مدلسازی فرسایش حوضه‌ای به کمک مدلهای RUSLE و SWAT

(منطقه مورد مطالعه : زیرحوضه امامه)

مهدی پورعبدالله، کارشناسی ارشد مهندسی محیط زیست، دانشگاه صنعتی شریف، تهران*

مسعود تجریشی، دانشیار دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه صنعتی شریف، تهران **

* تلفن : ۶۶۱۶۴۱۸۶ ، نمابر:۶۶۰۳۶۰۱۶، پست الکترونیکی : pourabdullah@mehr.sharif.ir

** تلفن : ۶۶۱۶۴۱۸۵ ، نمابر:۶۶۰۳۶۰۱۶، پست الکترونیکی : tajrishy@sharif.edu

چکیده :

یکی از مشکلات موجود در مخازن سدها ورود بار آلی بهمراه رسوبات بالادست از طریق جریانهای سطحی به این مخازن می‌باشد. این مسأله که در اثر کاربری غیر اصولی اراضی بالادست رخ می‌دهد، می تواند موجب بروز عوارض دیگری از جمله : شکوفایی جلبک در آب مخزن و بدنبال آن بدبو و بدطعم شدن آب گردد. در این مقاله، میزان انتقال رسوب حاصل از فرسایش خاک زیرحوضه امامه در حوضه آبخیز سد لتیان به مخزن سد و بار آلی ناشی از آن مورد مطالعه قرار گرفته است. این بار آلی که عمدتاً فسفر می باشد، نسبت مستقیمی با مقدار رسوب انتقال یافته به مخزن سد دارد. از دو مدل RUSLE و SWAT2000 جهت مدلسازی رسوب و مقایسه نتایج آنها با مقادیر واقعی استفاده گردیده که ورودیهای این دو مدل شامل : داده های هواشناسی، جنس و ترکیبات خاک هر منطقه، نوع کاربری زمین در منطقه، نوع پوشش گیاهی منطقه، مقادیر شیب و طول شیب در نواحی مختلف می‌باشد که به طریق سیستمهای اطلاعات جغرافیایی (GIS) مورد استفاده قرار گرفته است. برای سال ۵۸-۱۳۵۷مقدار رسوب سالیانه در اثر فرسایش ناشی از بارندگی به کمک مدل تجربی RUSLE در حدود ۵ برابر مقدار واقعی بدست آمد که این امر بدلیل ناسازگاری این مدل با نقاط کوهستانی و نیز عدم در نظر گرفتن فرسایش ناشی از ذوب برف توسط این مدل می‌باشد. در مدل فیزیکی SWAT2000 که دارای قابلیت محاسبه اثر ذوب برف بر تولید فرسایش است، مقدار رسوب متوسط سالیانه شبیه‌سازی شده، معادل ۱۲۱ درصد مقدار واقعی بدست آمد. همچنین مجموع میزان فسفر آلی و معدنی برآوردشدهٔ خروجی از زیرحوضه امامه در سال مذکور توسط این مدل حدود kg ۲۰۰۰ بدست آمده است. با بکارگیری روش کشت نواری جهت کاهش فرسایش خاک و فسفر ورودی، میزان فرسایش خاک و فسفر ورودی ناشی از آن به ترتیب تا ۱۸ و ۴۲ درصد کاهش خواهد یافت.

کلیدواژه: *مدلسازی فرسایش، حوضه آبخیز امامه، رسوب، فسفر، RUSLE ، SWAT2000 ، GIS، راهکارهای حفاظتی*

۱- مقدمه

یکی از مخرب ترین فرایندهایی که باعث تغییرات اکولوژیکی قابل توجهی در بسیاری از حوضه ها شده و در حال افزایش می‌باشد، فرسایش خاک است. حوضه آبخیز لتیان نیز یکی از مناطقی است که متحمل فرسایش فزاینده خاک می باشد و بررسی فرسایش در آن بعنوان یکی از منابع تأمین آب شرب

شهر تهران از اهمیت بالایی برخوردار است. با توجه به کاربریهای غیر اصولی حوضه آبخیز لتیان نظیر وجود تعداد زیاد دام و ساخت و سازهای بی‌رویه و همچنین بالابودن فسفر در خاک و تخلیه فاضلابهای انسانی به درون منابع آب سطحی، ورود منابع مغذی و آلاینده‌ها به مخزن سد به همراه خاک فرسایش یافته می تواند سبب بروز مسائلی از جمله: رشد و شکوفایی جلبک، تغییر بو و طعم آب و مشکلات تصفیه ناشی از آن گردد.

در این تحقیق، مدلسازی پتانسیل فرسایش خاک در زیرحوضه امامه (از زیرحوضه‌های منطقه آبخیز لتیان) با استفاده از مدلهای RUSLE و SWAT2000 به همراهی نرم‌افزار ArcView جهت محاسبات گسترده مکانی بررسی شده است. سپس نواحی حساس به فرسایش تعیین و راهکارهای مدیریتی مناسبی جهت کاهش میزان رسوب و فسفر ناشی ازآن در زیرحوضه ارائه گردیده است.

