



فصلنامه علمی-پژوهشی

پژوهش‌های فرسایش محیطی

سال سوم، شماره ۹، بهار ۱۳۹۲، صص ۱-۱۸

www.magazine.hormozgan.ac.ir

ارزیابی تغییرات فرسایش حوزه آبخیز سیوند طی سال‌های ۱۹۹۸ تا ۲۰۰۹ با استفاده از مدل RUSLE

خلیل رحیمی^{۱*}، مهدی مزبانی^۲

۱- نویسنده مسئول: دانش‌آموخته کارشناسی ارشد ژئومورفولوژی در برنامه‌ریزی محیطی، دانشگاه شهید بهشتی، sareban39@yahoo.com

۲- دانش‌آموخته کارشناسی ارشد ژئومورفولوژی در برنامه‌ریزی محیطی، دانشگاه شهید بهشتی، r.esmaili@umz.ac.ir

چکیده

حضور انسان در طبیعت و اقدامات او خواسته و ناخواسته موجب برهم خوردن تعادل و تشدید روند تخریب طبیعت می‌شود. امروزه افزایش جمعیت و تقاضا برای محصولات کشاورزی موجب شده تا پوشش گیاهی سطح زمین به ویژه جنگل‌ها و مراتع با سرعت هشدار دهنده‌ای توسط انسان تخریب شده و باعث افزایش فرسایش شود. در این پژوهش با استفاده از معادله جهانی فرسایش خاک و با بهره‌گیری از تصاویر ماهواره‌ای TM (سال ۱۹۹۸) و ETM (سال ۲۰۰۹)، فرسایش حوزه آبخیز سیوند برای سال‌های ۱۹۹۸ و ۲۰۰۹ تهیه شد. جهت استخراج و پردازش تصاویر ماهواره‌ای از نرم افزار ERDAS و برای ترسیم نقشه‌ها و تحلیل‌های مرتبط با آن از نرم افزارهای Arc GIS و SPSS استفاده شده است. نتایج پژوهش نشان داد فرسایش در سال ۱۹۹۸ برابر با ۴۰۶۱۷۲۳۸۹ تن بوده است که در سال ۲۰۰۹ به ۴۱۶۳۶۴۳۷۷ تن رسیده است که به طور میانگین به ازای هر هکتار ۱/۸۷ تن افزایش یافته است. علت اصلی افزایش تغییرات فرسایش در طی دوره مطالعه کاهش پوشش گیاهی بوده است که این کاهش ناشی از افزایش جمعیت حوزه و به تبع آن افزایش دخالت در طبیعت و چرای بی‌رویه دام در اراضی مرتعی بوده است که پوشش گیاهی سطح خاک را کاهش داده و باعث شده است خاک در مقابل باران ضعیف و عوامل فرسایشی بسیار حساس شوند.

واژه‌های کلیدی:

تغییرات فرسایش، مدل RUSLE، تصاویر ماهواره‌ای TM-ETM، حوزه آبخیز سیوند.



Quarterly Journal of
Environmental Erosion Researches
No. 9, Spring 2013, pp: 1-18
www.magazine.hormozgan.ac.ir

Evaluation of Sivand Basin Erosion by RUSLE Model During 1998 to 2009

Rahimi. KH^{1*}, Mezbani. M²

- 1- *Corresponding Author: M.Sc. of Geomorphology, Faculty of Earth Science, Shahid Beheshti University
- 2- M.Sc. of Geomorphology, Faculty of Earth Science, Shahid Beheshti University

Abstract

The presence of human in nature and his willing or unwilling activities have culminated in a series of destruction and balance clash in the nature. Today, the increase of population and high demand for agriculture production has resulted in the destruction of plant coverage on the land particularly forests and grassland by human and increase the erosion. In this paper, via using world soil erosion equation and applying TM satellites images (1998) and ETM (2009) the erosion of Sivand River was highlighted for two periods of 1998 and 2009. For the extraction and processing of satellite images the ERDAS was used and for mapping and its related analysis the Arc GIS and SPSS software were used. The results showed that the erosion in 1998 was 406172389 tons and in 2009 was 416364377 tons which shows 1.87 tons increase in each hectare. The main cause of erosion changes during the course of study was the decrease of plant coverage which resulted from population increase as well as the interference in nature and immethodical grazing in grassland areas which decreased the soil coverage and weakened the soil against rainfall and other factors.

Keywords:

Erosion Changes, RUSLE Model, TM-ETM Satellites Images, Sivand Basin

۱- مقدمه

خاک به‌عنوان یکی از مهم‌ترین منابع طبیعی نقش بسیار عمده‌ای در زندگی انسان دارد. امروزه فرسایش خاک به‌عنوان خطری برای رفاه انسان و حتی برای حیات به‌شمار می‌آید. در مناطقی که خاک‌ها کنترل نمی‌شود خاک‌ها به تدریج فرسایش یافته و حاصل‌خیزی خود را از دست می‌دهند؛ به‌طوریکه حدود ۱۷ درصد کاهش تولید محصول در جهان به دلیل فرسایش خاک بوده است (Angima et al, 2003). گزارش‌ها نشان می‌دهد که فرسایش آبی به‌عنوان یک مشکل اساسی در حوزه‌های آبخیز کشور ایران به‌شمار می‌آید، که مقدار ویژه آن بین ۸ تا ۱۶ تن در هکتار در سال می‌باشد (مهدیان، ۱۳۸۴). بنابراین تعیین عوامل مؤثر بر فرسایش و پیش‌بینی مقدار فرسایش خاک، نخستین گام در ارائه راه کارهای حفاظت از خاک می‌باشد. تا کنون مدل‌های زیادی جهت برآورد فرسایش خاک و توسعه طرح‌های مدیریتی فرسایش خاک ارائه شده که از مهم‌ترین این مدل‌ها، می‌توان به معادله‌های جهانی فرسایش خاک^۱ (Wischmeier & Smit, 1987)، پروژه پیش‌بینی فرسایش آبی^۲ (Flangan & Flangan, 1995)، ابزار ارزیابی خاک و آب^۳ (Arnold et al, 1998) و مدل اروپایی فرسایش خاک^۴ (Morgan et al, 1998) اشاره نمود (آرخی و نیازی، ۱۳۸۹). طی ۴۰ سال اخیر، مدل USLE به سبب داشتن محاسبات ساده، پرکاربردترین روش تخمین فرسایش خاک و برآورد تأثیرات عملیات‌های مدیریتی مختلف بر آن بوده است (Kinnell, 2000). رابطه جهانی فرسایش خاک اصلاح شده^۵ که روش مورد استفاده در پژوهش حاضر می‌باشد به‌عنوان مدل توسعه یافته USLE برای پیش‌بینی فرسایش خاک سالانه از یک سطح معین به‌شمار می‌آید (Freidmund & Renard, 1994). با استفاده از مدل RUSLE، فرسایش سطحی و شیاری^۶ ناشی از باران و رواناب، در سطوح تحت رواناب سطحی پیش‌بینی می‌شود. سطوح تحت رواناب، محدوده‌ای هستند که جریان‌های سطحی از ابتدای آن سرچشمه می‌گیرند و در انتهای آن تمرکز یافته یا به محدوده رسوب‌گذاری وارد می‌شوند. هدررفت خاک، متوسط سرعت فرسایش در این محدوده می‌باشد (Jones و همکاران، ۲۰۰۸).

Hoyos, 2005 با ارزیابی توان فرسایشی خاک با استفاده از مدل RUSLE در کلمبیا نشان داد که در فصل خشک، ۱۱ درصد اراضی دارای توان فرسایشی ۳/۵ تن در هکتار در فصل هستند و در فصل مرطوب مقدار آن به ۲۸ درصد افزایش می‌یابد. Cebecauer & Hofierka, 2007 با مطالعه تأثیر تغییر کاربری در اسلواکی (۱۹۹۰-۲۰۰۰) به این نتیجه رسید که تغییرات پوشش زمین و کشت نوبتی تأثیرات آشکاری بر روی الگوی فرسایش خاک در قسمت دره‌ها و نواحی کوهستانی داشته است. این تغییرات عمدتاً به دلیل تغییر مداوم مالکیت اراضی، تغییر نوع محصولات، جنگل‌زدایی و جنگل‌کاری می‌باشد. Kamlesh & Sharma, 2010 با مطالعه اثر تغییر کاربری اراضی بر روی فرسایش با استفاده از معادله جهانی فرسایش خاک در حوزه آبخیز مایتون در هند در طی سال‌های ۱۹۸۹ تا ۲۰۰۴ به این نتیجه رسیدند که تغییر کاربری‌ها باعث فرسایش قابل توجهی در حوزه شده است که در سال ۱۹۸۹ مقدار فرسایش از ۱۲/۱۱ تن در هکتار در سال به ۱۳/۲۱ تن در هکتار در سال ۲۰۰۴ رسیده است. نبی لشکریان (۱۳۷۹)، در بررسی اثر تغییرات کاربری بر فرسایش خاک و رسوبدهی در حوزه آبخیز ماسوله گیلان به این نتیجه رسیده است که با کاهش وسعت جنگل‌ها و مراتع و ازدیاد وسعت سایر کاربری‌ها بر میزان فرسایش و رسوبدهی حوزه افزایش می‌یابد، همچنین شدت فرسایش در اراضی با کاربری دیم و مراتع با پوشش گیاهی کم به مراتب بیش‌تر از سایر کاربری‌هاست. بررسی فرسایش خاک در کاربری‌های مختلف زمین در حوزه آبخیز بریموند کرمانشاه نشان داد که بیش‌ترین مقدار فرسایش در کشت‌زارهای دیم (حدود ۲۱/۱۱ تن در هکتار در سال) و کمترین آن در

