

F. Faridani Bardaskan
A.R. Zareiee
A.R. Farid Hosseini, Ph.D
Amin Alizadeh, Ph.D

فصلنامه تحقیقات جغرافیایی، سال ۳۰، شماره ۲، تابستان ۱۳۹۴، شماره پیاپی ۱۱۷
فرید فریدانی بردسکن، کارشناسی ارشد آبیاری و زهکشی، گروه مهندسی آب، دانشگاه فردوسی مشهد
علیرضا زارعی، کارشناس ارشد، آبیاری و زهکشی، شرکت مهندسین مشاور طوس آب
علیرضا فرید حسینی، استادیار آبیاری و زهکشی، گروه مهندسی آب، دانشگاه فردوسی مشهد
امین علیزاده، استاد آبیاری و زهکشی، گروه مهندسی آب، دانشگاه فردوسی مشهد

E-mail: farid_faridani@yahoo.com

شماره مقاله: ۱۰۲۷ صص: ۲۴۲-۲۲۷
ووصول: ۹۳/۳/۲۷ پذیرش: ۹۳/۱۲/۵

مقایسه مدل های EPM و CSY در محاسبه فرسایش و رسوبدهی مناطق خشک و نیمه خشک: حوضه آبریز شیرین دره، شهرستان بجنورد، استان خراسان شمالی، ایران

چکیده

در میان فرایندهای تخریب زمین، فرسایش خاک مهم ترین تهدید برای منابع آب و خاک در مناطق خشک و نیمه خشک به حساب می آید. این تحقیق در حوضه آبریز شیرین دره، منطقه ای نیمه خشک در شمال شرقی ایران، برای ارزیابی روش پتانسیل فرسایش (EPM) و روش هیدروفیزیکی (CSY) در تولید نقشه های پتانسیل فرسایش و بار رسوب با استفاده از سیستم اطلاعات جغرافیایی (GIS) انجام شد. داده هایی که در این تحقیق استفاده شد، از نقشه های توپوگرافی، عکس های لندست ETM+، عکس های هوایی و داده های هواشناسی به دست آمده است. سنجش فرسایش در روش پتانسیل فرسایش و هیدروفیزیکی از طریق فاکتورهای طبقه بندی شده انجام شد. در انتها مشخص شد بیشتر مناطق دارای پتانسیل فرسایش زیاد و بسیار زیاد دارای سازنده های زمین شناسی، مثل: سرچشمه (Ksr)، سنگانه (Ksn) و رسوبات کواترنری (Q) هستند. همچنین، نتایج نشان داد که بیشتر بار رسوب حوضه آبریز شیرین دره مربوط به بخش شرقی است. پیشنهاد می شود که عملیات آبخیزداری و حفاظت خاک در مناطق شرقی حوضه آبریز شیرین دره اجرا گردد.

واژه های کلیدی: حوضه آبریز شیرین دره، روش CSY، روش EPM، سیستم اطلاعات جغرافیایی، فرسایش و رسوب

مقدمه

فرسایش یکی از مهم ترین اشکال تخریب زمین (برش خاک)، از دست رفتن حاصل خیزی و ناپایداری شیبها) است. تأثیر فعالیت های انسانی، مانند کشاورزی و تغییر کاربری اراضی، بر فرسایش مکانیکی بخوبی شناخته شده است، همچنین، بعضی از پارامترهای متغیر (آب و هوا، هیدرولوژی و پوشش گیاهی) و نامتغیر (ابعاد و لیتولوژی حوضه آبریز) هم تأثیرات مهمی بر میزان فرسایش و تولید رسوب دارند. رسوب تولید شده توسط فرسایش در ادامه به واحدهای پویایی مثل شیب زمین و میزان رواناب بستگی خواهد داشت (باقرزاده^۱، ۲۰۱۱: ۲۰۷). رسوبدهی عامل مهمی در طراحی

ظرفیت و عمر مفید سدها و مخازن است که محاسبه آن در مقیاس حوضه آبریز به علت داده‌های زیاد مورد نیاز، دانش کم در مورد فرایندهای دخیل و اندرکنش‌های بین آن‌ها پیچیده است (گارگ^۱، ۲۰۱۱؛ ۸۰۰).

تاکنون مدل‌های تجربی فراوانی برای پیش‌بینی شدت فرسایش و رسوبدهی در یک حوضه آبریز که در آن داده‌های هیدرومتری وجود ندارد، به کار گرفته شده است. رایج‌ترین آنها عبارتند از: معادله جهانی فرسایش خاک (USLE)، معادله جهانی بازبینی شده فرسایش خاک (RUSLE)، مدل کمیته درون سازمانی پاسیفیک جنوب غربی (PSIAC)، معادله جهانی اصلاح شده فرسایش خاک (MUSLE)، پروژه پیش‌بینی فرسایش آبی (WEPP)، مدل رسوبدهی نسبی یا روش هیدروفیزیکی (CSY) (احمدی، ۱۳۸۶) و مدل پتانسیل فرسایش (EPM) (رفاهی، ۱۹۹۵؛ گاوریلوویچ^۲، ۱۹۸۸؛ و تنگستانی^۳، ۲۰۰۱). مدل ای-پی-ام برای نخستین بار در کشور یوگسلاوی سابق توسط گاوریلوویچ به وجود آمد. این مدل برای چند حوضه آبریز در ایران (رفاهی، ۱۹۹۵؛ صادقی، ۱۹۹۳؛ تنگستانی، ۲۰۰۶ و باقرزاده، ۲۰۱۱) اجرا شده و داده‌های خروجی با مشاهدات میدانی تطابق داشته است. مدل CSY^۴ (روش رسوبدهی نسبی) روش جدیدی برای تشخیص مقدار نسبی رسوبدهی واحدهای هیدرولوژیک مختلف است. اساس این روش عبارت است از: مقایسه وضعیت هیدروفیزیکی حاکم در واحدهای هیدرولوژیک مختلف یک حوضه آبریز و ارتباط آن با پتانسیل رسوبدهی در مناطق دیگر حوضه (احمدی، ۱۳۸۶).

اخیراً کاربردهای گوناگون سیستم اطلاعات جغرافیایی (GIS^۵) و سنجش از راه دور (RS^۶) برای ارزیابی فرایندهای فرسایش شناخته شده است (هیل^۷، ۱۹۹۳؛ مارتینز-کاساس نواس^۸، ۲۰۰۳؛ یولیانگ و یون^۹، ۲۰۰۲؛ تنگستانی، ۲۰۰۶؛ و باقرزاده، ۲۰۱۱). توسط ابزارهای تحلیلی سیستم اطلاعات جغرافیایی براحتی می‌توان برهم نهی لایه‌های اطلاعاتی و تولید نقشه‌های شدت فرسایش و رسوبدهی را انجام داد. حوضه آبریز شیرین دره به عنوان مثالی برای کاربرد تکنیک‌های سیستم اطلاعات جغرافیایی، مدیریت داده‌های مکانی و مدل‌سازی شدت فرسایش و رسوبدهی تعیین شد.