۲- معرفی مدلها

۲-۱ مدل RUSLE

این مدل تجربی بیشتر برای اراضی کشاورزی استفاده می‌شود و اصلاح شدهٔ مدل USLE[1] می‌باشد. این مدل، فرسایش ورقه‌ای و شیاری را بصورت تابعی از ۶ پارامتر اصلی شبیه‌سازی نموده و میزان فرسایش سالانه را با واحد ton/ha/yr برآورد می کند [۱]. تابع موردنظر بصورت زیر است :

$$A = R \times K \times L \times S \times C \times P$$

که در آن پارامتر A، میزان فرسایش سالانه است. سایر پارامترها عبارتند از :

الف) فرسایندگی باران R: این پارامتر نشان‌دهنده میزان تأثیر ضربات قطره‌های باران بوده و از مجموع حاصلضربهای انرژی جنبشی بارش (E) در حداکثر بارش ۳۰ دقیقه‌ای (I_{30}) برای رخدادهای بارندگی در یک سال بدست می‌آید. در این مدل عامل ذوب برف در نظر گرفته نمی‌شود.

ب) فرسایش‌پذیری خاک K: بیانگر میزان مقاومت ذرات خاک در برابر جداشدن و انتقال می‌باشد و با توجه به جنس و ترکیبات خاک و از نقشه خاک‌شناسی بدست می‌آید.

ج) شیب و طول شیب L , S : با استفاده از نقشه توپوگرافی و با بهره گیری از GIS بدست می‌آید.

د) فاکتور پوشش گیاهی C: با توجه به نقشه پوشش گیاهی و کاربری اراضی منطقه تعیین می گردد.

ه) اقدامات حفاظتی P: از روی نوع اقدامات مدیریتی انجام شده جهت کاهش فرسایش در منطقه بدست می‌آید.

۲-۲ مدل SWAT2000

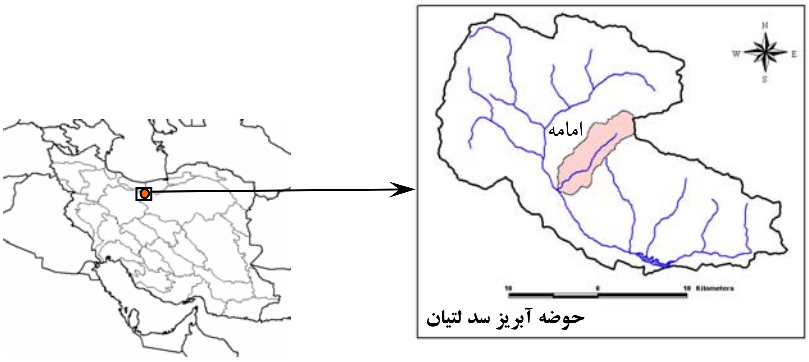
دراین مدل فیزیک حرکت آب و رسوب، رشد گیاه، چرخه عناصر مغذی و ... جهت شبیه‌سازی، بصورت پیوسته[1] در نظر گرفته می‌شود[۳]. مدل SWAT جهت محاسبه میزان فرسایش ناشی از باران و

---
[1] Universal Soil Loss Equation

رواناب از معادله جهانی فرسایش خاک اصلاح‌شده (MUSLE[2]) استفاده می‌نماید. در این معادله که اصلاح‌شدهٔ رابطهٔ USLE می‌باشد، بجای فاکتور انرژی بارش از فاکتور رواناب استفاده می‌شود که خود باعث بهبود تخمین میزان رسوب می گردد. مزیت دیگر این مدل، لحاظ نمودن عامل ذوب برف در شبیه‌سازی فرسایش است.

۳- معرفی منطقه مورد مطالعه

منطقه امامه یکی از زیرحوضه های حوضه آبخیز سد لتیان، واقع در طول جغرافیایی '۳۲ °۵۱ تا '۳۸ °۵۱ شرقی و عرض جغرافیایی '۵۱ °۳۵ تا '۵۷ °۳۵ شمالی می باشد.