¹ Universal Soil Loss Equation (USLE)

² Water Erosion Prediction Project (WEPP)

³ Soil and Water Assessment Tool (SWAT)

⁴ European Soil Erosion Model (EUROSEM)

⁵ Revised Universal Soil Loss Equation (RUSLE)

⁶ Surface and Rill Erosion

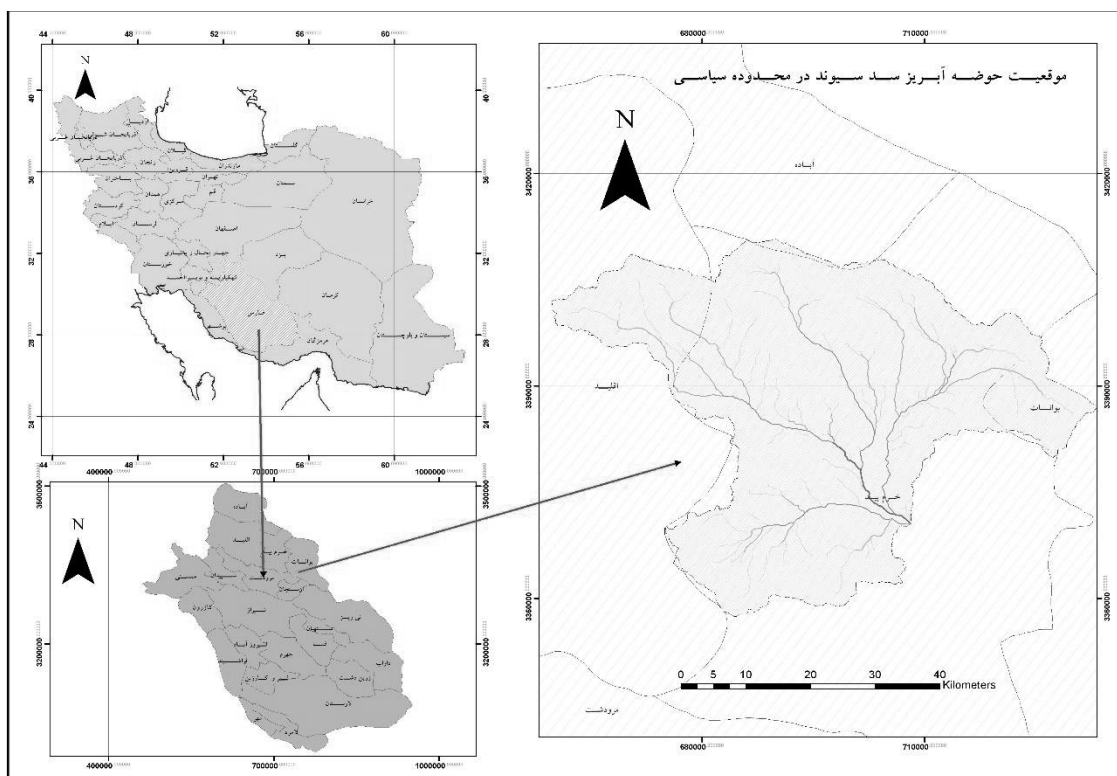
کشتزارهای آبی (حدود ۷/۳۹ تن در هکتار در سال) است (صادقی و همکاران، ۱۳۸۴). برآورد فرسایش خاک با استفاده از مدل RUSLE در حوضه زیارت از زیرحوزه‌های قره‌سو در گرگان نشان داد که میانگین مقدار فرسایش خاک برابر ۷/۵ تن در هکتار در سال است (رضایی و همکاران، ۱۳۸۶).

در منطقه مورد مطالعه، موقعیت ویژه و حساس طبیعی و فرهنگی از جمله آثار تاریخی پاسارگاد و جاذبه‌های طبیعی، خاک حاصل‌خیز و وجود رودخانه سیوند باعث شده است که این حوضه جاذب خوبی برای جمعیت شود. وجود چند شهر پرجمعیت مانند قادرآباد، خرمی و صفاشهر، منجر به استفاده بیش از حد توان اراضی در این حوضه آبخیز شده است که فقدان مدیریت درست و کشاورزی بدون وقفه و کشت چند نوبته بر این مشکل افزوده است. این امر باعث ایجاد اختلال در سامانه‌های طبیعی حوضه و عدم تعادل طبیعی آن شده است. به طوری که خاک نمی‌تواند مثل گذشته مقاومت خود را حفظ کند و این امر باعث شده خاک در برابر عوامل فرسایش بسیار شکننده و حساس شود و روز به روز از توان خاک منطقه کاسته شده و میزان فرسایش افزایش یابد. از طرف دیگر وجود سد سیوند در دهانه حوضه، اهمیت مطالعه و ضرورت مدیریت بهینه را افزوده است. بنابراین، با توجه به مسأله فوق هدف اصلی این تحقیق بررسی میزان فرسایش در حوضه آبخیز سیوند طی دوره ۱۹۹۸ تا ۲۰۰۹ با استفاده از مدل RUSLE و پی بردن به مناطق حساس از نظر فرسایش می‌باشد.

۳- مواد و روش‌ها

ویژگی‌های عمومی منطقه مورد مطالعه

حوضه آبخیز سیوند با مساحت ۴۹۴۷۳۲ هکتار در استان فارس در حوضه سیاسی شهرستان‌های مرودشت، خرم‌بید و بوانات قرار دارد و از نظر موقعیت جغرافیایی نیز بین "۱۷' ۵۶" ۲۹° تا "۳۴' ۵۰" ۳۰° عرض شمالی و "۲۶' ۴۲" ۵۲° تا "۴۸' ۴۶" ۵۳° طول شرقی واقع شده است. حداکثر ارتفاع حوضه ۳۹۱۱ متر و حداقل ارتفاع در خروجی برابر ۱۷۸۴ متر از سطح دریا می‌باشد. حوضه مورد مطالعه از آب و هوای نیمه‌خشک تا مرطوب و شرایط حرارتی معتدل تا سرد به چشم می‌خورد. میانگین بارندگی سالیانه در حوضه بین ۲۰۰ میلی‌متر در جنوب و جنوب‌شرقی و حدود ۷۰۰ میلی‌متر در ارتفاعات می‌باشد. رودخانه سیوند از ارتفاعات کوه سفید در جنوب اقلید فارس سرچشمه گرفته و پس از عبور از دشت پاسارگاد از تنگه بلاغی عبور نموده و وارد دشت مرودشت می‌شود. از مراکز جمعیتی حوضه می‌توان به شهرهای صفاشهر و قادرآباد و روستاهای مبارک‌آباد، الوردی، مادر سلیمان، دشت مرغاب، خورجان، سیمکان و همچنین منطقه توریستی پاسارگاد اشاره نمود.



شکل ۱- موقعیت جغرافیایی منطقه مورد مطالعه (منبع: نگارندگان)

داده‌ها و ابزارهای مورد استفاده در پژوهش شامل: لایه‌های رقومی ۱:۲۵۰۰۰ سازمان نقشه برداری کشور، DEM ASTRM^۱ ۳۰ متری، داده‌های سازمان هواشناسی کشور (بارندگی روزانه، ماهانه، سالانه)، تصاویر ماهواره‌ای TM-ETM از سایت www.gilovis.usgs.com، لایه‌های رقومی نقاط و آبادی‌های کشور و نقشه خاکشناسی حوزه مورد مطالعه از سازمان جنگل‌ها و مراتع کشور می‌باشد.

جدول ۱- مشخصات تصاویر ماهواره‌های لندست (ETM، TM)

ماهواره	سنجنده	قدرت تفکیک	تعداد باندها	سال تصویربرداری
Land sat	TM	۲۸/۵ متر	۵	۱۹۹۸/۰۵/۱۵
Land sat	ETM	۲۸/۵ متر	۵	۲۰۰۹/۰۵/۱۷

در این پژوهش از نرم‌افزارهای Arc GIS جهت ترسیم نقشه‌ها و تحلیل‌های مرتبط به آن؛ ERDAS جهت استخراج و پردازش تصاویر ماهواره‌ای و SPSS و EXCEL جهت بدست آوردن روابط رگرسیونی معادلات بهره‌گیری شده است.