مدل پتانسیل فرسایش (EPM)

روش پتانسیل فرسایش (EMP^{۱۰}) روشی برای کمی کردن شدت فرسایش و تخمین میزان کل رسوبدهی سالانه در یک حوضه آبریز است که برای نخستین بار توسط گاوریلوویچ (۱۹۸۸) از بررسی داده‌های به دست آمده در کشور یوگسلاوی به وجود آمد. این روش شش فاکتور زمین‌شناسی سطحی و خاک، ویژگی‌های توپوگرافی، فاکتورهای هواشناسی (شامل میانگین بارش سالانه و میانگین دمای سالانه) و کاربری اراضی را در محاسبات خود مد نظر قرار

-
- 1- Garg
 - 2- Gavrilovic
 - 3- Tangestani
 - 4- Comparative Sediment Yield
 - 5- Geographic Information System
 - 6- Remote Sensing
 - 7- Hill
 - 8- Martínez-Casasnovas
 - 9- Yuliang & Yun
 - 10- Erosion Potential Method

می‌دهد. سه فاکتوری که فرایند فرسایش را کنترل می‌کنند، به صورت طبیعی وجود دارند (خاک و سنگ‌های بیرون زده شده، توپوگرافی و اقلیم)، در حالی که کاربری اراضی کاملاً به فعالیت‌های انسانی بستگی دارد.

محاسبه ضریب فرسایش و رسوبدهی (Z)

$$Z = Y \cdot Xa(\psi + I^{\frac{1}{2}}) \quad (1)$$

که در آن Z شدت فرسایش یا پتانسیل فرسایش، Y ضریب مقاومت سنگ و خاک به فرسایش (جدول ۱)، فاکتور I شیب متوسط زیر حوضه‌ها (جدول ۲)، Xa ضریب کاربری اراضی و ψ ضریب فرسایش مشاهده شده (جدول ۳) است (گاوریلوویچ، ۱۹۸۸: ۴۱۴). با توجه به روش ارائه شده توسط گاوریلوویچ (۱۹۸۸) شدت فرسایش براساس مقدار Z به پنج دسته بسیار کم، کم، متوسط، شدید و بسیار شدید طبقه‌بندی می‌شود (جدول ۴). مناطق با $Z > 1/0$ دارای فرسایش بسیار شدید و مناطق با $Z < 0/19$ دارای فرسایش بسیار اندک هستند.

جدول ۱) ضرایب ارزیابی شده از مقاومت سنگ به فرسایش (فاکتور y) در مدل پتانسیل فرسایش (گاوریلوویچ، ۱۹۸۸، ۴۱۵) و ضرایب فرسایش‌پذیری (فاکتور e) در مدل CSY در منطقه مورد مطالعه (احمدی، ۱۳۸۶).

فاکتور e	فاکتور y	شرایط سنگ و سنگ شناسی	علامت اختصاری	سازند زمین شناسی
۱۰	۲	آبرفت و لس	Q	رسوبات کواترنری
۹	۱/۸	شیل	Ksn	سازند سنگانه
۷	۱/۴	مارن و شیل با لایه‌های آهک	Ksr	سازند سرچشمه
۶/۶	۱/۳۲	ماسه سنگ و شیل	Kat	سازند اتامیر
۶	۱/۲	ماسه سنگ و شیل و کنگلومرا	Ksh	سازند شورچه
۵/۵	۱/۱	سنگ آهک و مارن	Ktr	سازند تیرگان

محاسبه فرسایش ویژه

براساس دستورالعمل گاوریلوویچ (گاوریلوویچ، ۱۹۸۸: ۴۱۶) فرسایش ویژه برای یک حوضه آبریز به صورت زیر محاسبه می‌شود:

$$Wsp = T \cdot H \cdot Z^{3/2} \cdot \pi \quad (2)$$

که Wsp میانگین سالانه تولید رسوب ویژه یا فرسایش ویژه (سال/کیلومتر مربع / متر مکعب) و T ضریب درجه حرارت (سانتیگراد) است که به صورت زیر به دست می‌آید:

$$T = \left(\frac{t}{10} + 0.1 \right)^{0.5} \quad (3)$$

که t متوسط درجه حرارت سالانه حوضه (سانتیگراد)، H متوسط بارندگی سالانه حوضه (میلیمتر) و Z ضریب فرسایش محاسبه شده در معادله (۱) است.

محاسبه ضریب رسوبدهی

انتقال مواد فرسایش یافته به وسعت حوضه، شیب حوضه، تراکم آبراهه‌ها و غیره بستگی دارد. نسبت فرسایش خاک در دامنه‌ها و آبکندها به مقدار رسوب تولید شده از یک حوضه آبریز را ضریب رسوبدهی می‌نامند (احمدی، ۱۳۸۶). محاسبه این نسبت در روش پتانسیل فرسایش از رابطه (۴) و (۵) برآورد می‌گردد:

$$RU = \frac{4.(P.D)^{0.5}}{L+10} \quad (4)$$

$$D = D_{av} - D_0 \quad (5)$$

که در آن RU ضریب رسوبدهی، P محیط حوضه آبریز، D اختلاف ارتفاع زیر حوضه (کیلومتر)، D_{av} ارتفاع متوسط زیر حوضه (کیلومتر)، D_0 حداقل ارتفاع زیر حوضه (کیلومتر)، L طول بلندترین آبراهه زیر حوضه (کیلومتر) است (گاوریلوویچ، ۱۹۸۸: ۴۱۷).

جدول ۲) کلاس‌های شیب و فاکتور I استفاده شده در مدل پتانسیل فرسایش (گاوریلوویچ، ۱۹۸۸: ۴۱۷)

فاکتور I	شیب (%)	کلاس شیب
۰/۱۰	۲-۰	۱
۰/۲۰	۵-۲	۲
۰/۲۶	۸-۵	۳
۰/۳۵	۱۵-۸	۴
۰/۴۸	۳۰-۱۵	۵
۰/۶۲	۶۰-۳۰	۶
۰/۶۷	>۶۰	۷

محاسبه رسوب ویژه و میزان کل رسوب

برای محاسبه رسوب ویژه و رسوب زیر حوضه‌ها و کل حوضه از روابط (۶) و (۷) استفاده می‌شود.

$$GSP=WSP.RU \quad (6)$$

$$GS=GSP.S \quad (7)$$

که در آن GSP رسوب ویژه (سال/کیلومتر مربع/متر مکعب)، RU ضریب رسوبدهی، GS مقدار کل رسوب (سال/متر مکعب)، S مساحت زیر حوضه (کیلومتر مربع) است (گاوریلوویچ، ۱۹۸۸: ۴۱۸).

جدول ۳) ضریب کاربری اراضی (Xa) و فرایند فرسایش مشاهده شده (ψ) در مدل پتانسیل فرسایش (گاوریلوویچ، ۱۹۸۸):
(۴۱۸) و درصد تراکم پوشش گیاهی (۷) در مدل هیدروفیزیکی (احمدی، ۱۳۸۶)

فاکتور ψ	فاکتور Xa	فاکتور ۷	کاربری اراضی
۰/۳	۰/۹۰	۲۵	اراضی کشاورزی دیم با شیب بیش از ۵ درصد
۰/۲	۰/۸۰	۵۵	باغات و تاکستان‌های بر روی تراس‌ها و شیب بیش از ۵ درصد
۰/۱۸	۰/۵۰	۳۰	مراتع فقیر با پوشش کمتر از ۳۰ درصد
۰/۳	۰/۴۵	۲۵	اراضی کشاورزی دیم با شیب کمتر از ۵ درصد
۰/۳	۰/۴۰	۵۵	اراضی کشاورزی آبی با شیب کمتر از ۵ درصد
۰/۱۶	۰/۳۰	۴۰	مراتع متوسط با پوشش ۳۰ و ۵۰ درصد
۰/۱۴	۰/۲۸	۵۰	مراتع خوب با پوشش ۵۰ تا ۷۰ درصد
۰/۱۲	۰/۲۸	۶۰	جنگل‌های تنک
۰/۴	۰/۲۱	۱۰	برونزدهای سنگی با پوشش کمتر از ۳۰ درصد
۰/۱۲	۰/۲۰	۶۰	جنگل‌های نیمه انبوه بر روی شیب ۱۵ تا ۳۰ درصد