شکل ۱: *موقعیت جغرافیایی حوضه آبخیز سد لتیان و زیرحوضه امامه*

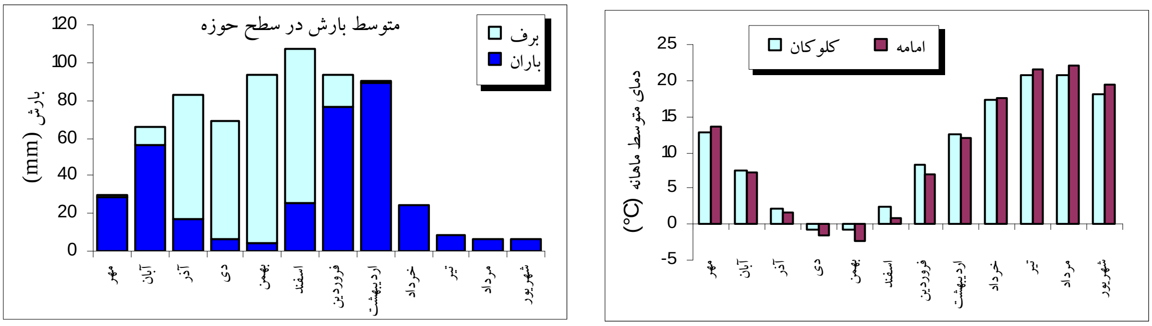
این منطقه در شرق جاده لشگرک-شمشک و ۴۸ کیلومتری شمال شرقی تهران قرار گرفته و دو دهکده امامه بالا و امامه پایین در داخل آن واقع شده است. این منطقه از طرف شمال به ارتفاعات جنوبی دره لار و از طرف غرب به ارتفاعات اوشان کوه و ارتفاعات شرقی رودخانه جاجرود ، از طرف شرق به ارتفاعات راحت آباد و کوسا و از طرف جنوب به رودخانه جاجرود و دهکده گلوکان محدود شده است. از لحاظ توپوگرافی این ناحیه کوهستانی بوده و شامل دو رشته کوه موازی است که در امتداد شمال‌شرقی-جنوب‌غربی قرار گرفته اند. در قسمت میانی یک منطقه تقریبا مسطح مثلثی شکل می باشد که دهکده امامه بالا و پایین را شامل می شود[۴]. فیزیوگرافی زیرحوضه امامه مطابق جدول (۱) می‌باشد.

جدول ۱ : *فیزیوگرافی حوضه امامه*

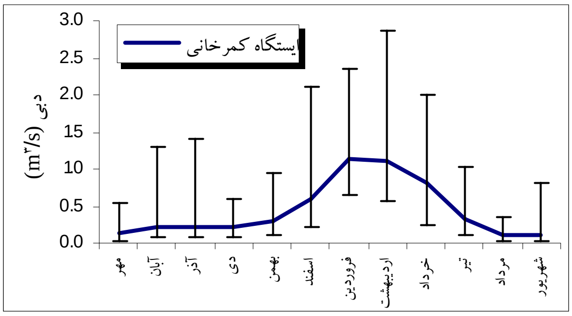
مساحت حوضه (Km^2)	۳۷/۲	ارتفاع متوسط حوضه (m)	۲۶۷۲	طول آبراهه اصلی (Km)	۱۲/۹۴
محیط حوضه (Km)	۳۰/۲	شیب متوسط حوضه (٪)	۵۴/۳	شیب متوسط آبراهه اصلی (٪)	۱۰/۸
طول مستطیل معادل (Km)	۱۲/۱۴	حداکثر ارتفاع حوضه (m)	۳۸۸۰	قطر دایره معادل (Km)	۶/۸۸۴
عرض مستطیل معادل (Km)	۳/۰۶	حداقل ارتفاع حوضه (m)	۱۸۰۰	ضریب گراولیوس	۱/۴

[1] continuous
[2] Modified Universal Soil Loss Equation

این زیرحوضه دارای دو ایستگاه هیدرومتری در مرکز (باغ‌تنگه) و خروجی زیرحوضه (کمرخانی) و دو ایستگاه هواشناسی در مرکز (امامه) و خروجی آن (کلوکان) می‌باشد.



شکل ۲ : *میانگین بارش و دمای ماهانه طی سالهای ۱۳۷۸-۱۳۵۵*

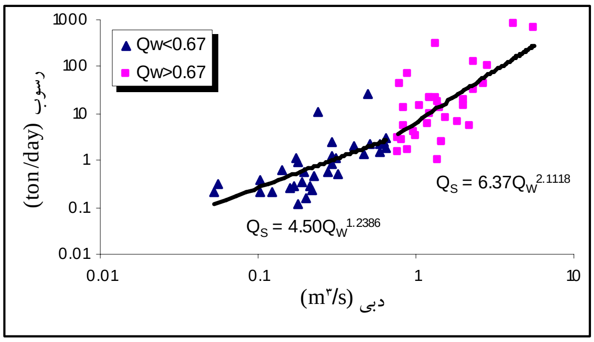


شکل ۳ : *دبی متوسط ماهانه و بازه تغییرات آنها طی سالهای ۱۳۷۸-۱۳۵۵*

براساس نتایج حاصل از ۶۵ نمونه رسوب برداشت شده از رودخانه امامه طی سالهای ۶۵-۱۳۶۰، رابطه شدت رسوبدهی برحسب شدت جریان آب بصورت زیر تعیین گردیده و نمودار آن در شکل۴ نشان داده شده است[۵]:

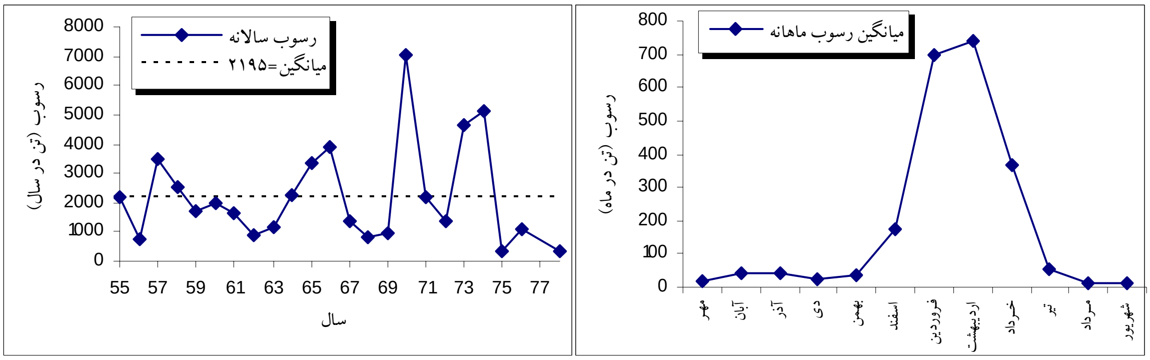
$$Q_S = ۴/۵۰ Q_W^{۱/۲۳۸۶} \qquad Q_W < ۰/۶۷$$

$$Q_S = ۶/۳۷ Q_W^{۲/۱۱۱۸} \qquad Q_W \geq ۰/۶۷$$



شکل ٤ : *رابطه بین دبی و رسوب بر اساس آمار سالهای ۶۵-۱۳۶۰* [۵]

لذا با توجه به داده‌های دبی روزانه موجود نمودار تغییرات رسوب بصورت زیر خواهد بود:



شکل ۵ : *تغییرات رسوب ماهانه و سالانه در دوره آماری ۷۸-۱۳۵۵*

با بررسی نمودارهای رسوب روزانه به همراه بارش و دمای روزانه در فصول بارندگی و نیز با توجه به نمودار رسوب ماهانه، (شکل فوق) دیده می‌شود که عامل ذوب برف علاوه بر باران، فرسایش قابل توجهی را در زیرحوضه امامه ایجاد می‌نماید.

نوع خاک و تنوع پوشش گیاهی در زیرحوضه امامه مطابق نقشه‌های شکل ۶ می‌باشد.

در نقشه خاک‌شناسی، واحد اراضی 1.1 با مساحت ۸۶۰/۴ هکتار شامل کوههای بسیار مرتفع با قلل تیز، متشکل از سنگ آهک، ماسه‌سنگ، شیل، سیلتستون و توف با بیرون‌زدگی سنگی زیاد تا بسیار زیاد، دارای فرسایش آبی زیاد، خاکهای کم‌عمق و در برخی نقاط ناپیوسته بهمراه سنگریزه فراوان می‌باشد. از این اراضی در حال حاضر بعنوان مراتع و چراگاه استفاده می‌شود.

واحد اراضی 1.2 با مساحت ۲۵۲۲ هکتار شامل کوههای بسیار مرتفع تا مرتفع با قلل تیز و گاهی کشیده متشکل از سنگهای آهن، توف و شیل با بیرون‌زدگی سنگی نسبتاً زیاد تا زیاد با فرسایش آبی زیاد، خاکهای کم‌عمق تا نیمه‌عمیق با سنگریزه فراوان و پوشش گیاهی متوسط می‌باشد. از این اراضی در حال حاضر بصورت مراتع و چراگاه استفاده می‌شود.

واحد اراضی 4.1 با مساحت ۲۹۱/۵ هکتار شامل دشتهای دامنه‌ای و تراسهای رودخانه‌ای با مواد مادری و رسوبات ریزدانه دوران چهارم، دارای خاک عمیق بهمراه سنگریزه‌های سطحی و تحتانی متوسط تا فراوان، پوشش گیاهی خوب و فرسایش سطحی کم تا ناچیز می‌باشد. از این اراضی در حال حاضر بصورت اراضی کشاورزی و باغات میوه استفاده می‌شود.

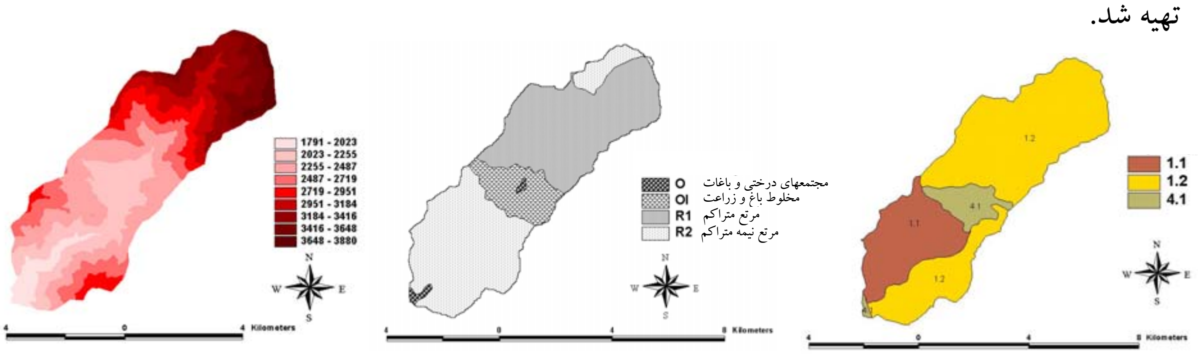
پوششهای گیاهی موجود، در نقشه پوشش گیاهی و کاربری اراضی (شکل ۶) آورده شده است.