¹ Digital Elevation Model

روش تحقیق

معادله RUSLE

این فرمول پس از ۳۰ سال مطالعه در مورد فرسایش آبی در ۴۶ ایستگاه تحقیقاتی در ۲۶ ایالات مختلف آمریکا با شرایط مختلف جغرافیایی و آب و هوایی، با در نظر گرفتن نتایج بررسی‌های دیگران به دست آمده است. این معادله به فرمول جهانی فرسایش خاک معروف است: (رفاهی، ۱۳۸۲)

$$A=R*K*L*S*C*P \quad (1)$$

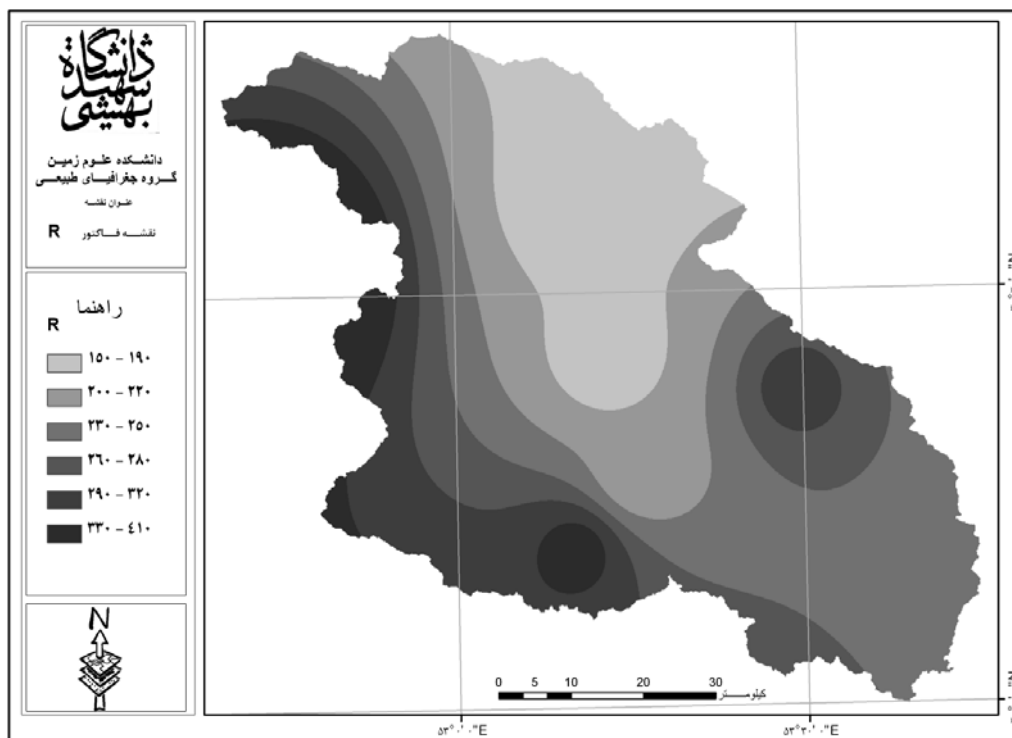
A: مقدار خاک فرسایش یافته به وسیله فرسایش ورقه‌ای و شیاری بر حسب جرم در واحد سطح در واحد زمان، R: عامل فرساینده‌گی بارندگی، K: عامل فرسایش‌پذیری خاک است و حساسیت ذاتی خاک را مشخص می‌کند، L: عامل طول شیب، S: عامل درجه شیب زمین، C: عامل پوشش گیاهی و P: عامل حفاظت خاک می‌باشد.
A: بر حسب تن در هکتار در سال، R: بر حسب مگاژول میلی‌متر در هکتار ساعت سال، K: بر حسب تن ساعت بر مگاژول بر میلی‌متر، و L, S, C, P بدون واحد هستند (Renard et al, 1997).

عامل فرساینده‌گی بارندگی (R):

عامل فرساینده‌گی باران عبارت است از ضریبی است که نشان‌دهنده توان فرسایش‌زایی خاک توسط باران بوده (Szilassi et al, 2006). در اینجا به دلیل در دسترس نبودن آمارهای مربوط به ایستگاه‌های باران‌سنج ثابت (ایستگاه‌هایی که اطلاعات شدت بارندگی را هم ثبت می‌کنند) از معادله‌ای که توسط Wischmeier و Smith که در سال ۱۹۷۸ ارائه شده ضریب فرساینده‌گی باران محاسبه گردیده است.

$$R = \sum_{i=1}^{12} 1.735 * 10^{(1.5 * \log_{10}(p_i^2 / p) - 0.08188)} \quad (2)$$

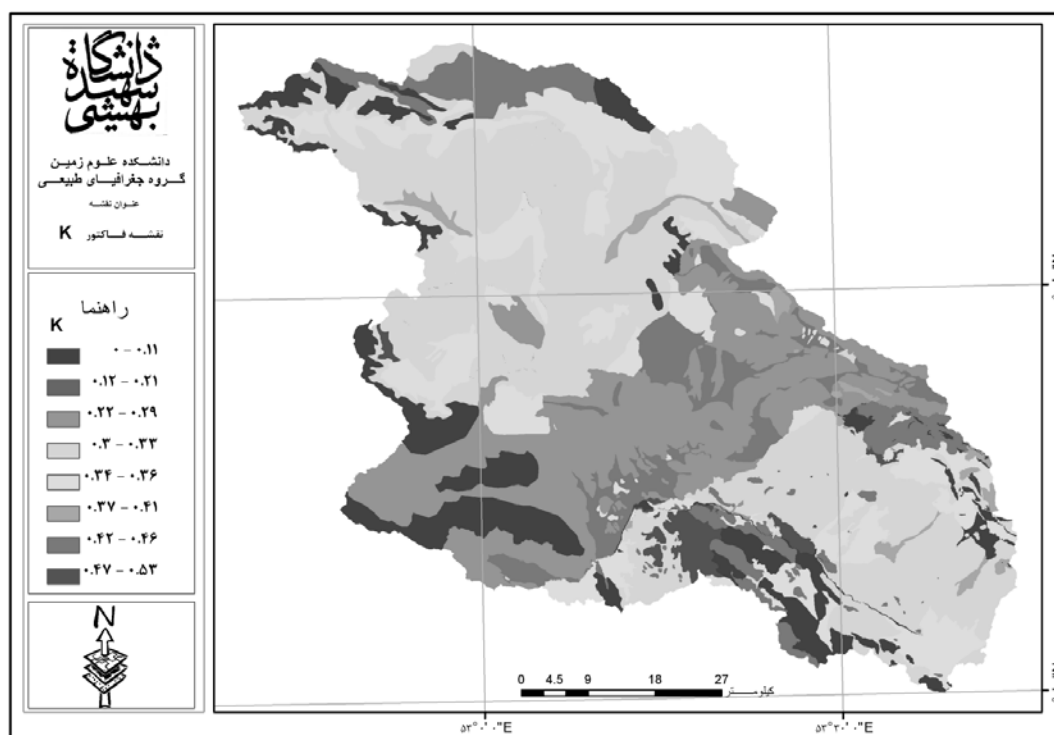
برای بدست آوردن مقدار R از آمار ۱۴ ایستگاه در یک دوره ۱۰ ساله (۱۳۷۲ تا ۱۳۸۲) استفاده گردید که میانگین ۱۲ ماهه به صورت مجزا برای ده سال به دست آمد و یک بار نیز همین عمل را برای مجموع داده‌های بارش سالانه انجام شد و میانگین سالانه استخراج گردید. سپس با روش درون‌یابی IDW نقشه‌های هم‌باران ماهانه و سالانه تهیه گردید. در نهایت طبق معادله، نقشه‌های هم‌باران ماهانه و سالانه در محیط GIS در فرمول قرار داده شدند که این فرمول ۱۲ بار برای تک‌تک ماه‌های سال اجرا گردید و در قسمت Calculate Raster نقشه‌های هم‌باران ۱۲ ماه جمع گردیدند. نقشه نهایی نشان دهنده ضریب فرساینده‌گی باران است (شکل ۲).



شکل ۲- ضریب فرساینده‌گی باران (منبع: نگارندگان)

عامل فرسایش پذیری خاک (K)

فرساینده‌گی خاک، یعنی مقاومت خاک در برابر جدا شدن و مقاومت ذرات در برابر انتقال (Shi, 2002). برای به دست آوردن عامل K نیاز به پنج پارامتر خاک شامل نفوذپذیری، بافت خاک، درصد شن، درصد سیلت و درصد مواد آلی می‌باشد. ضریب نفوذپذیری خاک از روی نقشه واحدهای هیدرولوژی منطقه به دست آمده که نشان‌دهنده حداقل سرعت نفوذپذیری خاک در حالت مرطوب بودن طولانی مدت آن خاک می‌باشد. سایر ویژگی‌های خاک از طریق گزارش خاک‌شناسی منطقه استخراج شدند. پس از آنکه این پنج پارامتر استخراج و رقمی گردیدند، از طریق نمودار تعیین حساسیت فرسایش پذیری خاک که توسط Wischmeier و Smith که در سال ۱۹۷۸ ارائه شده است، می‌توان مقدار K را به دست آورد (Hyeon, 2006). در این پژوهش برای کل حوزه و با توجه به نوع خاک‌های موجود، ضریب K به دست آمد و در نهایت بر روی نقشه خاک منطقه اعمال گردید که نشان‌دهنده پراکنش ضریب فرساینده‌گی خاک منطقه می‌باشد (شکل ۳).