مدل هیدروفیزیکی (CSY)

این مدل روش جدیدی برای تشخیص مقدار نسبی رسوبدهی واحدهای هیدرولوژیکی است. اساس این روش مقایسه وضعیت هیدروفیزیکی حاکم در واحدهای هیدرولوژیکی یک حوضه آبریز و ارتباط آن با پتانسیل رسوبدهی در مناطق دیگر حوضه است. در این روش می‌توان سهم رسوبدهی هر کدام از زیر حوضه‌ها را از کل رسوب تولید شده محاسبه نمود. در واقع، با این روش امکان شناسایی نقاط فرسایش‌پذیر حوضه، با سهولت بیشتری صورت می‌گیرد و در نتیجه انجام برنامه‌ریزی برای نقاط خطرآفرین با دقت بیشتری قابل انجام است (احمدی، ۱۳۸۶). در این مدل ابتدا ضرایب پتانسیل رسوبدهی برای کل حوضه محاسبه می‌شود. سپس با استفاده از نتایج آن درصد پتانسیل رسوبدهی هر واحد هیدرولوژیکی نسبت به پتانسیل رسوبدهی کل حوضه با استفاده از رابطه (۸) تعیین می‌شود.

جدول ۴) طبقه‌بندی شدت فرسایش در روش پتانسیل فرسایش بر اساس دستورالعمل گاوریلوویچ (۱۹۸۸، ۴۱۸)

طبقه‌بندی فرسایش	ارزش حد Z	ارزش متوسط Z	شدت فرسایش
۱	$Z > 1$	۱/۲۵	خیلی شدید
۲	$0.71 > Z > 1$	۰/۸۵	شدید
۳	$0.41 > Z > 0.71$	۰/۵۵	متوسط
۴	$0.2 > Z > 0.41$	۰/۲	کم
۵	$Z > 0.19$	۰/۱	خیلی کم

تعیین پتانسیل رسوبدهی

برای تعیین پتانسیل رسوبدهی حوضه به صورت زیر عمل می‌شود (احمدی، ۱۳۸۶):

$$CSY = A.R.E.V.P \quad (۸)$$

که در آن CSY ضریب پتانسیل رسوبدهی، A عامل مساحت، R عامل توپوگرافی (شیب)، E عامل قابلیت فرسایش، V عامل پوشش گیاهی، P عامل بارندگی هستند.

تعیین عامل مساحت (A)

عامل مساحت در معادله (۸) از رابطه زیر به دست می‌آید (احمدی، ۱۳۸۶):

$$A = A^s \quad (۹)$$

که در آن A مساحت حوضه آبریز (کیلومتر مربع) و S ضریبی ثابت بین ۰/۶ تا ۱ است (جدول ۵).

تعیین عامل توپوگرافی (R)

عامل توپوگرافی در معادله (۸) از رابطه زیر به دست می‌آید (احمدی، ۱۳۸۶):

$$R = H/L \quad (۱۰)$$

که در آن H اختلاف ارتفاع بین بلندترین و پست‌ترین نقطه حوضه (متر) و L طولی‌ترین محور حوضه به متر است.

جدول ۵) ضریب تناسب تجربی حوضه‌های آبریز فرعی (S) (احمدی، ۱۳۸۶).

ضریب تناسب (s)	نسبت وسعت حوضه فرعی به حوضه اصلی
۱	۱ به ۵
۰/۹	۱ به ۲۰
۰/۸	۱ به ۵۰
۰/۷	۱ به ۷۰
۰/۶	۱ به بیش از ۱۰۰

تعیین عامل قابلیت فرسایش (E)

$$E = \frac{1}{A} \sum_{i=1}^n e_n \cdot a_n \quad (۱۱)$$

که در آن A مساحت حوضه آبریز (کیلومتر مربع)، e ارزش کمی فرسایش‌پذیری گروه‌های مختلف سنگ‌شناسی و a مساحت هر یک از گروه‌های سنگ‌شناسی با قابلیت فرسایش مختلف در حوضه آبریز (کیلومتر مربع) است. معمولاً برای هر یک از گروه‌های سنگ‌شناسی مقدار فرسایش به صورت کیفی بیان می‌شود که می‌توان بر حسب شدت حساسیت آن‌ها به فرسایش عددی در نظر گرفت. برای نمونه، سنگ‌ها را از نظر مقاومت به فرسایش می‌توان به ۱۰ کلاس تقسیم نمود. عدد ۱ نشان‌دهنده کمترین فرسایش‌پذیری و عدد ۱۰ نشان‌دهنده تشکیلات خیلی حساس به فرسایش است (جدول ۱) (احمدی، ۱۳۸۶).

تعیین عامل پوشش گیاهی (v):

$$V = A \frac{1}{\sum_1^n v_n a_n} \quad (12)$$

که در آن A مساحت حوضه آبریز (کیلومتر مربع)، V درصد تراکم پوشش سطح زمین و a مساحت هریک از پوشش‌های سطح زمین (کیلومتر مربع) است (جدول ۳) (احمدی، ۱۳۸۶).

تعیین عامل بارندگی (P):

این عامل عبارت است از میانگین مقدار بارندگی سالانه بر حسب میلیمتر در حوضه آبریز (احمدی، ۱۳۸۶). پس از تعیین عوامل مؤثر در میزان رسوبدهی می‌توان با استفاده از رابطه (۸) ضریب پتانسیل رسوبدهی هر واحد هیدرولوژیک را نسبت به پتانسیل رسوبدهی کل حوضه آبریز محاسبه نمود. رابطه (۱۳) نشان‌دهنده چگونگی محاسبه درصد پتانسیل رسوبدهی هر زیر حوضه است.

$$SY = (CSY_{sub} / CSY_{bas}) * 100 \quad (13)$$

که در آن SY درصد پتانسیل رسوبدهی هر زیرحوضه، CSY_{sub} ضریب پتانسیل رسوبدهی هر زیرحوضه و CSY_{bas} ضریب پتانسیل رسوبدهی کل حوضه است. به‌طور کلی، می‌توان با استفاده از مدل هیدروفیزیکی درصد پتانسیل رسوبدهی هریک از زیر حوضه‌ها را محاسبه نمود. در صورتی که میزان رسوب یکی از زیرحوضه‌ها از طریق اندازه‌گیری مستقیم موجود باشد، می‌توان رسوبدهی کل حوضه و سایر زیرحوضه‌ها را با استفاده از درصد رسوبدهی همان زیرحوضه به‌دست آورد (احمدی، ۱۳۸۶).

