نشریه تحلیل فضایی مخاطرات محیطی، سال پنجم، شماره ۱، بهار ۱۳۹۷
صفحات : ۱۶-۱

ارزیابی کمی رسوب زایی زمین لغزش ها در حوضه آبخیز سدایلام

شمس اله عسگری دانشجوی دکتری دانشگاه خوارزمی و مربی بخش تحقیقات حفاظت خاک و آبخیزداری، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان ایلام، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، تهران
عزت الله قنواتی[1] دانشیار،گروه ژئومورفولوژی،دانشکده جفرافیا، دانشگاه خوارزمی،تهران، ایران.
صمد شادفر دانشیار، پژوهشکده حفاظت خاک و آبخیزداری، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی تهران،

دریافت مقاله: ۱۳۹۵/۱۲/۰۳ پذیرش نهایی: ۱۳۹۷/۰۲/۱۱

چکیده

ارزیابی کمی رسوب زایی زمین لغزش از مباحث جدید و مسائل پیچیده حوضه آبخیز می‌باشد. داشتن معلومات کافی از حجم دقیق زمین لغزش ها، میزان رسوب زایی زمین لغزش‌ها به ویژه در حوضه سد ایلام که حیات شهر ایلام و توابع آن به عمرسد ایلام وابسته است اهمیت و ضرورت تحقیق می‌باشد، با این فرض، که بخش عمده ای از رسوب تجمع یافته در سد ایلام مربوط به زمین لغزش‌های سطح حوضه است. بنایراین در این تحقیق ابتدا نقاط زمین لغزش با عملیات میدانی، تصاویر ماهواره‌ای ETM^+و Google Earth شناسایی شد. استفاده از مدل خود همبستگی فضایی موران نشان داد که زمین لغزش‌ها از الگوی خوشه‌ای برخوردارند بنابراین روابط متغیر وابسته زمین لغزش به متغیرهای مستقل در مدل منطق فازی، تحلیل شده تا علت الگوی خوشه‌ای زمین لغزش‌ها در سطح حوضه تبیین شود. جهت تدقیق نتایج کمی رسوب زایی زمین لغزش‌ها از مدل‌های تجربی برآورد فرسایش رسوب، مدل هیدرولوژیکی منحنی سنجه دبی و رسوب، آمار مشاهده‌ای رسوب در طول دوره آماری، زمان رخداد زمین لغزش در تطبیق با پیک رسوب ایستگاه هیدرومتری در طول دوره آماری محاسبات انجام شده است. داده‌های رسوب مشاهده‌ای و برآوردی سه زیر حوضه سرجوی گل گل، زیر حوضه چاویز و زیر حوضه اما(ملکشاهی) مقایسه شد. افزایش رسوب مشاهده‌ای در دو ایستگاه گل گل و چاویز نسبت به رسوب برآوردی و مقایسه پیک‌های رسوبی افزایش دبی رسوب نسبت به دبی آب در طول دوره آماری دلایلی بر رخدادهایی در سطح حوضه است. بر اساس آمار داده‌های آبی روزانه در طول دوره آماری ۲۹ ساله در ایستگاه هیدرومتری گل گل ۱۵۵۶۸۶۰ تن بار سوب معلق عبوری ثبت شده است از این مقدار ۸۹۴۰۷۸ تن بار رسوب معلق عبوری مربوط به۹رخداد زمین لغزش سال های ۱۳۶۶، ۱۳۷۲،۱۳۷۱، ۱۳۷۳، ۱۳۷۵،۱۳۷۶، ۱۳۷۸، ۱۳۸۰و۱۳۸۸ می‌باشد. طبق محاسبات نتیجه گرفته می‌شود که در زیرحوضه گل گل ۵۰/۳۷ درصد معادل ۹/۴ تن در هر هکتار در سال افزایش رسوب مربوط به رخدادهای زمین لغزش ذکر شده می‌باشد در نتیجه به میزان ۲۸/۲ تن رسوب در هر هکتار در یک سال وارد سد ایلام می‌شود. بر اساس آمار داده‌های آبی در طول دوره آماری ۱۳ ساله در ایستگاه هیدرومتری چاویز در کل دوره ۲۶۰۳۸۳ تن بار رسوب معلق عبوری ثبت شده است از این مقدار ۱۱۹۴۴۳ تن بار رسوب معلق عبوری مربوط به ۷ رخداد زمین لغزش سالهای، ۱۳۸۶،۱۳۸۳،۱۳۸۲، ۱۳۸۷، ۱۳۸۸ و ۱۳۹۴ می‌باشد. نتایج نشان داد که در زیرحوضه چاویز ۳۸/۲ درصد معادل ۴/۶ تن در هر هکتار در سال افزایش رسوب مربوط به رخدادهای زمین لغزش ذکر شده است در نتیجه به میزان ۱۵/۴ تن رسوب در هرهکتار دریک سال وارد سد ایلام شده است. در زیر حوضه اما (ملکشاهی) بدون رخداد زمین لغزش فعال افزایش رسوب در طول دوره مشاهده نشد. در مجموع ۱۲۳۷۳۱۴ تن رسوب دهی زمین لغزش‌ها وارد سد ایلام شده است.جهت کنترل این مخاطره اقدام مناسب توسط دستگاه اجرایی برای توسعه پایدار بکار گرفته شود.