شکل ۳- حساسیت فرسایش پذیری خاک (منبع: نگارندگان)

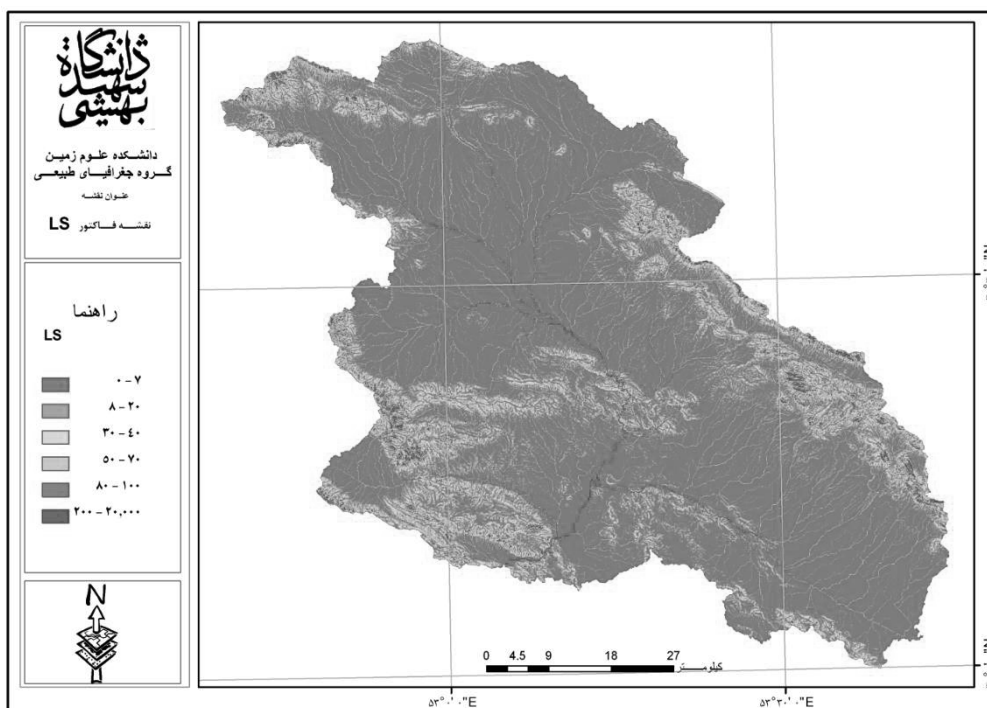
عامل شیب و طول شیب (LS):

برای تهیه نقشه طول شیب نیاز به مدل رقومی ارتفاعی (نقشه DEM) می‌باشد که هدف از آن یک مدل رستری است که بتوان ویژگی‌های توپوگرافی حوزه را تحلیل کرد زیرا طول شیب و درجه شیب پارامترهایی سه بعدی هستند که با طول و عرض و ارتفاع شناخته می‌شوند. DEM مورد استفاده در این پژوهش بر اساس DEM ASTRM با اندازه پیکسل‌های ۳۰ متری انتخاب شده است. با استفاده از DEM منطقه در محیط Arc GIS، در قسمت extension Arc Hydro تحلیل‌های مربوط به ویژگی‌های فیزیکی از جمله طول شیب حوزه بدست آمد. همچنین درجه و درصد شیب حوزه از روی DEM منطقه استخراج گردید که در قسمت تحلیل مکانی^۱ به دست آمد. به طور کلی می‌توان هر یک از عوامل طول شیب و درجه شیب را به طور جداگانه ارزیابی نمود و برای هر یک مقدار عددی مستقل مشخص نمود، اما از نظر کاربردی معمولاً طول و درجه شیب را با هم در نظر می‌گیرند که آن را با علامت LS نشان می‌دهند. در واقع وقتی طول و درجه شیب هر دو زیاد باشند مقدار فرسایش قابل انتظار بیش تر و اگر هر دو کوچک باشند فرسایش کمتر است (Paidam, 2011). مقدار LS با استفاده از فرمول زیر محاسبه می‌شود (احمدی، ۱۳۸۸).

$$LS = \frac{\sqrt{L}}{22.13} (0.065 + 0.045 * S + 0.0065 * S^2) \quad (3)$$

که L طول شیب بر حسب متر و S درجه شیب زمین می‌باشد. در نهایت با قرار دادن مقادیر در فرمول بالا نقشه LS تهیه گردید. (شکل ۴).

¹ Spatial Analys



شکل ۴- عامل شیب و طول شیب (منبع: نگارندگان)

عامل پوشش گیاهی (C) :

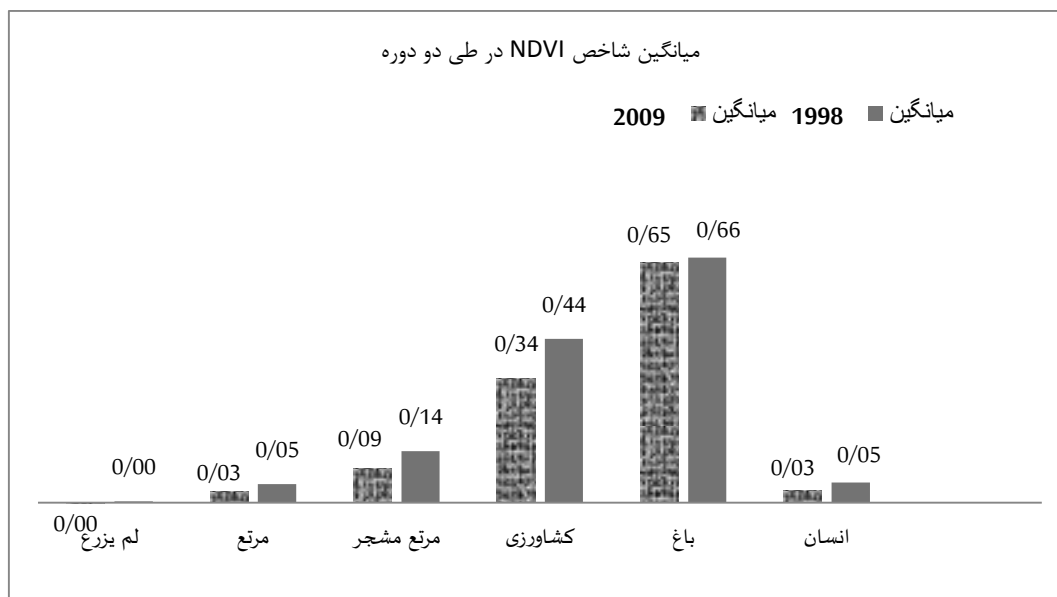
عامل C اثر گیاهان، پوشش خاک، هوموس خاک و فعالیت های موجودات خاک بر روی فرسایش را نشان می‌دهد. جهت به‌دست آوردن عامل C نیاز به نقشه پوشش گیاهی است (Karaburun & Demirci, 2011; Alejandro, 2007). که این نقشه از طریق تصاویر ماهواره‌ای ETM, TM و با استفاده از نقشه تراکم پوشش گیاهی (NDVI) به دست می‌آید (Ahmet, 2010). نقشه تراکم پوشش گیاهی منطقه با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای LANDSAT برای سال‌های ۱۹۹۸-۲۰۰۹ بعد از تصحیح هندسی تصاویر با نقشه‌های ۱:۲۵۰۰۰ سازمان نقشه‌برداری و با استفاده از فرمول NDVI در منطقه مورد مطالعه در محیط ERDAS استخراج گردید.

$$NDVI = \frac{IR-R}{IR+R} \quad (۴)$$

دامنه تغییرات پوشش گیاهی بین +۱ و -۱ می‌باشد که هر چه این عدد به ۱ نزدیک‌تر باشد نشان‌دهنده پوشش گیاهی بیشتری می‌باشد. +۱ نشان‌دهنده تراکم زیاد پوشش گیاهی و -۱ نشان‌دهنده تراکم کم می‌باشد (علوی پناه، ۱۳۸۵). بین شاخص NDVI و ضریب C یک همبستگی کامل وجود دارد (Ahmet, 2010). بدین معنی که با افزایش شاخص NDVI ضریب C کاهش می‌یابد. هر چه این ضریب کاهش پیدا کند بدین معنی است که در حوزه پوشش گیاهی بیشتر است و فرسایش کمتری در حوضه صورت می‌گیرد. لذا برای به دست آوردن ضریب C یک رابطه رگرسیونی بین شاخص NDVI و C ایجاد شده که متغیر ثابت ما شاخص NDVI و متغیر مستقل ما ضریب C می‌باشد.

$$Y = -0.5X + 0.505 \quad (۵)$$

سپس در محیط GIS در قسمت Raster به جای X نقشه NDVI جایگزین گردید و ضریب C مربوط به سال‌های ۱۹۹۸-۲۰۰۹ به‌دست آمد (شکل‌های ۵ و ۷).