داده‌ها و روش پژوهش

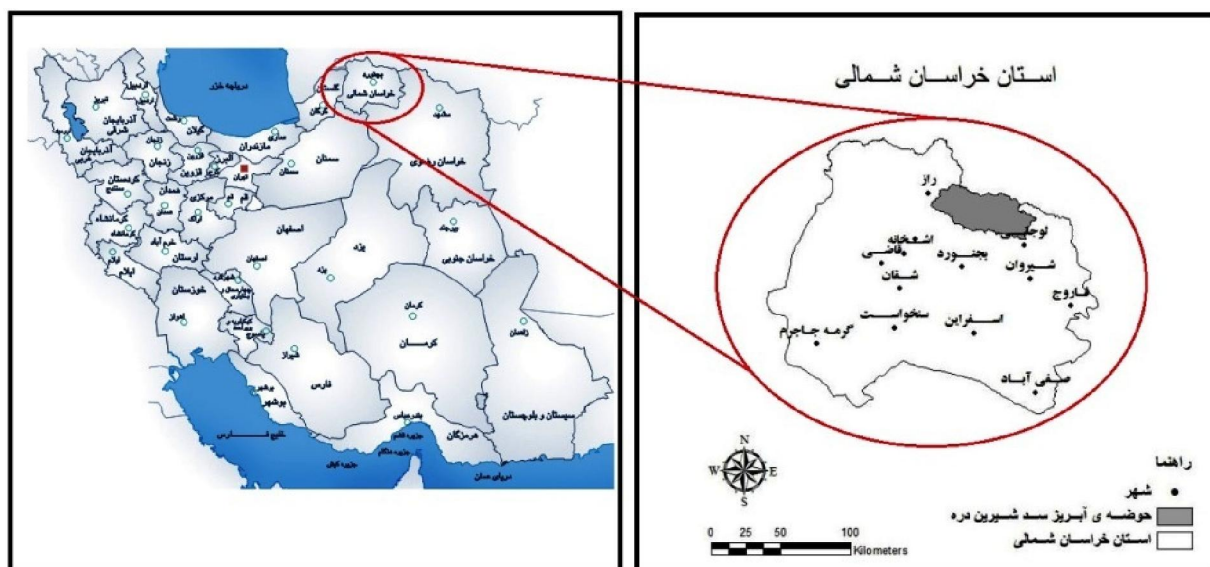
منطقه مورد مطالعه

حوضه آبریز شیرین‌دره (38°00'N-37°40'N, 57°10'E-57°59') در شمال شهرستان بجنورد، استان خراسان شمالی، با وسعت حدود ۱۴۶۰ کیلومتر مربع بخشی از حوضه آبریز بزرگ رودخانه اترک است (شکل ۱). بیشترین ارتفاع منطقه، ۲۶۴۰ متر در شمال و شیب متوسط کل حوضه حدود ۴۲٪ است. آب و هوای منطقه خشک و نیمه‌خشک با متوسط بارندگی ۳۱۵ میلیمتر است. از نظر سنگ‌شناسی؛ منطقه شامل سنگ آهک، شیل، مارن، ماسه‌سنگ و کنگلومرا و نوع خاک عموماً متشکل از رس و سیلت است. پوشش ۸۵-۸۰٪ منطقه مرتعی ضعیف، ۱۵٪ جنگلی و بیشه‌ای و ۱۰-۵٪ گیاهان زراعی است. بر اساس شبکه آبراهه موجود، حوضه آبریز شیرین‌دره به هشت زیر حوضه تقسیم شد (شکل ۳-الف).

تولید داده‌های مکانی

در این پژوهش برای محاسبه فرسایش و رسوبدهی توسط مدل‌های پتانسیل فرسایش و هیدروفیزیکی، از داده‌های مکانی اولیه توسط سیستم اطلاعات جغرافیایی (GIS) کمک گرفته شد. نحوه به‌دست آوردن فاکتورهای مورد نیاز مدل‌های پتانسیل فرسایش و هیدروفیزیکی در مطالعات پیشین (ماجدی و جزایری، ۱۳۶۰ و ۱۳۶۸؛ گاوریلوویچ، ۱۹۸۸) آورده

شده است. با وجود این، پیشرفت‌های اخیر در فناوری‌های سیستم اطلاعات جغرافیایی و سنجش از راه دور، زمینه را برای محاسبه برخی از فاکتورها مهیا می‌کند. بخش زیر به توضیح برخی فناوری‌های به کار رفته برای تولید لایه‌های اطلاعاتی و ارزیابی شاخص‌های فرسایش بر اساس لایه‌های اطلاعاتی اولیه برای هر مدل می‌پردازد.



شکل ۱) موقعیت جغرافیایی حوضه آبریز سد شیرین دره در استان خراسان شمالی

لایه زمین‌شناسی و نوع خاک

نقشه زمین‌شناسی منطقه براساس نقشه زمین‌شناسی ۱:۲۵۰۰۰۰ شیت بجنورد؛ تهیه شده توسط سازمان زمین‌شناسی تولید گردید (شکل ۲- الف). ضرایب مقاومت به فرسایش (Y) در روش پتانسیل فرسایش و فرسایش‌پذیری سنگ و خاک (e) در روش هیدروفیزیکی براساس جداول موجود در منابع، روش فیض‌نیا برای کشور ایران و نقشه زمین‌شناسی تهیه شده برای منطقه مورد مطالعه تعیین شدند (فیض‌نیا، ۱۹۹۵: ۱۱۴؛ گاوریلوویچ، ۱۹۸۸: ۴۱۵) (جدول ۱).

شیب

شیب زمین با استفاده از نقشه‌های توپوگرافی ۱:۲۵۰،۰۰۰ مرکز ملی کاداستر ایران به دست آمد (شکل ۲- ب). سپس نقشه دیجیتالی ارتفاع (DEM^۱) منطقه برای محاسبه تندی شیب تهیه شد. شیب‌ها در هفت کلاس دسته‌بندی شد. میانگین شیب هر کلاس برای تعیین فاکتور I (گاوریلوویچ، ۱۹۸۸، ۴۱۷) به کار رفت (جدول ۲).

کاربری اراضی و پوشش گیاهی

افزایش بهره برداری کشاورزی از مراتع به همراه تغییر کاربری اراضی باعث کاهش کیفیت خاک و از دست رفتن آب به علت فرسایش شده است (اسزیلاسی^۲ و همکاران، ۲۰۰۶: ۹۰۷). بنابراین، تعیین دقیق تغییرات کاربری اراضی برای

1 - Digital Elevation Map
2- Szilassi

پیش‌بینی تخریب خاک و اثرهای جانبی بعدی آن حائز اهمیت است. برای تعیین مقادیر فاکتور کاربری زمین (Xa) و پوشش گیاهی (V) که بترتیب توسط مدل‌های پتانسیل فرسایش و هیدروفیزیکی استفاده می‌شوند، یک نقشه کاربری اراضی / پوشش زمین با استفاده از داده‌های لندست^۱ ETM+ تهیه شد (منابع طبیعی خراسان، ۲۰۰۳) (شکل ۲-ج). ضرایب کاربری اراضی با استفاده از جدول راهنمای روش پتانسیل فرسایش (گاوریلوویچ، ۱۹۸۸، ۴۱۸) تخصیص داده شد (جدول ۳). برای تعیین درصد تراکم پوشش گیاهی سطح زمین (V) در روش هیدروفیزیکی، با استفاده از تفاسیر دیداری، عکس‌های ماهواره‌ای و همچنین، ارزیابی کاربری زمین مقادیر اجمالی برای فاکتور V در نظر گرفته شد (جدول ۳).

فرایند فرسایش

ضریب فرایند فرسایش مشاهده شده یا ضریب فرسایش (فاکتور ۱/۷ در مدل پتانسیل فرسایش) نیازمند تخمین‌های دیداری در منطقه است. فرایند فرسایش اصولاً به جنس خاک و سنگ‌های در معرض فرسایش و همچنین، کاربری اراضی آن‌ها بستگی دارد (تنگستانی، ۲۰۰۶: ۵۹۸). جداول ضریب فرایند فرسایش مشاهده شده در مدل پتانسیل فرسایش برای تعیین فاکتور فرسایش (۱/۷) استفاده شد (گاوریلوویچ، ۱۹۸۸، ۴۱۸) (جدول ۳). ضریب فرسایش به ۱۰ دسته از ۰/۱ تا ۱/۰ تقسیم شده است. عددهای پیشنهاد شده توسط مدل از ۰/۱ برای سطح زمین فاقد فرسایش قابل رؤیت و اغلب دارای پوشش جنگلی و گیاهان دائمی و برف تا ۱/۰ برای منطقه دارای خندق‌های زیاد و فرسایش شدید است.