---

[1]- نویسنده مسئول : ezghanavati@yahoo.com

واژه‌های کلیدی: ارزیابی، حوضه آبخیز سد ایلام، رسوب زایی، زمین لغزش، دبی آب- دبی رسوب.

مقدمه

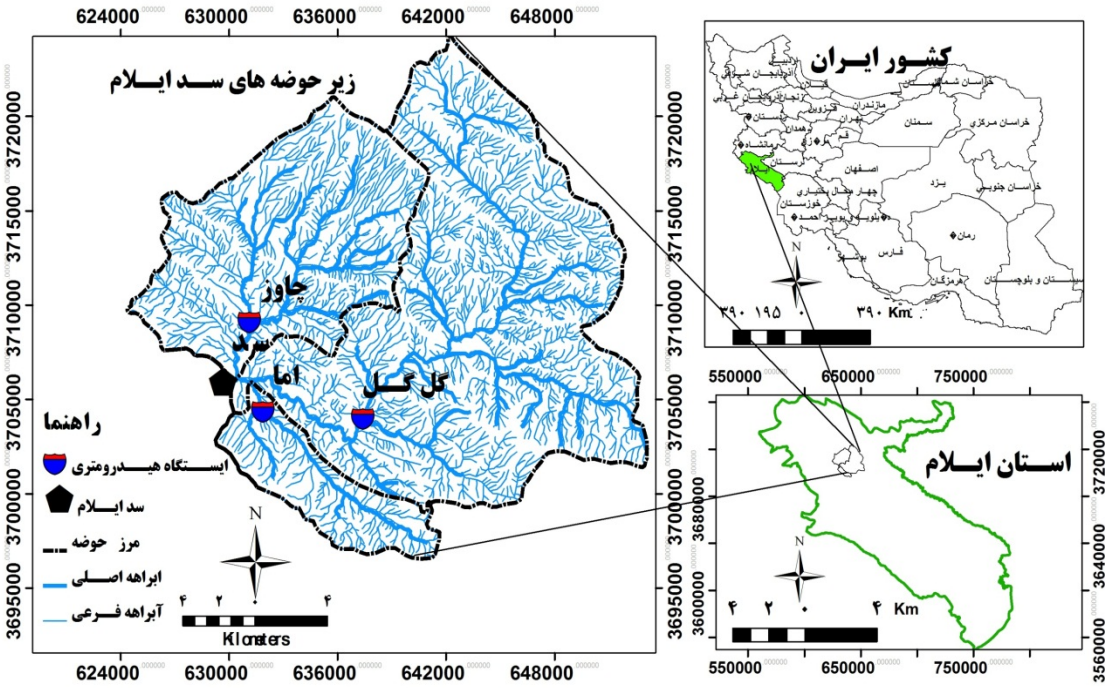
لغزش زمین بمانند دیگرعوامل طبیعی پدیده‌ای است که همواره بشر راتهدید نموده وخسارات جانی ومالی زیادی برای مناطق مختلف مستعد فراهم نموده است و درحال حاضر نقش زیادی درفرسایش خاک، حرکات توده‌ای خاک، جریانهای گلی دامنه‌ای وانباشت رسوب درمخازن پشت سدها دارد. با وجود اینکه نقش زمین لغزشها در فرسایش، انتقال رسوب و رسوبگذاری حوضههای لغزشخیز مورد تائید میباشد و متخصصین مختلف درک و تعیین رابطه بین ناپایداری دامنهها و سیستم فلوویال را از بسیاری جهات مهمتر از سایر زمینههای پژوهشی میدانند، چراکه براساس نتایج آن میتوان تغییرات زیست محیطی گسترده بوجود آمده را ارزیابی کرد، ولی در این رابطه پژوهشهای جامع در مقیاس حوضههای آبخیز بسیار کم انجام شده است (Harvey ۲۰۰۲). برخی از پژوهشگران زمین لغزشها را به عنوان یک بلای طبیعی مهم در گروه مخاطراتی همچون آتشفشان، زلزله، سیل، آتش سوزیهای گسترده در طبیعت قرار دادهاند و به این نتیجه رسیدهاند که همچون سایر بلایای طبیعی نقش مهمی در ایجاد تغییرات گسترده در چهره زمین، فرآیندهای فرسایش و جریان رسوب دارند (Korup۲۰۰۶, و Hewitt et al ۲۰۰۸ و Clague۲۰۰۹). زمین لغزشهای فعال شده و زمین لغزشهای جدیدی که در اثر بارندگیهای همراه با طوفانها و زلزلههای سالهای ۱۹۹۶ تا ۲۰۰۵ در حوضه Tachia River در تایوان مرکزی بوقوع پیوستهاند با استفاده از تصاویر ماهواره و سنجش از دور مورد مطالعه قرار گرفته اند (Chuang et al۲۰۰۹,). افزایش رسوبدهی رودخانههای حوضه مورد مطالعه خسارتهای زیادی را