شکل ۵- نمودار میانگین شاخص NDVI در طی دوره ۱۹۹۸ تا ۲۰۰۹ (منبع: نگارندگان)

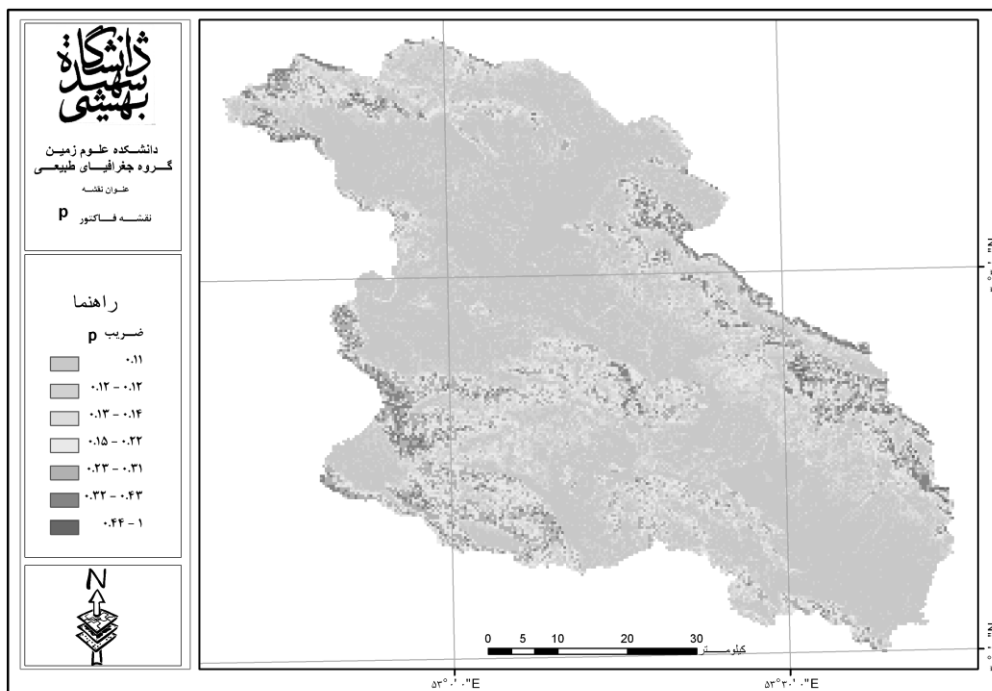
عامل حفاظت خاک (P):

عامل حفاظت خاک عبارت است از نسبت مقدار خاک از بین رفته در واحد سطح یک زمین حفاظت شده؛ به زمینی که لخت بوده و در جهت بالا و پایین تندترین شیب، شخم زده شود. منظور از کارهای حفاظتی، بیشتر کشت در روی خطوط تراز، کشت نواری و ترانس‌بندی، درخت‌کاری، جلوگیری از قطع بی‌رویه درختان و جلوگیری از چرای بی‌رویه دام است. اگر هیچ‌گونه عملیات حفاظتی انجام نگردد P برابر با یک خواهد بود. مقدار P را می‌توان بر اساس شیب منطقه هم به دست آورد هر چه شیب کمتر باشد نیاز به عملیات حفاظتی کمتر می‌شود. رابطه بین شیب و مقدار P در جدول شماره (۲) آمده است (Shi, 2002).

جدول ۲- مقدار P محاسبه شده توسط محققین

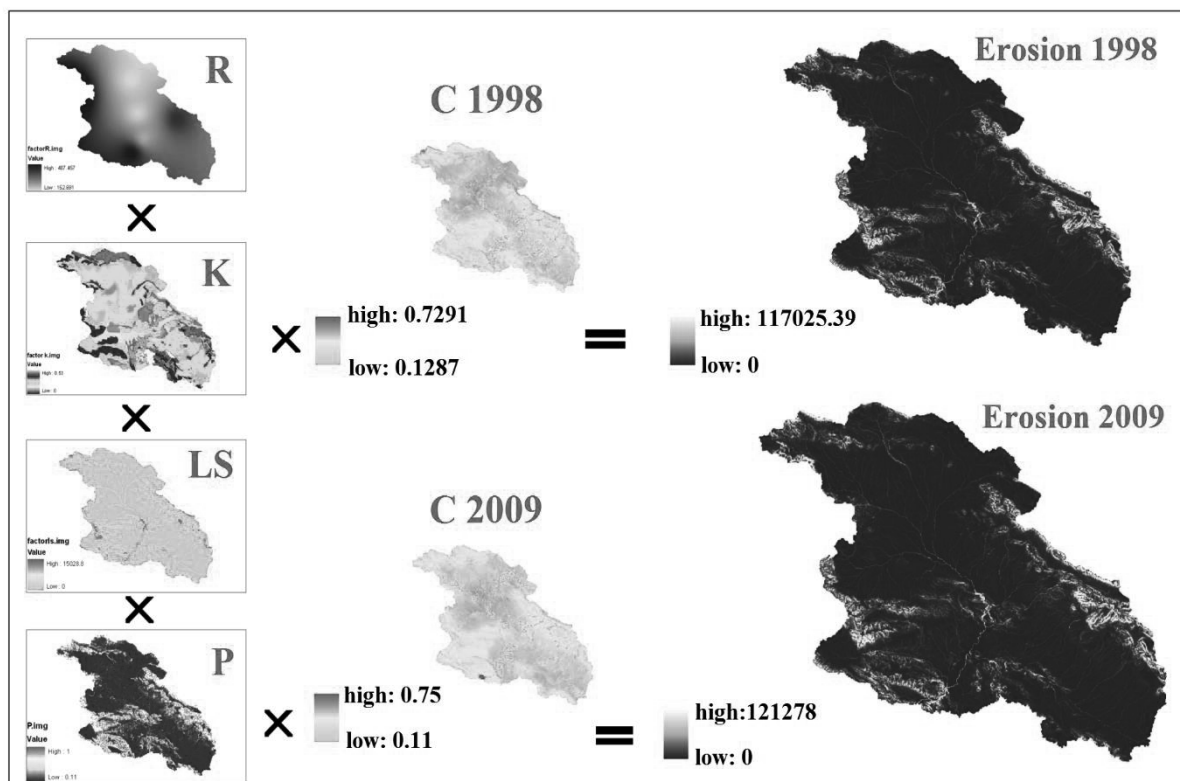
مقدار P	درصد شیب
۰/۱۶	۲-۱
۰/۱۵	۵-۳
۰/۱۵	۸-۶
۰/۱۶	۱۲-۹
۰/۱۷	۱۶-۱۳
۰/۱۸	۲۰-۱۷
۰/۱۹	۲۵-۲۱

منبع: Shi, 2002



شکل ۶- عملیات حفاظتی خاک (منبع: نگارندگان)

در معادله جهانی خاک چون تغییرات کاربری سال های ۱۹۹۸ و ۲۰۰۹ بررسی می شود تمام عامل های معادله جهانی خاک در این دوره ثابت هستند ولی عامل C به دلیل این که نحوه استفاده از زمین و تغییرات کاربری را نشان می دهد، به عنوان عاملی مستقل و متغیر در نظر گرفته شده است و این فرمول دو بار اجرا شد یک بار برای سال ۱۹۹۸ که در این سال نقشه پوشش گیاهی و شاخص NDVI سال ۱۹۹۸ جایگزین عامل C شد و برای سال ۲۰۰۹ به جای عامل C، نقشه پوشش گیاهی NDVI سال ۲۰۰۹ جایگزین شد. در نهایت برای تهیه نقشه فرسایش حوزه، عامل های مذکور را در ضریب C مربوط به سال ۱۹۹۸ ضرب کرده و نقشه فرسایش خاک سال ۱۹۹۸ از این طریق تهیه گردید. همچنین با ضرب پارامترهای فوق در ضریب C مربوط سال ۲۰۰۹ نقشه فرسایش سال ۲۰۰۹ تهیه گردید (شکل ۷).