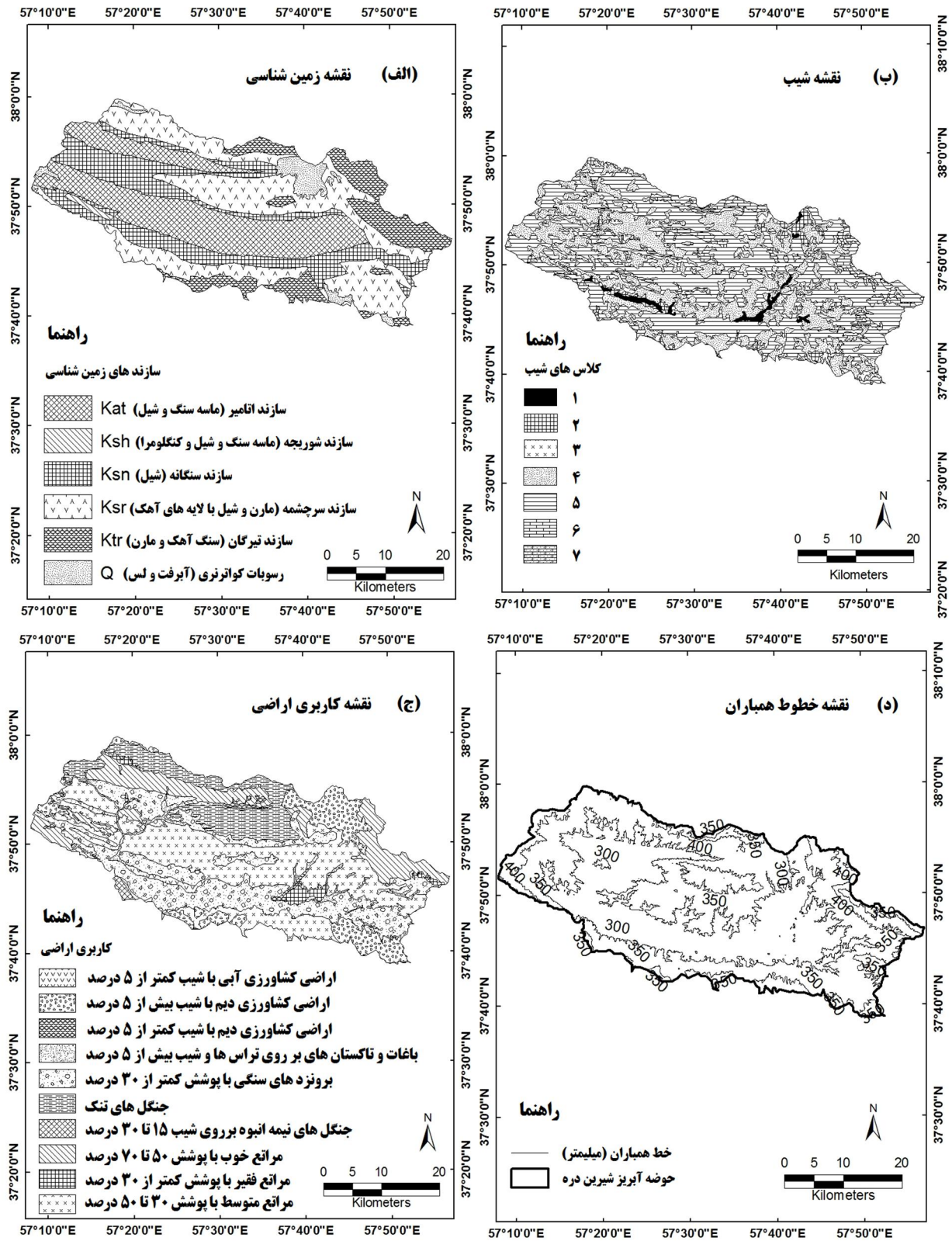
آب و هوا

مدل پتانسیل فرسایش از بارش و دمای سالانه برای تعیین شدت فرسایش و رسوبدهی استفاده می‌کند؛ در حالی که مدل هیدروفیزیکی فقط میانگین بارش سالانه را در نظر می‌گیرد. نقشه میانگین سالانه خطوط همباران (شکل ۲-د) براساس معادله گرادیان توپوگرافی - درجه حرارت و توپوگرافی - بارش که مستقیماً از آمار بارندگی ۴۰ ساله به‌دست آمده (معادله ۱۴ و ۱۵)، ارزیابی و تعیین شدند.

گرادیان دما

به‌طور کلی، با تغییر ارتفاع یک منطقه، دما و در نتیجه میزان بارش تغییر می‌کند (علیزاده و همکاران، ۱۳۸۴). همچنین تحقیقات اخیر نشان می‌دهد که فرسایش بارش با حجم بارندگی رابطه خطی مثبت (رنارد و فریموند، ۱۹۹۴: ۳۰۵) دارد. با استفاده از داده‌های متوسط دما و ارتفاع ایستگاه‌های انتخابی، رابطه همبستگی بین دمای سالانه و ارتفاع به‌صورت زیر محاسبه شد:

$$T = -0.005 * H + 19.288, R^2 = 0.94 \quad (14)$$



شکل ۲) لایه های اطلاعاتی به دست آمده از داده های اولیه برای استفاده در مدل های پتانسیل فرسایش و هیدروفیزیکی در حوضه

آبریز شیرین دره

گرادیان بارندگی

به منظور تعیین تغییرات بارندگی سالانه در منطقه مورد مطالعه؛ با استفاده از طول، عرض، ارتفاع جغرافیایی و آمار میانگین بارندگی ۴۰ ساله تعدادی از ایستگاه‌های انتخابی که طول دوره آن‌ها تطویل شده، رابطه همبستگی بین پارامترهای مذکور برقرار گردید. این رابطه به شرح زیر است:

$$R^2=0.92 P= 11009 + 0.18692 * H - 0.00216 * X - 0.00234 * Y \quad (15)$$

که در دو معادله فوق P متوسط بارندگی سالانه درازمدت بر حسب میلیمتر، H ارتفاع ایستگاه از سطح دریا (متر)، X طول جغرافیایی (UTM)، Y عرض جغرافیایی (UTM) است.

در انتها برای تمامی داده‌های مکانی لایه‌های اطلاعاتی خروجی به سلول‌های رستر^۱ ۹۰ در ۹۰ متری تبدیل و به فرمت نرم افزار IDRISI درآمدند (ایستمن، ۱۹۹۷).