به سدها، نیروگاهها، پلها، روستاها و سایر سازهها وارد ساخته است (Chiou et al, ۲۰۰۷). در این پژوهشها تحلیل دبیهای رسوب ایستگاههای هیدرومتری پائین دست حوضه نشان داد که زمین لغزشهای بعد از زلزله میزان دبی رسوب را زیاد کردهاند و این میزان نسبت به دبی رسوب حاصل از بارندگیهای شدید نیز بیشتر است. در بررسیهای نوین، زمین لغزشهای بزرگ دنیا یکی از عوامل اصلی تولید رسوب با حجم بالا معرفی شدهاند و نتایج این مطالعات نشان میدهد که یک دوره چند ساله بعد از وقوع زمین لغزشهای متعاقب زلزله یا بارندگیهای شدید رسوبدهی به بیش از ۱۰ تن در کیلومترمربع افزایش یافته است (Korup۲۰۱۲,). نتایج به دست آمده در این مطالعات نشان داد که حجم اصلی رسوبات تولید شده بعد از زلزله چه در مواقع بارندگیهای شدید و چه در مواقع عادی مربوط به ناپایداریهای دامنهایی است که همزمان یا بعد از زلزله بوجود آمدهاند (Lio et al۲۰۱۴,). مدلهای مختلفی جهت برآورد میزان رسوب وارد شده به رودخانهها از طریق زمین لغزشها پیشنهاد شده است. مدل SHETRAN جهت ارزیابی میزان رسوب حاصل از زمین لغزش (Bathurst, et al ۲۰۰۶). علاوه بر مدل فوق میتوان از مدلهای دیگری همچون مدل شاخص فرسایش خاک[1] (SEIM, (2006 Cover) و مدلLAPSUS-LS[2] که در منطقه لغزش خیز اوگاندا به اجرا در آمد(Claessens۲۰۰۷,) برنامه شبیه سازی هیدرولوژیکی (HSPF)[3] ۲۰۱۲ نام برد. شبیه سازی فرسایش و رسوب ناشی از زمین لغزش با استفاده از مدل WEPP[4] Geo (مطالعه موردی: حوضه گرم چای میانه)نتایج پژوهش نشان داد

1- soil erosion index model
2-Landslide model performance in a high resolution small-scale landscape ۲
3- Hidroolgy similar program Fortran
4- Water Erosion Prediction Projec