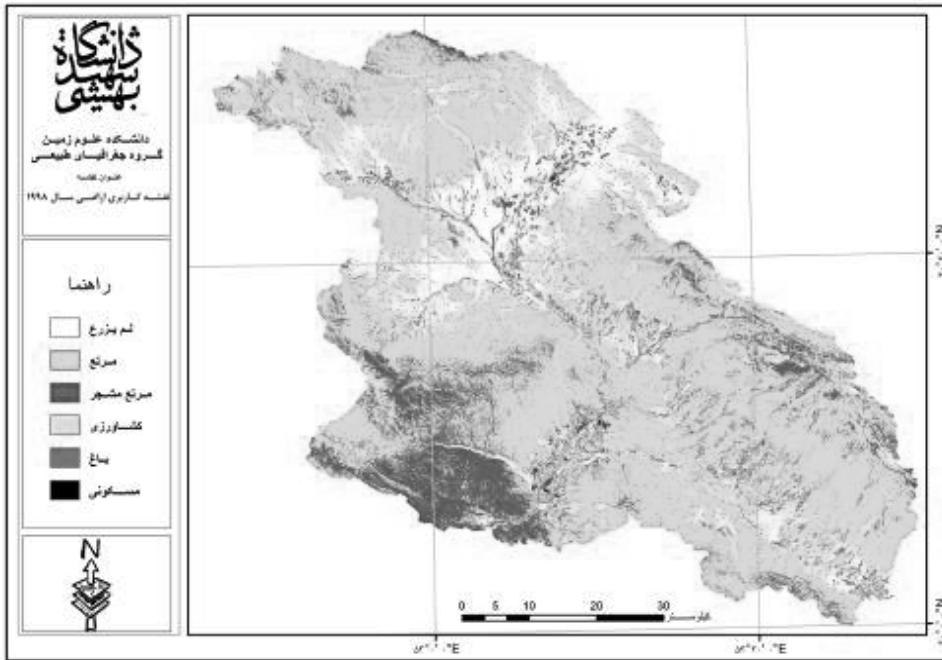


شکل ۷- مدل تهیه نقشه فرسایش خاک حوزه آبخیز سیوند (منبع: نگارندگان)

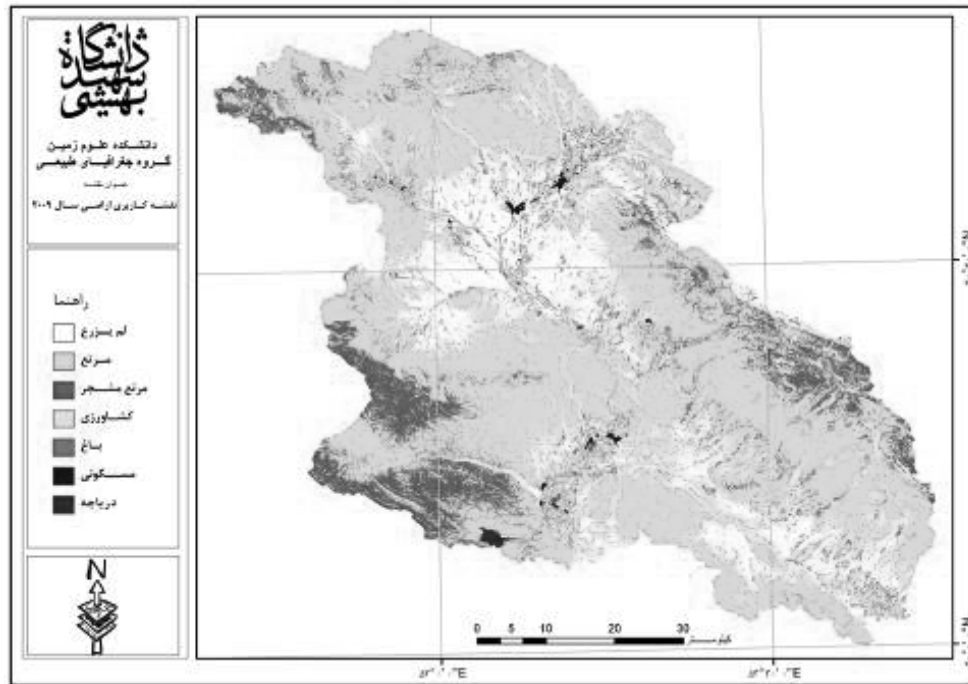
روش بررسی تغییرات کاربری اراضی بر روی فرسایش

به منظور بررسی تغییرات کاربری اراضی در حوزه آبخیز سیوند، تصاویر ماهواره‌ای برای دو دوره ۱۹۹۸ و ۲۰۰۹ تهیه گردید. جهت طبقه‌بندی تصاویر از روش طبقه‌بندی هیبرید^۱ (طبقه‌بندی نظارت نشده و نظارت شده) استفاده شده است. ابتدا از طبقه‌بندی نظارت نشده تصاویر هر دوره به ۷۰ کلاس طبقه‌بندی شدند که هدف این کار جهت انتخاب پیکسل‌های نمونه جهت انجام طبقه‌بندی نظارت شده می‌باشد. سپس با استفاده از نقاط نمونه‌برداری شده در سطح حوضه به وسیله GPS، جهت کنترل کاربری‌ها بر روی تصویر و تطبیق نقاط میدانی با تصاویر ماهواره‌ای و طبقه‌بندی نظارت شده، اقدام به استخراج کاربری‌ها شد که ۶ کلاس کاربری برای سال ۱۹۹۸ و ۷ کلاس کاربری برای سال ۲۰۰۹ از نقشه استخراج شد (در سال ۲۰۰۹ دریاچه سد سیوند هم به کاربری‌ها اضافه شده که به نام دریاچه اختصاص داده شده است) (شکل‌های ۸ و ۹). جهت بررسی تغییرات کاربری اراضی بر روی فرسایش و مشخص کردن میزان فرسایش ناشی از تغییرات کاربری اراضی، بین نقشه کاربری اراضی و نقشه فرسایش در محیط GIS با استفاده از دستور Extensions Zonal Statistic، نقشه فرسایش و کاربری اراضی هر دو دوره بصورت مجزا روی هم قرار داده شدند و تأثیر تغییرات کاربری اراضی بر روی فرسایش مورد ارزیابی قرار گرفت.

¹ Hybrid



شکل ۸- کاربری اراضی حوزه رود سیوند سال ۱۹۹۸ (منبع: نگارندگان)



شکل ۹- کاربری اراضی حوزه رود سیوند سال ۲۰۰۹ (منبع: نگارندگان)

۴- نتایج

۱- تغییرات کاربری اراضی حوزه آبخیز طی دوره ۱۹۹۸-۲۰۰۹:

با توجه به جدول شماره (۳) کاربری‌ها در طی ۱۱ سال تغییرات قابل توجهی داشته‌اند. در بین کاربری‌ها بیش‌ترین تغییر را کاربری مسکونی (انسانی) داشته است که با ۱۳۹ درصد تغییرات دارای رده اول در تغییرات است. این کاربری در سال ۱۹۹۸ از ۵۷۰/۲۴ هکتار به ۱۳۶۲/۸۷ هکتار در سال ۲۰۰۹ افزایش پیدا کرده است. در بین کاربری‌ها کم‌ترین درصد تغییرات نسبت به مساحت کاربری مربوط به اراضی مرتعی است که با ۵/۶۰ درصد تغییرات دارای روند کاهشی منفی بوده است که از ۳۳۵۹۲۵/۳۶ هکتار در سال ۱۹۹۸ به ۳۱۷۱۰۲/۱۳ هکتار در سال ۲۰۰۹ کاهش پیدا کرده است. اراضی مرتعی در سال ۱۹۹۸ به طور میانگین ۶۷/۸۹ درصد مساحت حوزه را به خود اختصاص داده‌اند که در سال ۲۰۰۹ این مقدار به ۶۴/۰۹ درصد رسیده است. که این مقدار (۵/۶-) درصد کاهش یافته است. از میان کل کاربری‌ها، مساحت کاربری‌های باغ، مرتع مشجر و مرتع کاهش و مساحت کاربری‌های کشاورزی، لم‌یزرع و مسکونی افزایش یافته است. در بین این کاربری‌ها یکی از تغییرات اساسی که در حوزه رخ داده است احداث و آبیگری سد سیوند است که خود باعث شده است ۰/۱۳ درصد مساحت حوزه را در سال ۲۰۰۹ به خود اختصاص بدهد. بیش‌ترین درصد کاربری دریاچه سد قبلاً به زمین‌های کشاورزی اختصاص داده شده بود. در طی این دوره بیش‌ترین کاربری‌ها مختص به اراضی مرتعی بوده است و کم‌ترین کاربری‌ها در طی این دوره مختص به اراضی باغی بوده است.

جدول ۳- درصد مساحت کاربری‌های اراضی طی دوره ۱۹۹۸ تا ۲۰۰۹

سال	۱۹۹۸	۲۰۰۹
کاربری	مساحت به هکتار	درصد
لم‌یزرع	۸۰۴۱۵/۸۱	۱۶/۲۵
مرتع	۳۳۵۹۲۵/۳۶	۶۷/۹
مرتع مشجر	۶۴۹۲۱/۰۵	۱۳/۱۲
کشاورزی	۱۲۶۰۴/۰۵	۲/۵۵
باغ	۳۱۹/۶۸	۰/۰۶
مسکونی (انسانی)	۵۷۰/۲۴	۰/۱۲
دریاچه		۶۷۱/۶۷

(منبع: نگارندگان)