جدول ۶) نتایج روش پتانسیل فرسایش برای هر یک از زیرحوضه‌های حوضه آبریز شیرین دره

نام زیر حوضه	شدت فرسایش (Z)	ضریب رسوبدهی (Ru)	فرسایش ویژه (WSP) (m ³ /km ² /year)	رسوب ویژه (GSP) (m ³ /km ² /year)	رسوب ویژه (GSP) با احتساب ۱۰٪ بار بستر (ton/km ² /year)	رسوب کل (GS) با احتساب ۱۰٪ بار بستر (ton/yaer)	مساحت زیر حوضه (km ²)
B 1	۰/۴۱۷	۰/۷۶۸	۲۹۱	۲۲۴	۲۹۱	۵۴۶۵۶	۱۸۸
B 2	۰/۴۴۵	۰/۷۸۲	۳۵۵	۲۷۸	۳۶۱	۳۶۰۸۴	۱۰۰
B 3	۰/۴۰۴	۰/۹۳۶	۲۹۰	۲۷۱	۳۵۳	۵۵۹۶۶	۱۵۸
B 4	۰/۳۸۷	۰/۷۶۸	۲۶۷	۲۰۵	۲۶۷	۶۶۴۴۵	۲۴۹
B 6	۰/۶۰۳	۰/۷۵۸	۴۹۴	۳۷۵	۴۸۷	۹۴۱۳۲	۱۹۳
B 7	۰/۳۷۴	۰/۸۸۵	۲۵۲	۲۲۴	۲۹۱	۲۴۱۵۲	۸۳
B 8	۰/۷۳۳	۰/۷۸۳	۷۱۶	۵۶۱	۷۳۰	۵۹۹۲۹	۸۲
B 1,7,8	۰/۴۸۲	۰/۷۷۲	۳۷۰	۲۸۵	۳۷۱	۱۳۰۹۶۹	۳۵۳
B 1,5,6,7,8	۰/۴۵۷	۰/۶۷۳	۳۴۰	۲۲۹	۲۹۸	۲۸۳۹۹۱	۹۳۵
کل حوضه	۰/۴۳	۰/۶۹۹	۳۱۴	۲۱۷	۲۸۵	۴۱۷۰۷۹	۱۴۶۰

یافته‌های پژوهش

مدل‌های پتانسیل فرسایش و هیدروفیزیکی برای منطقه مورد مطالعه در نرم‌افزار IDRISI (ایستمن، ۱۹۹۷) اجرا شد. با استفاده از روش گاوریلوویچ (گاوریلوویچ، ۱۹۸۸) مقادیر کمی شدت فرسایش (Z) در مدل پتانسیل فرسایش با حل معادله (۱) ارزیابی و به پنج کلاس (جدول ۴) برای تهیه نقشه پتانسیل فرسایش تقسیم شدند (شکل ۳-ب). مناطق با $Z > 1/0$ دارای فرسایش بسیار شدید و مناطق با $Z < 0/19$ دارای فرسایش بسیار اندک هستند. میانگین سالانه فرسایش

ویژه (Wsp) بر حسب متر مکعب بر کیلومتر مربع بر سال (جدول ۶) با استفاده از معادله ۲ و ۳ تخمین زده شد. مقادیر ضریب رسوبدهی (Ru)، رسوب ویژه (GSP) و رسوب کل (GS) هر یک از زیرحوضه‌های حوضه آبریز شیرین دره از فرمول‌های ۴ تا ۷ محاسبه شد (جدول ۶).

با استفاده از روش پتانسیل فرسایش و نرم‌افزارهای سیستم اطلاعات جغرافیایی درصد پوشش، مساحت، دامنه رسوبدهی سالانه و میانگین رسوبدهی سالانه هر دسته پتانسیل فرسایش به دست آمد (جدول ۷). دسته پتانسیل فرسایش غالب دسته کم است (۶۹٪ از کل مساحت منطقه). دسته‌های پتانسیل فرسایش شدید و بسیار شدید فقط ۱۳٪ مساحت منطقه را شامل می‌شوند. این مناطق باید به عنوان مناطقی که خطر بالقوه فرسایش دارند، شناخته شده و فعالیت‌های مدیریتی برای کاهش میزان فرسایش در این مناطق از حوضه آبریز به کار گرفته شود. دامنه تغییرات رسوبدهی در این تحقیق از ۱۲۰-۷۶ (متر مکعب بر کیلومتر مربع بر سال) در دسته پتانسیل فرسایش بسیار کم، تا ۲۹۵۰-۱۰۲۹ (متر مکعب بر کیلومتر مربع بر سال) در دسته پتانسیل بسیار شدید است.

جدول ۷) درصد مساحت، مساحت، دامنه رسوبدهی و میانگین رسوبدهی سالانه هر دسته

پتانسیل فرسایش در روش پتانسیل فرسایش

کلاس فرسایش	رسوبدهی (m^3/Km^2)	میانگین رسوبدهی	مساحت (ha)	درصد منطقه
بسیار زیاد	۱۰۲۹-۲۹۵۰	۱۵۹۷	۱۰۵۶۲	۷/۲۱
زیاد	۶۰۰-۱۳۱۵	۹۱۲	۸۵۰۷	۵/۸۰
متوسط	۲۴۳-۷۰۰	۳۳۱	۲۵۹۲۶	۱۷/۷۰
کم	۹۹-۳۲۷	۱۹۴	۱۰۱۳۳۵	۶۹/۱۹
بسیار کم	۷۶-۱۲۰	۸۸	۱۱۵	۰/۰۷۸

خوشبختانه آمار ایستگاه هیدرومتری آغمزار (شکل ۳-ب) در فاصله ۴۰ کیلومتری پایین دست حوضه شیرین دره موجود است (شرکت خدمات مهندسی مشاور طوس آب، ۱۳۶۸) (جدول ۸). مقایسه رسوب ویژه به دست آمده از روش پتانسیل فرسایش برای کل حوضه در جدول (۶) با داده‌های ایستگاه هیدرومتری آغمزار نشان دهنده تطابق این دو مقدار است.

جدول ۸) وضعیت بار رسوب حوضه آبریز شیرین دره در محل ایستگاه هیدرومتری آغمزار

(شرکت خدمات مهندسی مشاور طوس آب، ۱۳۶۸)

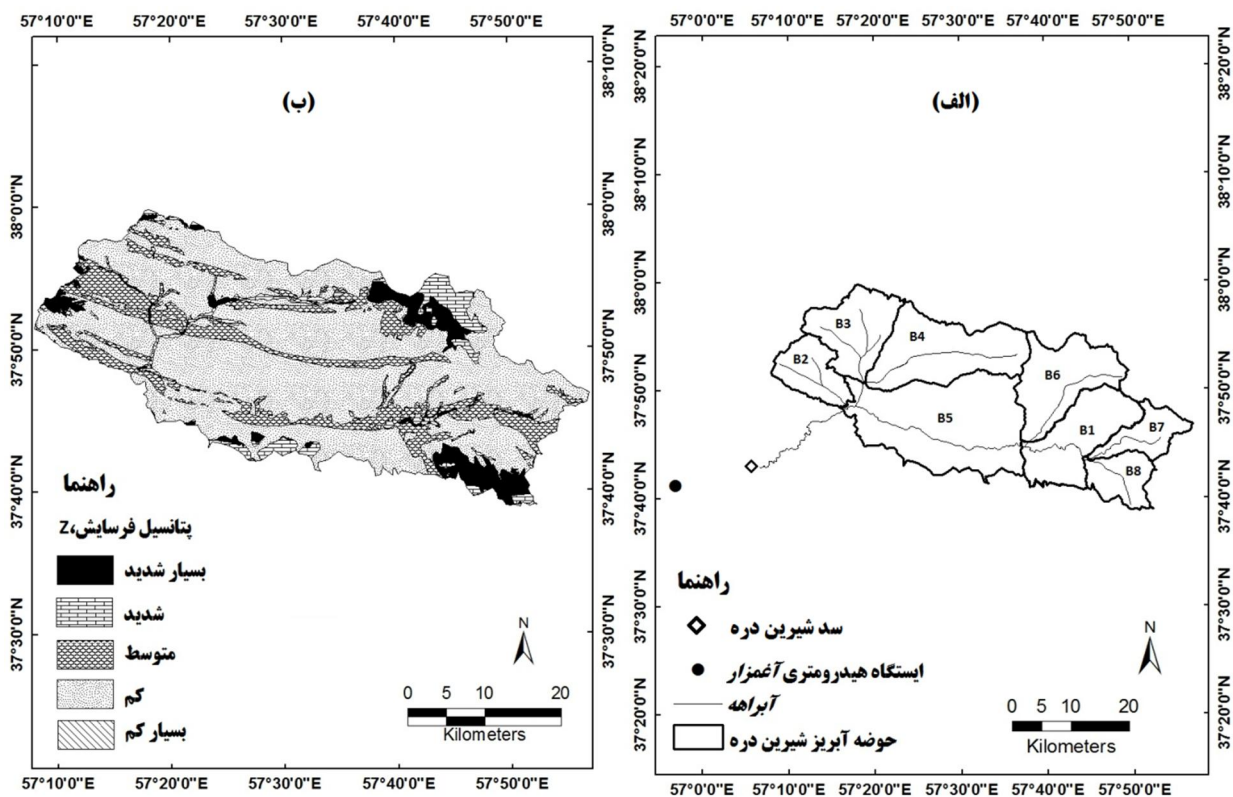
ایستگاه هیدرومتری	مساحت حوضه (کیلومتر مربع)	بار معلق (سال/تن)	بار بستر (سال/تن)	رسوبدهی ویژه (کیلومتر مربع/تن)	رسوب کل (سال/تن)
آغمزار	۱۱۳۱۴	۲۹۵۲۹۴	۳۲۸۱۰۶	۲۹۰	۳۲۸۱۰۶۰