که بار رسوبی سطوح ناپایدار دامنه ای در ارتباط با مورفولوژی دامنه و مدیریت حاکم بر آن در قالب کاربری زمین و اقلیم منطقه متغیر بوده و مدل یاد شده به خوبی قادر به شبیه سازی مقادیر رسوب و ته نشست در ارتباط با عوامل تاثیرگذار برآن بوده است(یاراحمدی و روستایی، ۲۰۱۵). تا به حال مطالعه مناطق لغزش خیز در ایران بیشتر در زمینههای عوامل، حساسیت و خطرات آنها بوده است، شریعت جعفری و غیومیان (۲۰۱۰)، پورقاسمی و همکاران (۲۰۱۲)، محمدی و همکاران(۲۰۱۲)، فیض زاده و همکاران (۲۰۱۴)، نورانی و همکاران(۲۰۱۴)، طلایی (۲۰۱۴)، صفاری و همکاران(۲۰۱۳و ۲۰۱۶). در کشور ایران در زمینه نقش زمین لغزشها در تشدید فرسایش و تولید رسوب مطالعات بسیار اندک بوده و یا به عبارت دقیقتر مطالعهای صورت نگرفته است. با توجه به اهمیت تخمین دقیق فرسایش و رسوبدهی به دلیل احداث سازههای مختلف بر روی رودخانهها، وجود مناطق مسکونی در مسیر آنها، حفاظت از منابع طبیعی و مسائل زیست محیطی و ... امروزه نیاز به بررسی دقیقتر رابطه زمین لغزش و رسوبدهی در حوضههای لغزش خیز کشورمان بیشتر احساس می شود.

داده ها و رو ش کار

حوضه آبخیز سد ایلام در جنوب شرقی شهرستان ایلام در موقعیت جغرافیایی بین ۴۶ درجه و ۱۶ دقیقه و ۳۶ ثانیه تا ۴۶ درجه و ۳۸ دقیقه و ۳۲ثانیه طول شرقی و ۳۳درجه و ۲۳دقیقه و ۲۷ ثانیه تا ۳۳ درجه و ۳۸ دقیقه و ۵۴ ثانیه عرض شمالی قرار دارد. بیشترین ارتفاع درکوه قلارنگ واقع در شمال حوضه ۲۴۰۰ متر وکمترین ارتفاع حوضه درمحل سد ۱۲۰۰ متر و ارتفاع متوسط آن از سطح دریا ۱۴۳۰ متر می باشد. متوسط بارندگی سالانه حوضه سد ایلام ۶۸۵ میلیمتر متوسط درجه حرارت سالیانه آن ۱۵/۸ درجه سانتیگراد و متوسط حداقل درجه حرارت سالیانه ۶/۹ درجه سانتیگراد و میانگین حداکثر درجه حرارت سالیانه ۲۴/۷، حداکثر مطلق در ماههای تیر و مرداد ۴۳ و حداقل مطلق ۱۵- درجه سانتیگراد بوده است اقلیم منطقه نیمه مرطوب معتدل است و تشکیلات زمین شناسی حوضه سازندهای سروک، سورگاه، ایلام، پابده،گورپی، گچسارن و رسوبات کواترنری است. با توجه به خصوصیات ذکر شده این حوضه از حساسیت فرسایش بالایی برخوردار است و فرایند زمین لغزش در طول زمان همواره فرسایش خاک و رسوب زایی را تشدید نموده است.