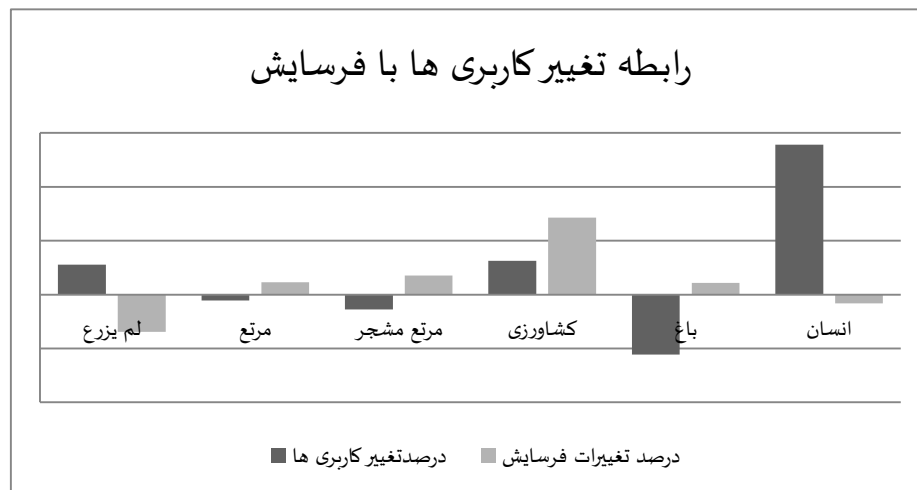
۲- برآورد فرسایش حوزه طی دوره ۱۹۹۸-۲۰۰۹:

فرسایش حوزه در طی این دوره ۱۱ ساله تغییرات قابل توجهی داشته است به طوری که میزان فرسایش در سال ۱۹۹۸ در کل حوضه ۴۰۶۱۷۲۳۸۹ تن بوده است که این مقدار در سال ۲۰۰۹ به ۴۱۶۳۶۴۳۷۷ تن رسیده است. در این دوره میزان فرسایش در کل حوزه به ۱۰۱۹۱۹۸۸ تن افزایش پیدا کرده است. این میزان افزایش به طور میانگین ۱/۸۷ تن در هکتار در سال می‌باشد. نتایج نشان می‌دهد که بیش‌ترین فرسایش مربوط به اراضی مرتعی مشجر است که میانگین فرسایش آن در سال ۱۹۹۸، ۱۴۵ تن در هکتار بوده است که در طی ۱۱ سال این مقدار در سال ۲۰۰۹ به ۱۷۰/۸۹ تن رسیده است. میزان فرسایش نیز در اراضی مرتعی از حدود ۶۷ تن در هکتار به حدود ۷۵ تن در هکتار افزایش یافته است. همچنین میزان فرسایش در زمین‌های لم‌یزرع از ۵۷ تن در هکتار در سال ۱۹۹۸ به میانگین ۳۷/۲۴ تن در سال ۲۰۰۹ رسیده است که از میزان فرسایش کاسته شده است. بطور کلی طی این دوره، میزان فرسایش در کاربری‌های مرتع مشجر، کشاورزی، مرتع و باغ افزایش، در کاربری‌های زمین‌های لم‌یزرع و انسانی کاسته شده است (جدول ۴).

جدول ۴- میانگین فرسایش بر حسب تن در هکتار در طی دوره مورد مطالعه

میانگین میزان فرسایش بر حسب (تن در هکتار)		کاربری
۲۰۰۹	۱۹۹۸	
۳۷/۲۴	۵۷	لم یزرع
۷۴/۶۰	۶۶/۹۵	مرتع
۱۷۰/۸۹	۱۴۵/۲۱	مرتع مشجر
۳۳/۴۴	۱۹/۵۰	کشاورزی
۶/۲۷	۵/۶۰	باغ
۱۱/۲۱	۱۲/۲۰	انسان
		دریاچه

همچنین با در نظر گرفتن تغییرات مساحت کاربری‌ها و تغییرات فرسایش می‌توان گفت که در بین کاربری‌ها تنها کاربری که رابطه افزایش کاربری و افزایش فرسایش در آن یک رابطه مستقیم دارد کاربری کشاورزی است. این نشان دهنده این است که هر چه کشاورزی افزایش پیدا کند میزان فرسایش هم در آن افزایش پیدا کرده است. همچنین با کاهش کاربری‌های مرتع مشجر، مرتع و باغ فرسایش در آنها افزایش پیدا کرده است. اما این رابطه در مناطق لم یزرع و مسکونی یک رابطه معکوس است. در این کاربری هر چه مساحت آن افزایش پیدا می‌کند فرسایش در آن کم می‌شود. شدیدترین نوع رابطه در این رابطه مربوط به زمین‌های کشاورزی است که با افزایش اراضی کشاورزی مقدار فرسایش ۱۲۷/۴۳ درصد افزایش پیدا داشته است (شکل ۱۰).



شکل ۱۰- نمودار رابطه تغییرات کاربری اراضی با فرسایش (منبع: نگارندگان)

۵- بحث و نتیجه‌گیری

با مقایسه بارندگی‌ها در طی دوره مورد مطالعه و با توجه به اینکه بارندگی حوزه در طی این مدت، تغییر آن چنان محسوسی نکرده است می‌توان نتیجه گرفت که افزایش تغییرات فرسایش، ناشی از عامل دیگری بوده است که باعث شده تا ضریب فرسایش‌پذیری باران را افزایش دهد و باعث ایجاد فرسایش بیش‌تری در حوزه شود. از پارامترهای دیگری که در میزان فرسایش تأثیر می‌گذارد شیب، طول شیب و نوع خاک است که در فرسایش نقش به‌سزایی دارد اما چون پارامتر ثابت می-

باشند، تعیین کننده میزان تغییرات فرسایش در این دوره نیستند. بنابراین عامل دیگری باعث شده که خاک و شیب حساس شوند و باعث افزایش فرسایش گردد. پوشش گیاهی مهم‌ترین مانع در برابر فرسایش می‌باشد. پوشش گیاهی عاملی است که نشان دهنده آثار ناشی از دخالت انسان است و هنگامی که سایر متغیرها ثابت هستند می‌توان تأثیر آن را بر میزان از دست رفت خاک مشاهده کرد. هر چه پوشش گیاهی کم‌تر شود باعث تولید فرسایش بیش‌تری می‌شود و برعکس. با مقایسه شاخص NDVI در حوزه، برای سال‌های ۱۹۹۸ و ۲۰۰۹ متوجه می‌شویم میانگین NDVI منطقه در سال ۱۹۹۸، (۰/۰۶) بوده است که در سال ۲۰۰۹، به (۰/۰۳) کاهش پیدا کرده است و به‌طور میانگین پوشش گیاهی در منطقه ۰/۳۸ درصد کاهش پیدا کرده است. با مطالعه بارندگی حوزه متوجه خواهیم شد که این کاهش ناشی از کاهش بارندگی نبوده است بلکه ناشی از تخریب طبیعت و استفاده بی‌رویه از کاربری‌هاست که باعث کاهش پوشش گیاهی شده است. یکی از دلایل این کاهش استفاده غیر استاندارد و بیش از ظرفیت از کاربری‌های بوده است. فرسایشی که از کمبود پوشش گیاهی حاصل می‌شود به دو دلیل صورت می‌گیرد؛ یکی تغییرات کاربری‌هاست، هنگامی که سطح زمین از یک کاربری به کاربری دیگر تغییر می‌کند. با تغییر در سیستم خاک و فعل و انفعالات شیمیایی خاک، از میزان مواد آلی خاک کاسته می‌شود و خاک قابلیت حاصل‌خیزی خود را از دست می‌دهد و پوشش گیاهی کاهش پیدا می‌کند و دیگری کاهش ناشی از استفاده غیر معقول در همان نوع کاربری است که باعث می‌شود به مرور زمان لایه‌های سطحی خاک شسته شود و فرسایش یابد.