ضرایب همبستگی بین دسته‌های پتانسیل فرسایش به دست آمده از مدل پتانسیل فرسایش و ضرایب فرسایش سنگ و خاک، شیب توپوگرافی و انواع کاربری اراضی محاسبه شد (جدول ۹). در مناطق با فرسایش بسیار کم کاربری اراضی عمدتاً جنگل‌های انبوه، مراتع با پوشش متوسط و برونزدگی‌های سنگی و در مناطق با فرسایش متوسط کاربری اراضی

عمدتها مراتع با پوشش متوسط است. ویژگی مشترک مناطق با فرسایش کم عمدتاً وجود سازند سرچشمه (Ksf)، سازند اتامیر (Kat) و ویژگی مشترک مناطق با فرسایش بسیار شدید عمدتاً وجود سازند سرچشمه (Ksf)، سازند سنگانه (Ksn) و رسوبات کواترنری (Q) است. همبستگی بسیار کمی بین مناطق با فرسایش بسیار کم و شیب وجود دارد.

جدول ۹) ضرایب همبستگی بین کلاس‌های مختلف فرسایش و فاکتورهای دخیل در محاسبه شدت فرسایش

کاربری زمین	فاکتور زمین شناسی	فاکتور شیب	فاکتور فرسایش مشاهده شده	بسیار کم
-۰/۹۹	۰/۵۷	۰/۵۷	۰/۴۷	بسیار کم
۰/۰۷	۰/۶۹	۰/۱۴	۰/۰۶	کم
۰/۷۱	-۰/۴۰	-۰/۰۳	-۰/۱۷	متوسط
۰/۵۱	-۰/۴۴	۰/۵۳	۰/۱۷	شدید
۰/۱۲	۰/۷۸	۰/۰۰	۰/۱۲	بسیار شدید



شکل ۳) الف) موقعیت زیرحوضه‌های حوضه آبریز شیرین دره، ایستگاه هیدرومتری آغمزار و سد شیرین دره؛ ب) نقشه پتانسیل فرسایش به دست آمده با مدل پتانسیل فرسایش از حوضه آبریز شیرین دره که در آن شدت فرسایش به پنج کلاس مختلف دسته بندی شده است.

میزان رسوبدهی ایستگاه هیدرومتری آغماز در پایین دست محل سد شیرین دره به عنوان نماینده کل حوضه موجود است (شرکت خدمات مهندسی مشاور طوس آب، ۱۳۶۸) (جدول ۸). با استفاده از معادلات ۱۰ تا ۱۵ در مدل هیدروفیزیکی (CSY) درصد پتانسیل رسوبدهی هر یک از زیرحوضه‌ها محاسبه شد. بار کل رسوب هر یک از زیرحوضه‌ها از حاصلضرب درصد پتانسیل رسوبدهی آن حوضه در میزان رسوب کل به دست آمده از ایستگاه هیدرومتری آغماز محاسبه گردید. براساس نتایج مدل هیدروفیزیکی، زیرحوضه‌های B4 و B1 بیشترین رسوبدهی ویژه و در سطح کل حوضه آبریز جناح شرقی (B1,6,7,8) بیشترین سهم را در تولید رسوب شیرین دره دارا هستند (جدول ۱۰).

همان‌طور که در شکل (۳) ملاحظه می‌شود، با اینکه پتانسیل فرسایش دو زیرحوضه B6 و B8 در روش پتانسیل فرسایش در اکثر نواحی شدید و بسیار شدید است؛ اما براساس نتایج روش هیدروفیزیکی این دو زیرحوضه درصد کمی از بار رسوب را نسبت به سایر زیر حوضه‌ها تشکیل می‌دهند. بنابراین، بالا بودن پتانسیل فرسایش یک منطقه دلیلی برای بالا بودن میزان رسوبدهی آن منطقه نیست و همان‌طور که قبلاً اشاره شد، زیرحوضه B4 و B1 بیشترین رسوبدهی را دارا هستند. بنابراین، برای افزایش عمر مفید سد شیرین دره در پایین دست حوضه آبریز شیرین دره (شکل ۳- الف) و حفظ منابع طبیعی منطقه پیشنهاد می‌شود در زیرحوضه‌های B4 و B1 عملیات آبخیزداری انجام شود.

جدول ۱۰) نتایج حاصل از روش هیدروفیزیکی (CSY)

نام زیرحوضه	عامل مساحت (A-s)	عامل توپوگرافی (R)	عامل فرسایش پذیری (E)	عامل پوشش گیاهی (V)	عامل بارندگی (P)	CSY	X(SY)%	بار کل رسوب (ton/year)	رسوب دهی ویژه (ton/yr/km ²)
B 1	۱۶۴/۱	۸/۶۳	۷/۰۶	۰/۰۰۶۸	۳۱۳	۱۹۰۳۴	۲۰/۳	۸۴۶۶۷	۴۵۱
B 2	۶۶/۷	۵/۲۷	۷/۶۸	۰/۰۰۷۴	۳۲۵	۶۵۰۴	۷/۵	۳۱۳۵۵	۳۱۳
B 3	۱۱۶/۵	۵/۴۱	۷/۶۷	۰/۰۰۷۶	۳۱۲	۱۱۵۹۸	۱۳/۴	۵۵۹۱۷	۳۵۲
B 4	۲۲۲/۹	۵/۱۹	۷/۴۴	۰/۰۰۷۹	۳۱۵	۲۱۶۳۲	۲۵	۱۰۴۲۹۲	۴۱۹
B 5	۴۰۷/۲	۳/۲۲	۷/۱۳	۰/۰۰۵۶	۳۰۶	۱۶۱۷۰	۱۸/۷	۷۷۹۵۹	۱۹۱
B 6	۱۵۲/۲	۵/۳۹	۷/۱۶	۰/۰۰۶۱	۳۰۸	۱۱۱۳۲	۱۲/۸	۵۳۶۷۱	۲۷۸
B 7	۵۴/۵	۴/۷۷	۷/۱۲	۰/۰۰۳۸	۳۳۸	۲۴۴۶	۲/۸	۱۱۷۹۴	۱۴۲
B 8	۵۳/۸	۹/۹۴	۶/۸۷	۰/۰۰۳۸	۳۳۹	۴۸۳۶	۵	۲۳۳۱۶	۲۸۴
B 1,7,8	۳۵۲/۸	۴/۶۱	۷/۰۳	۰/۰۰۵	۳۲۵	۱۸۷۵۹	۲۱/۷	۹۰۴۴۰	۲۵۶
B 1,6,7,8	۵۴۵/۹	۴/۶۱	۷/۰۸	۰/۰۰۵۳	۳۱۹	۳۰۶۰۶	۳۵/۳	۱۴۷۵۵۳	۲۷۰
کل حوضه						۸۶۵۱۳	۱۰۰	۴۱۷۰۷۹	۲۸۵