شکل(۱) نقشه موقعیت حوضه آبخیز سد ایلام

روش تحقیق

جهت بررسی رسوب دهی زمین لغزش نیازمند شناسایی ژئومورفولوژیکی از حوضه آبخیز، آمار و اطلاعات دقیق از دبی آب- دبی رسوب، فراوانی رخدادهای زمین لغزش در سطح حوضه و اطلاعات دقیق از زمان وقوع زمین لغزش، سطح، حجم و مقدار گسیختگی زمین لغزش به شبکه آبراهه ای و انتقال بار رسوب توسط جریان آب می باشد. با توجه به اهمیت حوضه سد ایلام، تشکیلات فرسایش پذیر زمین شناسی دوران سوم در سطح حوضه و فراوانی رخداد زمین لغزش در سطح حوضه و سه ایستگاه هیدرومتری با طول دوره آماری در خروجی سه زیر حوضه اصلی منتهی به سد ایلام و شرایطی که بر حوضه حاکم است بعد از بررسی های لازم و با استفاده از اطلاعات و منابع موجود، حوضه سد ایلام انتخاب شد. ابتدا با استفاده از روش سیستمی ژئومورفولوژی با تهیه نقشه های توپوگرافی۱:۵۰۰۰۰، نقشه زمین شناسی۱:۱۰۰۰۰۰، عکس هوایی۱:۲۰۰۰۰، تصاویر ماهواره ای لندست TM1988 ETM2002,2013 و Google Earth در محیط GIS محدوده زیر حوضه ها و رخدادهای زمین لغزش در سطح زیر حوضه ترسیم شد. داده های دبی آب و دبی رسوب سه ایستگاه هیدرومتری سرجوی گل گل، چاویز و ایستگاه اما (ملکشاهی) از آب منطقه استان ایلام تهیه شد. اطلاعات پایان نامه ها، مقالات، طرح های تحقیقاتی در ارتباط با فرسایش خاک، برآورد رسوب، زمین لغزش، حوضه سد ایلام جمع آوری شده و با تدقیق، صحت علمی و استنادی داده ها کنترل و در صورت نیاز استفاده شده است. برای برآورد فرسایش خاک و رسوب زیر حوضه ها از دو مدل شناخته شده برآوردی MPSIAC و مدل EPM استفاده شده است (عسگری،۲۰۰۹).

جهت تفکیک زمین لغزش های قدیمی و غیر فعال از زمین لغزش های فعال و دقت در شناسایی زمین لغزش های فعال جدید ابتدا شناسنامه ای بصورت پرسشنامه طراحی شد. شناسنامه ای از یک زمین لغزش قابل اعتماد است که تمام اطلاعات ممکن با دقت در آن ذکر شده باشد. قبل از هر نوع تحلیلی از زمین لغزش و ارتباط آن با شرایط محیطی

باید دادههای شناسنامهها، همچون توزیع مکانی، تاریخچه فعالیت، مورفومتری و .... آنها در دست باشد. زمین لغزش های فعال حوضه سد ایلام با استفاده از عملیات میدانی شناسایی شده و زمین لغزش ها کدبندی و شماره گذاری شده اند و همه اطلاعات موجود در پرسشنامه شامل مشخصات زمین لغزش، تاریخ وقوع لغزش، زمین شناسی، ژئومتری با استفاده از دستگاه GPS، عوامل فرسایش و داده هایی که به رابطه زمین لغزش و رسوبدهی کمک می نماید جمع آوری شده و در نهایت نقشه پراکنش مکانی زمین لغزشها به صورت رقومی و در قالب سیستم GIS تهیه شده است. در این تحقیق سعی شده است که رابطه زمین لغزش و تاریخ وقوع زمین لغزش با مقدار رسوبدهی بررسی شود به همین منظور مهمترین عامل در این رابطه که تاریخ وقوع زمین لغزش، حجم و میزان زمین لغزش می باشد جهت مقایسه با میزان افزایش رسوب در ایستگاه هیدرومتری و مقایسه روند تغییرات جریان تحت عنوان رابطه دبی رسوب و دبی آب جمع آوری و در طول دوره آماری تجزیه و تحلیل شده است.

برآورد دبی رسوب

برای برآورد بار رسوب معلق روشهای متعددی وجود دارد که در این پژوهش از رابطه توانی بین دبی جریان و دبی رسوب معلق که به منحنی سنجه رسوب معروف است استفاده شده است. در ابتدا میزان رسوب روزانه، ماهانه و سالانه در کل دوره آماری محاسبه گردید سپس جهت ترسیم منحنی سنجه رسوب نیز روش حدوسط بکار برده شد. منحنی سنجه رسوب با استفاده از دادههای آماری دبی جریان و دبی رسوب ترسیم میشود. برای ترسیم منحنی سنجه رسوب سری دادهها برای یک دوره آماری مورد استفاده قرار گرفت. براساس دادههای ایستگاه هیدرومتری موجود، که در آن سالیانه دبی رسوب همزمان با دبی آب در چند نوبت ثبت گردیده است، منحنی سنجه رسوب در مقیاس لگاریتمی رسم شد. به دلیل اینکه اندازه گیریها در ایستگاه رسوبسنجی فقط چند بار در سال انجام گرفته است لذا باید با برازش دادهها رابطه نمایی بین دبی رسوب و دبی جریان تعیین گردد یکی از سادهترین روشهای آزمون همگنی دادهها آزمون رشتهها[1] از روشهای آماری غیر پارامتری است (عربخدری و همکاران، ۲۰۱۰). این آزمون با استفاده از نرم افزارنسخه Spss۱۶ انجام گرفت.