٤- داده‌های مورد استفاده

داده‌های ورودی مدل RUSLE (که برای دوره آماری ۵۸-۱۳۵۷ و ۶۳-۱۳۶۲ تهیه گردیدند) عبارتند از: دما و بارش ماهانه، مقادیر فرسایندگی ماهانه، جنس و ترکیبات خاک، مقادیر شیب و طول شیب در هر بخش از زیرحوضه، نوع پوشش گیاهی و نوع اقدامات حفاظتی صورت گرفته.

داده‌های مورد استفاده در مدل SWAT بسیار گسترده‌تر از مـدل RUSLE مـی‌باشـد. ایـن مـدل کـه تحت نرم افزار ArcView اجرا می‌شود، لایه‌های اطلاعاتی جنس خاک، پوشش گیاهی و توپوگرافی را بصورت نقشه‌های GIS دریافت می‌نماید. مقادیر دمای حداکثر و حداقل روزانه و بـارش روزانـه در دوره آماری ۷۷-۱۳۵۵ بصورت جداولی، به مدل وارد گردید. سایر پارامترها نیز مستقیماً به مدل داده شد.

نقشه خاک، پوشش گیاهی و DEM (توپوگرافی) نیز بصورت لایـه‌هـای شـکل ۶ بـرای هـر دو مـدل تهیه شد.



نقشه DEM　　　نقشه پوشش گیاهی و کاربری اراضی　　　نقشه خاک‌شناسی

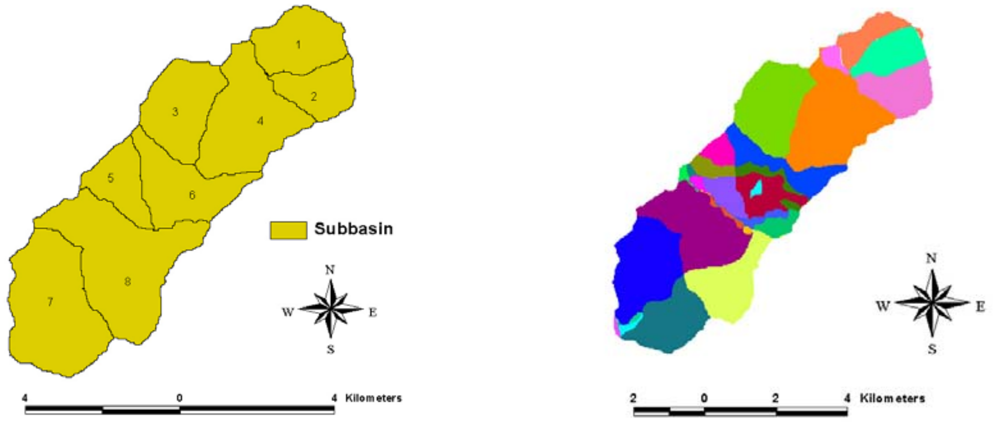
شکل ٦ : *لایه‌های اطلاعاتی مورد استفاده برای زیرحوضه امامه*

۵- مدلسازی و تحلیل نتایج

۵-۱ مدل RUSLE

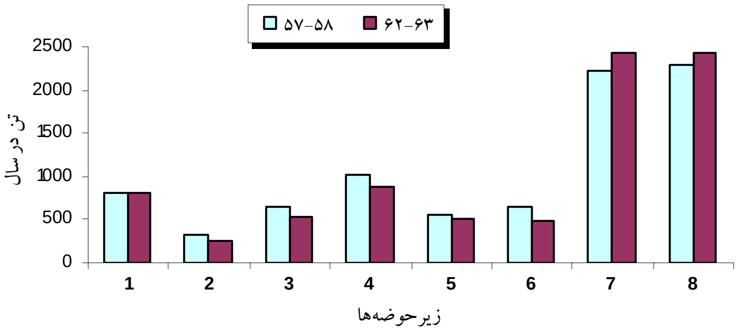
با توجه به محدود بودن آمار دبی-رسوب برای مقایسه نتایج مدل با آمار واقعی (دو سال آمـار روزانـه دبی-رسوب)، جهت اجرای مدل از داده‌های دما و بارش سالهای ۵۸-۵۷ و ۶۳-۶۲ استفاه گردید.