نتیجه‌گیری

مدل‌های پتانسیل فرسایش و هیدروفیزیکی برای مناطق نیمه‌خشک ایران به کار گرفته شدند. به علت اینکه روش پتانسیل فرسایش تنها چهار عامل را در محاسبه پتانسیل فرسایش در نظر می‌گیرد، می‌توان از این روش به آسانی برای تخمین سریع پتانسیل فرسایش در حوضه‌های آبریز که در آن‌ها منابع اطلاعاتی محدود است، استفاده کرد. با موجود بودن اطلاعات ایستگاه رسوب سنجی در پایین دست منطقه از روش هیدروفیزیکی برای تعیین سهم رسوبدهی هر زیرحوضه استفاده شد. استفاده از روش هیدروفیزیکی نشان داد که بالا بودن پتانسیل فرسایش یک منطقه دلیلی برای بالا بودن میزان رسوبدهی آن منطقه نیست.

سیستم اطلاعات جغرافیایی (GIS) ابزار مؤثری برای محاسبه معادلات ریاضی مدل‌های تعیین پتانسیل فرسایش و رسوبدهی مانند پتانسیل فرسایش و هیدروفیزیکی است. معادلات تعیین رسوبدهی را می‌توان در یک کاورِج^۱ برنامه‌ریزی و نتایج را در یک کاورِج و یا یک پایگاه اطلاعاتی داده^۲ جدید ذخیره کرد. همچنین، از سیستم اطلاعات جغرافیایی می‌توان برای نمایش گرافیکی نتایج تحلیل‌های رسوبدهی استفاده کرد.

این تحقیق داده‌های مفیدی درباره شدت فرسایش در حوضه آبریز شیرین‌دره تولید کرده است که می‌توان از آن در مدیریت منابع طبیعی و پروژه‌های حفاظت خاک کمک گرفت. علی‌رغم اینکه مدل‌های پتانسیل فرسایش و هیدروفیزیکی روش‌های سریع و آسان برای دستیابی به شدت فرسایش و رسوبدهی هستند؛ اما کاملاً پایه علمی داشته و دقت داده‌های تحلیل شده در وهله اول به تجربه و دانش متخصصانی بستگی دارد که مقادیر ضرایب فرسایش را تعیین می‌کنند.

منابع

- ۱- احمدی حسن. (۱۳۸۶). ژئومورفولوژی کاربردی، ج ۱، فرسایش آبی، انتشارات دانشگاه تهران، ۶۸۸ص.
- ۲- اداره کل منابع طبیعی و آبخیزداری استان خراسان رضوی، ۲۰۰۳، <http://www.nr-khr.ir>.
- ۳- رفاهی حسینقلی، نعمتی محمدرضا. (۱۳۷۴). به کارگیری روش EPM در مطالعه فرسایش‌پذیری و تولید رسوب حوزه آبخیز الموت رود، مجله علوم کشاورزی ایران، ش ۱۲، صص ۳۳-۴۶.
- ۴- صادقی، سیدحمیدرضا. (۱۳۷۲). مقایسه چند روش برآورد فرسایش و رسوب در ازون دره زنجان، سمینار ملی سیاست‌ها و روش‌های بهره‌برداری بهینه از اراضی، تهران.
- ۵- علیزاده امین و همکاران. (۱۳۸۴). هوا و اقلیم‌شناسی، انتشارات دانشگاه فردوسی مشهد، ۳۸۱ص.
- ۶- فیض‌نیا، سادات. (۱۳۷۴). مقاومت سنگ‌ها در مقابل فرسایش در اقلیم‌های مختلف ایران، مجله منابع طبیعی، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه تهران، ش ۴۷، صص ۹۵-۱۱۶.
- ۷- ماجدی مهدی. و جزایری بهمن. (۱۳۶۰). مدل هیدرولوژیکی بررسی پتانسیل رسوبدهی، سمینار علوم زمین، سازمان زمین‌شناسی کشور.

- ۸- ماجدی مهدی. و جزایری بهمن. (۱۳۶۸). بررسی پتانسیل رسوبدهی در مناطق مختلف حوزه آبریز قسمت انتهایی شرقی رودخانه قزل اوزن، فصلنامه تحقیقات جغرافیایی، گروه جغرافیا، انتشارات آستان قدس رضوی.
- ۹- مطالعات مرحله اول طرح استفاده از آب رودخانه شیرین دره بجنورد. (۱۳۶۸). شرکت خدمات مهندسی مشاور طوس آب.
- 10- Bagherzadeh Ali, Mansouri Daneshvar Mohammad Reza. (2011). Sediment yield assessment by EPM and PSIAC models using GIS data in semi-arid region, *Front. Earth Sci.*, 5, 207–216, DOI 10.1007/s11707-011-0168-z.
- 11- Eastman J. Ronald. (1997). *IDRISI for Windows: User's Guide. Version 2.0.* Clark Labs for Cartographic Technology and Geographical Analysis, Worcester, USA.
- 12- Garg Vaibhav, Jothiprakash V. (2011). Sediment Yield Assessment of a Large Basin using PSIAC Approach in GIS Environment, *Water Resour Manage* (2012) 26:799–840, DOI 10.1007/s11269-011-9945-4.
- 13- Gavrilovic Zoran. (1988). The use of an empirical method (erosion potential method) for calculating sediment production and transportation in unstudied or torrential streams *International Conference of River Regime*. 18–20 May. Wallingford, England 1988 pp. 411–422.
- 14- Hill Joachim. (1993). Land degradation and soil erosion hazard mapping in Mediterranean environment with operational earth observation satellites. *Proceedings of the International Symposium of Operationalization of Remote Sensing*, 9, 19–23 April, Enschede, the Netherlands. 45, 41–52.
- 15- Martínez-Casasnovas José A. (2003). A spatial information technology approach for the mapping and quantification of gully erosion. *Catena* 50, 293–308.
- 16- Renard, G. Kenneth; Freimund R. Jeremy. (1994). Using monthly precipitation data to estimate the R-factor in the revised USLE, *Journal of Hydrology*, 157, 287–306.
- 17- Szilassi Peter, Jordan Gyozo, van Rompaey Anton, Csillag Gabor. (2006). Impacts of historical land use changes on erosion and agricultural soil properties in the Kali Basin at Lake Balaton, Hungary. *Catena*, 68(2–3): 96–108.
- 18- Tangestani Hashemi Majid. (2001). Integrating geographic information systems in erosion and sediment yield applications using the erosion potential method (EPM) *Proceedings of the GIS Research UK. Ninth Annual Conference*. 18–20 April. University of Glamorgan, Wales, UK. 33, 621–623.
- 19- Tangestani Hashemi Majid. (2006). Comparison of EPM and PSIAC models in GIS for erosion and sediment yield assessment in a semi-arid environment: Afzar Catchment, Fars Province, Iran. *Journal of Asian Earth Sciences*. 76, 585–597.
- 20- Yuliang Qiao; Yun Qiao. (2002). Fast soil erosion investigation and dynamic analysis in the loess plateau of China by using information composite technique, *Adv Space Res*, 29, 85–88