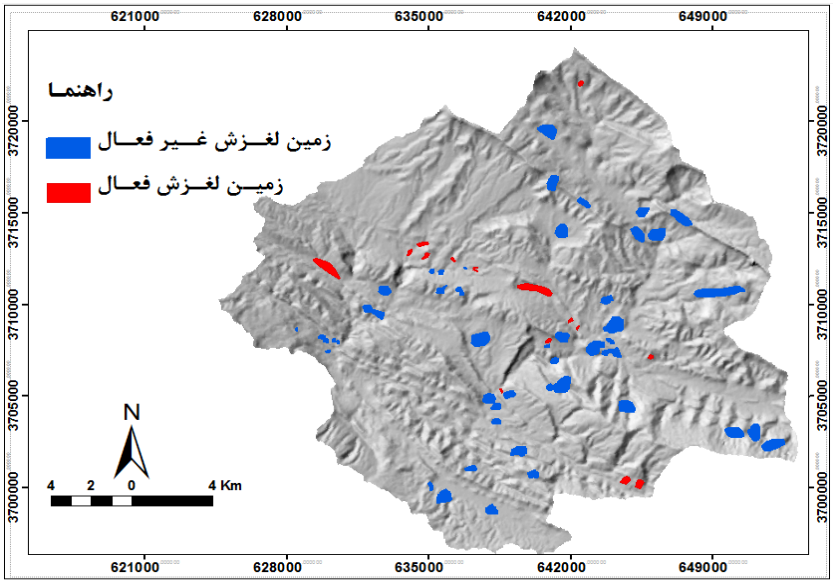
الگوی تحلیل فضایی زمین لغزش های سطح حوضه سد ایلام

شناخت الگوها و کشف روابط متغیر وابسته زمین لغزش و روند های موجود در داده های فضایی و متغیر های مستقل از اهمیت زیادی در این تحقیق برخوردار است. اینکه زمین لغزش ها چگونه در سطح حوضه آبخیز توزیع شده اند و آیا توزیع زمین لغزشها از الگوی خاصی پیروی می کند، روند داده ها چگونه است به چه شکلی توزیع فضایی زمین لغزش ها با رسوب زایی در ارتباط می باشد و... جهت پاسخگویی به سئوالات مطرح شده مدلهای توزیع الگوی فضایی بررسی شده و با استفاده از بهترین مدل الگوی توزیع فضایی زمین لغزش های سطح حوضه آبخیز سد شناسایی و معرفی شده است. بطور کلی الگوهای توزیع فضایی عبارتند از: متوسط نزدیکترین فاصله همسایگی، خوشه بندی، خوشه بندی زیاد و کم، خوشه بندی چند فاصله ای، خود همبستگی فضایی) عسگری،۲۰۱۲).

1-Run Test [1]

نحوه اجرای تحلیل شاخص موران (Moran) در ArcGIS

برای اجرای این ابزار ابتدا جعبه ابزارهای تحلیل های آماری فضایی[۱] را انتخاب وسپس تحلیل الگوها[۲] بسط داده و آنگاه خود همبستگی فضایی[۳] را انتخاب می کنیم (عسگری،۲۰۱۲). در این ابزار هدفمان آن است که ببینیم آیا تعداد زمین لغزش ها در زیرحوضه های مختلف سد ایلام از خود همبستگی فضایی برخوردار است ویا خیر. در جعبه مربوطه اطلاعات مورد نیاز را وارد و گزینه های مناسب را انتخاب می کنیم. در قسمتFeature class Input لایه زمین لغزش را جهت تحلیل خودهمبستگی فضایی انتخاب نمودیم شکل۲ .