بـا تقسـیم‌بنـدی زیرحوضـه امامـه بـه زیرحوضـه‌هـا و واحـدهای هیـدرولوژیکی(HRU) کـوچکتر، ورودیهای شیب و طول شیب، پوشش گیاهی و جنس خاک برای هر HRU تعیین و به تعداد HRUهای موجود، مدل اجرا شده و مقادیر فرسایش برای هرکدام تعیـین گردیـد. سـپس بـا در نظـر گـرفتن ضـریب حمل رسوب، مقدار رسوب خروجی از زیرحوضه بدست آمـد. زیرحوضـه‌هـا و HRUهـا در شـکل ۷ و نتایج مدلسازی در شکل ۸ نشان داده شده است:



زیرحوضه‌ها　　　واحدهای هیدرولوژیکی

شکل ۷ : *زیرحوضه‌ها و واحدهای هیدرولوژیکی*

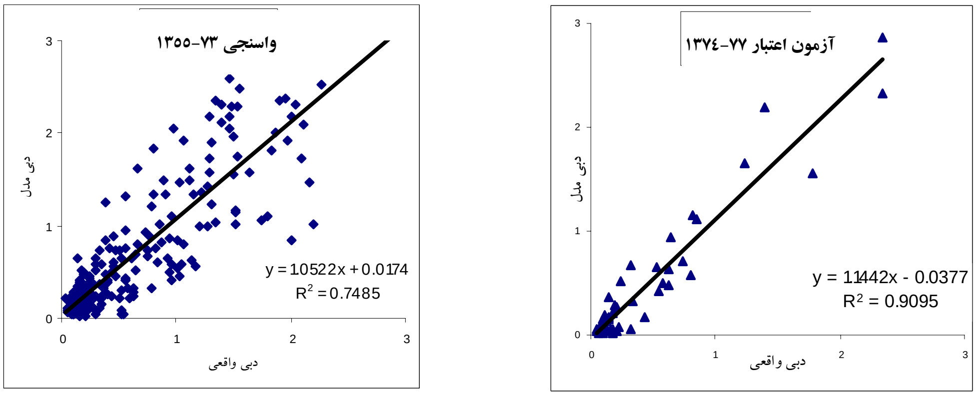


شکل ۸: *مقادیر فرسایش سالانه شبیه‌سازی شده در زیرحوضه‌های امامه در سالهای ۵۸-۵۷ و ۶۳-۶۲*

۵-۲ مدل SWAT2000

۵-۲-۱ واسنجی دبی و رسوب

واسنجی مدل در دو مرحله انجام پذیرفت: ابتدا واسنجی دبی و سپس واسنجی رسوب. واسنجی دبی با استفاده از آمار ۱۹ سالهٔ دبی ماهانه (۷۳-۱۳۵۵) و آزمون اعتبار آن با آمار ۴ سالهٔ دبی ماهانه (۷۷-۱۳۷۴) انجام گرفت.



شکل ۹: *واسنجی مدل برای دبی متوسط ماهانه (m^3/s)*

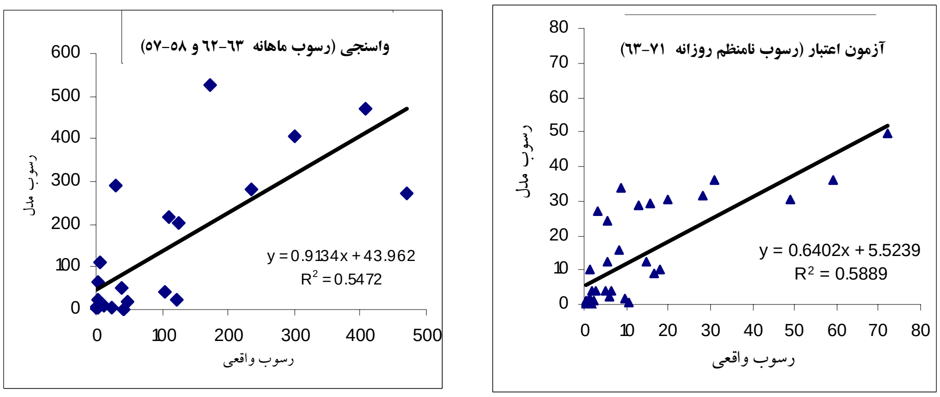
پارامترهای مؤثر در واسنجی دبی و مقادیر نهایی آنها در جدول ۲ آورده شده است.

جدول ۲: *پارامترهای مؤثر در واسنجی مدل برای دبی ماهانه*

پارامتر	مقدار	توضیحات
SFTMP و SMTMP	$2^{\circ}C$	دمای آستانه بارش و ذوب برف [۶]
SMFMX و SMFMN	$1.4\ mmH_2O/^{\circ}C.day$	فاکتور حداکثر و حداقل ذوب برف
TIMP	1.0	ضریب تأخیر زمانی برای دمای توده برف
SNOCOVMX	$70\ mmH_2O$	حداقل ارتفاع برف مورد نیاز برای پوشش ۱۰۰درصد سطح زیرحوضه
SNO50COV	0.8	کسری از SNOCOVMX معادل ۵۰درصد پوشش سطح زیرحوضه
LAT_TTIME	40 days	زمان حرکت جریان جانبی