نتایج حاصل از فرسایش در هر یک از کاربری‌های (جدول شماره ۴) نشان می‌دهد که در اکثریت کاربری‌ها میزان فرسایش افزایش یافته است. برای مثال اراضی مرتع مشجر به چند دلیل نسبت به سایر اراضی به فرسایش حساس‌تر هستند اول اینکه این اراضی در ارتفاعات بالاتری قرار دارند و بارندگی در این مناطق نسبت به سایر کاربری‌ها بیش‌تر است و به همین دلیل قدرت و ضریب فرساینده‌گی باران بسیار بیش‌تر از سایر کاربری‌ها می‌باشد. دلیل دوم اینکه شیب این اراضی بسیار تندتر و بیش‌تر از سایر کاربری‌ها می‌باشد و به همین علت پس از بارش سریعاً رواناب جاری می‌شود و چون این کاربری‌ها مهم‌ترین و بهترین مکان برای زیست‌عشایر منطقه می‌باشند به دلیل وجود علوفه و هیزم بسیار جهت مصرف دام و استفاده ساکنین عشایر، خاک در سطح اراضی بسیار شکننده و حساس می‌شود و همین امر باعث می‌شود که با شروع بارش، رواناب با سرعت بیش‌تری تشکیل شود و خاک‌هایی که به وسیله دام‌ها و ساکنین منطقه تخریب شده‌اند به وسیله رواناب سریع‌تر انتقال پیدا کنند. افزایش جمعیت عشایری و نیاز به استفاده از چوب جهت تهیه غذا و سایر نیازهای روزمره باعث می‌شود که درختان و بوته‌ها روز به روز مورد استفاده بیش‌تر قرار گیرند و سطح زمین لخت شود و چون اراضی مرتعی مشجر در شیب‌های تندتری قرار دارند نسبت به فرسایش بسیار حساس باشند و این امر مهم‌ترین دلیل افزایش فرسایش در اراضی مرتعی مشجر نسبت به سایر کاربری‌ها می‌باشد. نتایجی که از تغییرات کاربری اراضی و به تبع آن افزایش فرسایش در طی این دوره ۱۱ ساله در حوزه آبخیز سیوند بدست آمد با نتایجی که Hofierka & Cebacauer, 2007 در اسلواکی بین سال‌های ۱۹۹۰ تا ۲۰۰۰، Kamlesh & Sharma, 2010 در حوضه مایتون در هند طی سال‌های ۱۹۸۹ تا ۲۰۰۴ و نبی لشکریان (۱۳۷۹) در حوزه آبخیز ماسوله بدست آوردند مطابقت دارد و همگی با مطالعه اثر تغییر کاربری اراضی بر روی فرسایش به این نتیجه رسیدند که تغییر کاربری‌ها باعث فرسایش قابل توجهی در سطح منطقه مطالعاتی گردیده است. بنابراین به‌طور کلی می‌توان نتیجه گرفت که دلیل اصلی که باعث شده است میزان فرسایش از سال ۱۹۹۸ تا ۲۰۰۹ در حوزه آبخیز سیوند افزایش داشته باشد کاهش پوشش گیاهی بوده است. دلیل کاهش و تخریب پوشش گیاهی را به طور کلی می‌توان ناشی از دو علت دانست. اولین علت افزایش جمعیت در حوزه می‌باشد به‌طوری که جمعیت حوزه در سال ۱۳۷۷ برابر با ۴۸۸۸۰ نفر بوده است که این میزان به ۶۵۰۹۲ نفر در سال ۱۳۸۸ رسیده است. با افزایش جمعیت نیازهای انسان به مواد غذایی کشاورزی و دامی بیش‌تر می‌شود و به تبع آن اراضی مرتعی به اراضی کشاورزی تبدیل می‌شوند که این اقدام خود باعث افزایش تغییر کاربری و استفاده از اراضی در شیب‌های تند و در نهایت افزایش فرسایش در حوزه می‌شود. علت دوم، چرای بی‌رویه و روش‌های غلط مرتع‌داری (چرای مفرط و بیش از حد دام، چرای زودتر از موعد، زیاد بودن طول مدت بهره‌برداری از مراتع و ...) در حوزه می‌باشد.

۵-مراجع

۱. احمدی، ح.، ۱۳۸۸. ژئومورفولوژی کاربردی، چاپ ششم، مؤسسه انتشارات دانشگاه تهران، ۶۸۸.
۲. آرخی، ص.، و ی. نیازی.، ۱۳۸۹. بررسی کاربرد GIS و RS برای تخمین فرسایش خاک و بار رسوب با استفاده مدل RUSLE (مطالعه موردی: حوضه بالادست سد ایلام). مجله پژوهش های حفاظت آب و خاک، جلد هفدهم، شماره ۲. ص ۲۷-۱.
۳. رضایی، م.، ش. قرقره چی.، غ.ر. قانعی مطلق.، و ش. ایوبی.، ۱۳۸۶. برآورد فرسایش خاک در حوضه زیارت با استفاده از مدل RUSLE. مجموعه مقالات دهمین کنگره علوم خاک ایران، کرج، پردیس کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه تهران، ۴ تا ۶ شهریور، ص ۱۱۶۳-۱۱۶۱.
۴. رفاهی، ح. ق.، ۱۳۸۲. فرسایش آبی و کنترل آن، چاپ چهارم، انتشارات دانشگاه تهران، ص ۶۷۱.
۵. سازمان جنگل ها، مراتع و آبخیزداری کشور، نقشه خاک شناسی حوزه رودخانه سیوند.
۶. سازمان نقشه برداری کشور، لایه های رقومی ۱:۲۵۰۰۰ مرتبط با حوزه آبخیز رودخانه سیوند.
۷. سازمان هواشناسی کشور، آمار و اطلاعات مربوط به بارش حوزه آبخیز سیوند (بارندگی های روزانه، ماهانه و سالانه)
۸. سایت www.gilovis.usgs.Com تصاویر ماهواره ای TM-ETM حوزه رودخانه سیوند (سال های ۱۹۹۸-۲۰۰۹)
۹. صادقی، س.ح.ر.، د. نیک کامی.، و خ. جلیلی.، ۱۳۸۴. فرمول بندی فرسایش خاک به منظور کاربری بهینه اراضی. مجموعه مقالات سومین همایش ملی فرسایش و رسوب، کرج. ۶ تا ۹ شهریور، ص ۷۵-۷۲.
۱۰. علوی پناه، س.ک.، ۱۳۸۵. کاربرد سنجش از دور در علوم زمین (علوم خاک). چاپ دوم، انتشارات دانشگاه تهران، ۷۸۰.
۱۱. مهدیان، م.ح.، ۱۳۸۴. بررسی وضعیت تخریب اراضی در ایران. مجموعه مقالات سومین همایش ملی فرسایش و رسوب، کرج ۶ تا ۹ شهریور، ص ۲۲۶-۲۳۱.
۱۲. نبی لشکریان، س.، ۱۳۷۹. بررسی اثرات کاربری اراضی در فرسایش خاک و رسوبدهی حوضه آبخیز ماسوله در گیلان. پایان نامه کارشناسی ارشد آبخیزداری. دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان. ص ۱۲۲.
13. Alejandro, M., and K. de Asis., 2007. Estimation of vegetation parameter for modeling soil erosion using linear Spectral Mixture Analysis of Landsat ETM data. *Journal of Photogrammetry & Remote Sensing*, 62:309-324.
14. Angima, S.D., D.E. Scott., M.K. O' Neill., C.K. Ong., and G.A. Weesies., 2003. Soil erosion prediction using RUSLE for central Kenyan highland condition. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 97: 295-308.
15. Cebecauer, T., and J. Hofierka., 2007. The consequences of land- cover changes on soil erosion distribution in Slovakia. *Geomorphology*, 98: 187-198.
16. Demirci, A., and A. Karaburun., 2011. Estimation of soil erosion using RUSLE in a GIS framework: a case study in the Buyukcekmece Lake watershed, northwest Turkey. *Environmental Earth Sciences*, vol 66 issue, p 903.
17. Hoyos, N., 2005. Spatial modeling of soil erosion potential in a tropical watershed of the Colombian Andes. *Catena*, 63: 85-108.
18. Hyeon Sik, K., 2006. Soil erosion modeling using RUSLE and GIS on the IMHA watershed, South Korea. Thesis. Colorado State University. *Water Engineering Research*, vol. 7, NO. 1
19. Jones, D.S., D.G. Kowalski., and B.S. Robert., 2008. Calculating Revised Universal Soil Loss Equation (RUSLE) Estimates on Department of Defense Lands: A Review of RUSLE Factors and U.S. Army Land Condition-Trend Analysis (LCTA) Data Gaps. Center for Ecological Management of Military Lands Department of Forest Science, Colorado State University Fort Collins, CO 80523.
20. Karaburun, A., 2010. Estimation of C factor for soil erosion modeling using NDVI in Buyukcekmece watershed. *Ozean Journal of Applied Sciences*, 3(1), 1943-2429.
21. Kinnell, P.I.A., 2000. AGNPS-UM: applying the USLE-ithin the agricultural non point source pollution model. *Environmental Modelling and Software*, 15: 3. 331-341.
22. Paidam, M., K. Vincent., and L. Kyoung Jae., 2011. Soil erosion risk assessment of the Keiskamma catchment, South Africa using GIS and remote sensing. *Environmental Earth Sciences*, DOI: 10.1007/S 12666- 0011- 1190-X, 1-16.
23. Renard, K.G., and J.R. Freidmund., 1994. Using monthly precipitation data to estimate the R-factor in the RUSLE, *J. Hydro*: 157: 287-306.



24. Renard, K.G., G.R. Foster., G.A. Weesies., D.K. McCool., and D.C. Yoder., 1997. Predicting soil erosion by water-a guide to conservation planning with the Revised Soil Loss Equation (RUSLE). United States Department of Agriculture, Agricultural Research Service (USDA-ARS) Handbook. United States Government Printing Office, Washington, DC, 703: 23-29.
25. Sharma, A., and N. Kamlesh., 2010. Effec of land use land cover change on soil erosion potential in a agricultural watershed .*Environ Monit Assess*, 173: 789-801.
26. Shi, Z.H., 2002. Assessment of Erosion Risk with the Rusle and Gis in the Middle and Lower Reaches of Hanjiang River. 12th ISCO Conference Beijing.
27. Szilassi, P., G. Jordan., A. van Rompaey., and G. Csillag., 2006. Impacts of historical land use changes on erosion and agricultural soil properties in the Kali Basin at Lake Balaton, ungary. *Catena*, 68:96-108.
28. Wischmeier, W.H., and D.D. Smith., 1978. Predicting rainfall erosion losses: a guide to conservation planning. Agriculture Handbook. US Department of Agriculture. Washington DC, 537: 13-27.