شکل(۲) زمین لغزش های حوضه آبخیز سد ایلام

مدل منطق فازی

جهت اجرای مدل، عوامل موثر در خطر زمین لغزش عبارت از : شیب، جهت شیب، ارتفاع، زمین شناسی، بارش، کاربری اراضی، فاصله از شبکه آبراهه، فاصله از شبکه جاده ای و فاصله از گسل در سه مرحله رستری نمودن لایه ها، دادن توابع فازی به هر لایه، وزن دهی لایه ها انجام شد. بعد از همپوشانی لایه ها بهترین عملگر فازی که با نقشه پهنه بندی زمین لغزش از دقت بالایی برخوردار بود عملگر فازی ۰/۹می باشد. با این مدل مناطق دارای زمین لغزش از تجمع پیکسل های لغزشی در سطح حوضه تحلیل شد و با نتایج دیگر مدلها مقایسه شد (صفاری، و هاشمی، ۲۰۱۶).

شرح و تفسیر نتایج

نتایج تحلیل خود همبستگی فضایی زمین لغزش های حوضه سد ایلام

تحلیل خود همبستگی فضایی دو نوع خروجی به صورت گرافیکی وعددی ارایه می نماید. خروجی گرافیکی نشان می دهد که آیا داده ها پراکنده ویا خوشه بندی شده هستند. شکل ۳ فیلدهای معرفی شده جهت تحلیل فضایی زمین لغزش ها را نشان می دهد، در این تحلیل چنانچه در شکل ۴ نشان داده شده است تعداد زمین لغزش ها در مناطق

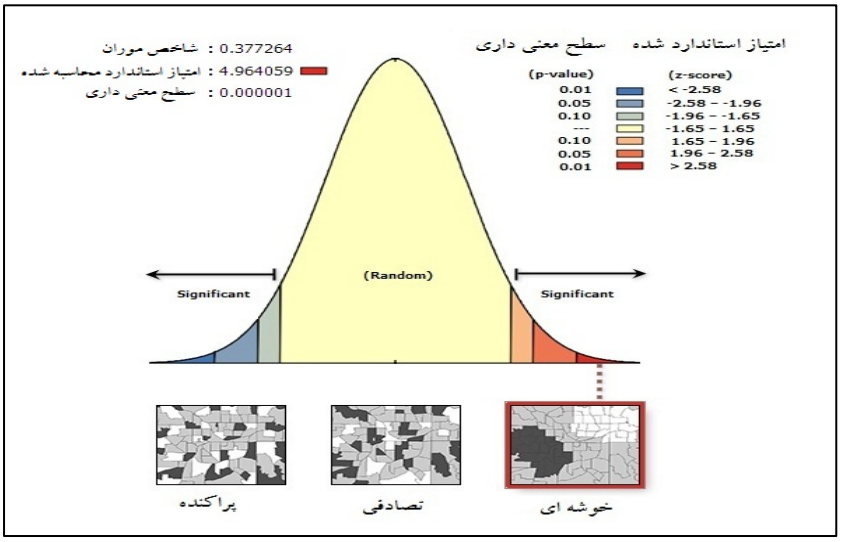
---

[2]- Spatial Statistiacs Tooles [۱]
[3]-Analyzing Patterns [۲]
[4]-spatialautocorrelationc[۳]

مختلف حوضه سد ایلام دارای خودهمبستگی فضایی می باشند. علاوه بر این خروجی ها به صورت عددی نیز در شکل ۵ نمایش داده شده اند.

Input Feature Class:	landslide
Input Field:	ORIG_FID
Conceptualization:	INVERSE_DISTANCE
Distance Method:	EUCLIDEAN
Standardization:	Row

شکل (۳) فیلدهای معرفی شده در دستور



شکل (۴) تحلیل موران از نقاط لغزشی

	Global Moran's I Summary
Moran's Index	0.377264
Expected Index	-0.015625
Variance	0.006264
z-score	4.964059
p-value	0.000001

شکل(۵) نتایج تحلیل خود همبستگی فضایی

بطور کلی اگر مقدار شاخص موران نزدیک به عدد مثبت یک(۱+)باشد داده ها دارای خود همبستگی ودارای الگوی خوشه ای بوده واگر مقدار شاخص موران نزدیک به عدد منفی یک(۱-)باشد آنگاه داده ها از هم گسسته وپراکنده می باشند .البته این مقدار از نظر معناداری آماری سنجیده می شود.