پس از انطباق هیدرولوژیکی مدل با زیرحوضه امامه، برای واسنجی رسوب با توجه به کمبود آمار رسوب موجود، از ۲ سال آمار رسوب روزانه (۵۸-۱۳۵۷ و ۶۳-۱۳۶۲) استفاده شد و مقادیر رسوب ماهانه

برای واسنجی تعیین گردید. سپس از داده‌های رسوبی که بطور نامنظم طی سالهای ۷۱-۱۳۶۳ اندازه‌گیری شده بود، برای آزمون اعتبار مدل استفاده شد. نتایج در شکل ۱۰ نشان داده شده است:



شکل ۱۰ : *واسنجی مدل و آزمون اعتبار نتایج رسوب*

پارامترهای مؤثر در واسنجی رسوب و مقادیر نهایی آنها در جدول زیر آورده شده است:

جدول ۳ : *پارامترهای مؤثر در واسنجی مدل برای رسوب ماهانه*

پارامتر	مقدار	توضیحات
USLE_P	1.0	فاکتور اقدامات حفاظتی در معادله جهانی فرسایش خاک
USLE_K	0.24 (واحد اراضی ۱۰۱)	فاکتور فرسایش‌پذیری در معادله جهانی فرسایش خاک
	0.16 (واحد اراضی ۱۰۲)	
	0.34 (واحد اراضی ۴۰۱)	

۵-۲-۲ شبیه‌سازی فسفر

ورودیهای مورد نیاز مدل برای برآورد میزان فسفر ورودی به رودخانه در اثر فرسایش، عبارتند از: میزان فسفر اولیه محلول و آلی موجود در خاک، مقدار و زمان کوددهی، زمان چرای دام و ویژگیهای دام موجود در زیرحوضه. این پارامترها و مقادیر آنها در جدول ۴ آورده شده است:

جدول ٤ : *پارامترهای مؤثر در تعیین میزان فسفر خروجی*

مقدار هر پارامتر	پارامترهای مورد نیاز	منبع فسفر
40 mg/kg [مرجع ۴۷]	غلظت فسفر محلول اولیه موجود در خاک (*SOL_SOLP*)	فسفر موجود در خاک
اول آذر (December 1)	تاریخ شروع کوددهی (روز و ماه)	عملیات کود دهی (فقط در باغات)
28-10-10	نام کود مورد نظر (*FERT_ID*)	
0.5	جزء کود مورد استفاده در لایه ۱۰ میلیمتری فوقانی خاک (*FRT_LY1*)	
20kg / 25m^2	مقدار کود مصرفی (*FRT_KG*)	

اول فروردین (April 1)	تاریخ شروع چرای دام (روز و ماه)	چرای دام
گوسفند (sheep)	نوع دام (*IGFTYP*)	
180 days	تعداد روزهای چرای دام (*NDGRAZ*)	
0.49 kg/ha/day	جرم خشک فضولات دفع‌شده در روز (*WMANURE*)	
1.081 kg/ha/day	جرم علوفه مصرفی توسط دام در روز (*BMEAT*)	

۵-۳ تحلیل نتایج و پیشنهادات

در جدول ۵ میزان دقت هر یک از مدلها در برآورد فرسایش سالانه بدست آورده شده است:

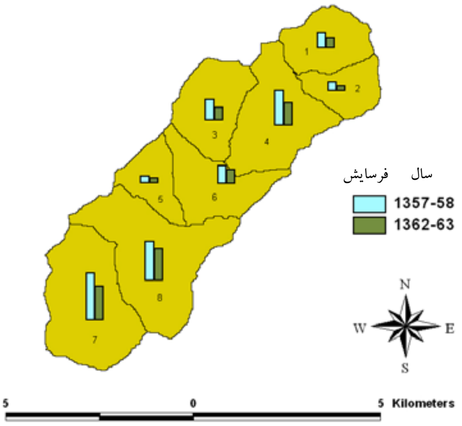
جدول ۵ : *نتایج شبیه‌سازی رسوب سالانه*

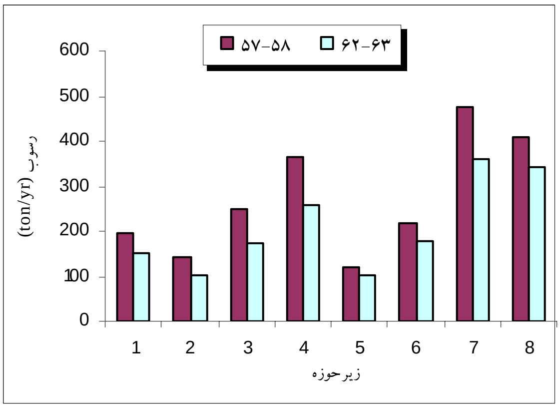
سال	رسوب واقعی (ton/yr)	مدل	رسوب مدل(ton/yr)	خطای مدل
۱۳۵۷-۵۸	۱۷۹۰	RUSLE	۸۵۱۲	٪ ۳۷۶
		SWAT	۲۱۶۸	٪ ۲۱
۱۳۶۲-۶۳	۵۷۳	RUSLE	۸۳۲۶	٪ ۱۳۵۳
		SWAT	۱۶۸۰	٪ ۱۹۳

لذا مدل SWAT از دقت بسیار بالاتری نسبت به RUSLE در مدلسازی فرسایش حوضه امامه برخورداراست.

