba, and G. Varallyay (1998), Integration of remote sensing and GIS techniques in land degradation mapping. Proceedings of the 16th International Congress of Soil Science, Montpellier, France, 20-26 August, pp: 63-75.
28) Van der Knijff, M., Jones, R.J.A. and Montanarella, L. (1999), Soil erosion risk in Italy. EUR19022 EN. Office for Official Publications of the European Communities, Luxembourg, 54p.


[ Downloaded from georesearch.ir on 2026-08-26 ]