۵-۳-۱ نواحی بحرانی فرسایش

نواحی حساس به فرسایش به کمک SWAT تعیین و در شکل ۱۱ آورده شده است.





شکل ۱۱ : *نواحی حساس به فرسایش و مقادیر رسوب مدل*

مطابق شکل ۱۱، زیرحوضه‌های ۴، ۷ و ۸ بیشترین مقادیر فرسایش سالانه را دارند. با در نظر گرفتن مقادیر فرسایش ویژه (فرسایش در واحد سطح) نیز زیرحوضه‌های ۷ و ۴ دارای بیشترین فرسایش ویژه

هستند، زیرا : زیرحوضه ۷ شیب بالا و پوشش گیاهی ضعیفی دارد و در زیرحوضه ۴ نیز بالابودن شیب بر عامل پوشش گیاهی غلبه کرده و فرسایش ویژه بالاتری را بوجود آورده است. زیرحوزهٔ ۸ بدلیل داشتن شیب متوسط و پوشش نسبتاً ضعیف، از نظر فرسایش ویژه در رده هفتم قرار می‌گیرد؛ اما بدلیل مساحت بالای خود، سهم عمده‌ای را در میزان فرسایش به خود اختصاص داده است.

۵-۳-۲ شبیه‌سازی فسفر و ارائه راهکار حفاظتی

با شبیه‌سازی فسفر و تحلیل حساسیت پارامترهای مربوط به آن، چنین نتیجه گرفته شد که هیچ یک از اقدامات کوددهی و چرای دام در منطقه به حدی نیست که تأثیر محسوسی بر میزان فسفر خروجی از زیرحوضه داشته باشد. لذا برای کاهش فسفر ورودی به رودخانه در اثر فرسایش، می‌بایست از همان اقدامات حفاظتی کاهش فرسایش در منطقه استفاده گردد. مقدار فسفر خروجی در سال ۵۸-۵۷ معادل ۲۰۰۰ کیلوگرم و در سال ۶۳-۶۲ معادل ۹۵۳ کیلوگرم بدست آمد.

با توجه به شرایط توپوگرافی منطقه (کوهستانی بودن آن)، از میان گزینه‌های حفاظتی موجود، عملیات کشت نواری یا filter strip (کشت گیاه بصورت نواری طویل در امتداد رودخانه) برای کاهش فرسایش در این زیرحوضه (با توجه به حجم عملیات اجرایی، تناسب با شرایط منطقه و میزان کاهش فرسایش و فسفر) پیشنهاد می‌گردد که خود باعث به دام افتادن ذرات رسوب و فسفر و جلوگیری از ورود آنها به رودخانه می‌شود [۷]. با درنظرگرفتن این گزینه در مدل SWAT، میزان کاهش رسوب و فسفر در سال ۵۸-۵۷ معادل ۱۸ و ۴۲ درصد و در سال۶۳-۶۲ برابر ۱۰ و ۱۶ درصد بدست می‌آید.

٦- مراجع

1) Bamutaze Yazidhi, 2003. A comparative study of soil erosion modeling in Lom Kao-Phetchabun, Thailand. International institute for geo-information science and earth observation enschede, the Netherlands.
2) Christopher Cox and Chandra Madramootoo,1998. Application of geographic information systems in watershed management planning in St. Lucia. Ministry of Agriculture, Forestry, Fisheries and the Environment.
3) Neitsch S.L., Arnold J.G., Kiniry J.R., Williams J.R. and King K.W., 2002: Soil and water assessment tool, theoretical documentation, version 2000.

۴) سازمان تحقیقات منابع آب، مدیریت مطالعات آبهای سطحی : گزارش آماری حوضه امامه. سالهای ۱۳۵۵ تا ۱۳۷۸.

۵) نتایج برآورد میانگین دراز مدت مواد رسوب معلق رودخانه های حوضه آبریز مرکزی، سازمان آب منطقه ای تهران، معاونت آبهای سطحی. زمستان ۱۳۷۵.

۶) فتاحی ابراهیم، "مدل تحلیل کمی ذوب برف (مطالعه موردی حوضه آبریز سد لتیان)"، دانشگاه تربیت معلم، پایان‌نامه کارشناسی ارشد، ۱۳۷۷.

۷) پورعبدا... مهدی، " مقایسه مدلهای RUSLE و SWAT در تخمین فرسایش حوضه‌ای "، دانشگاه صنعتی شریف، پایان‌نامه کارشناسی ارشد، ۱۳۸۴.

۸) مرکز تحقیقات آب و انرژی، دانشگاه صنعتی شریف: پروژه مطالعاتی شناسایی منابع آلاینده در حوزه آبریز سد لتیان، گزارش مطالعات خاک‌شناسی. آذر ۱۳۸۱.