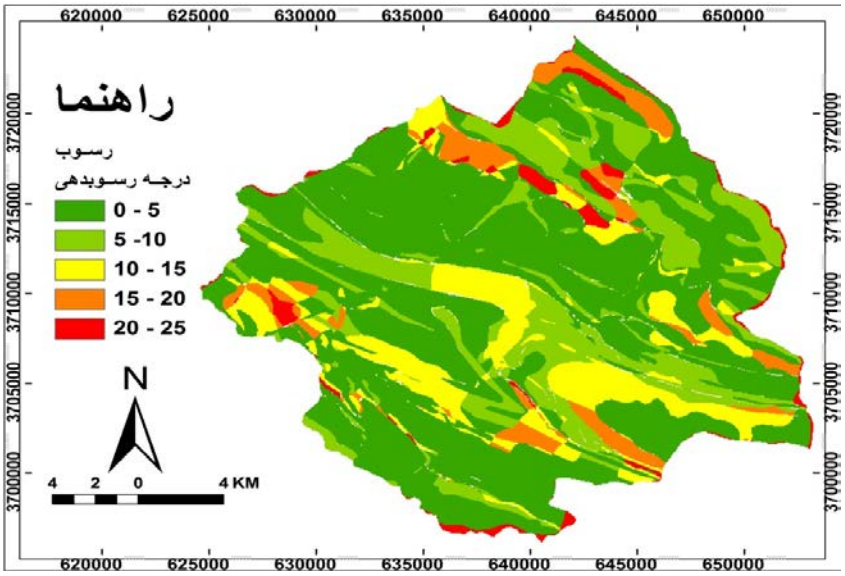
در مورد این ابزار فرضیه صفر آن است که هیچ نوع خوشه بندی فضایی بین مقادیر خصیصه مرتبط با عوارض جغرافیایی مورد نظر وجود ندارد. حال زمانیکه مقدار**P-Value** بسیار کوچک ومقدار **Z** محاسبه شده (قدر مطلق آن)بسیار بزرگ باشد (خارج از محدوده اطمینان قرار میگیرد) آنگاه می توان فرضیه صفر را رد کرد اگر مقدار شاخص

موران بزرگتر از صفر باشد، داده ها نوعی خوشه بندی فضایی را نشان می دهند. اگر مقدار شاخص کمتر از صفر باشد عوارض مورد مطالعه دارای الگوی پراکنده می باشند(عسگری،۲۰۱۲).

در این تحلیل چنانچه ملاحظه می شود شاخص موران ۰/۳۷۷۲۶۴ می باشد واز آنجا که مقدار آن ثابت و بالای صفر است می توانیم نتیجه بگیریم که داده ها دارای خودهمبستگی فضایی هستند. اگر قرار بود این داده ها به طور نرمال در فضا پخش شده باشند شاخص باید مقدار منفی را اختیار می نمود همچنین با استناد به بالا بودن امتیاز استاندارد **Z** و بسیار کوچک بودن مقدار**PValue** می توان فرضیه عدم وجود خود همبستگی فضایی بین داده ها را رد نمود.

نتایج مدل MPSIAC

پس از ورود لایه‌های اطلاعاتی به محیط(GIS)و تلفیق ۹ لایه اطلاعاتی مدل MPSIAC، حوضه به ۲۱۶ واحد رسوب زا تفکیک گردید. حداقل و حداکثر میزان رسوب تولیدی در این واحدها به ترتیب۲/۳ و ۲۲/۷ تن در هکتار در سال و میانگین کل رسوب تولیدی حوضه درمدل MPSIAC درزیر حوضه گل گل معادل ۱۳/۳ تن در هکتار در سال در زیر حوضه چاویز ۱۰/۳تن در هکتار در یکسال و در زیر حوضه اما (ملکشاهی) ۴/۴تن در هکتار در یکسال برآورد گردیده است شکل ۶ نقشه کلاس رسوبدهی حوضه سد ایلام را نشان می دهد.



شکل (۶) نقشه رسوبدهی حوضه آبخیز سد ایلام (واحد تن در هکتار)

نتایج مدل EPM

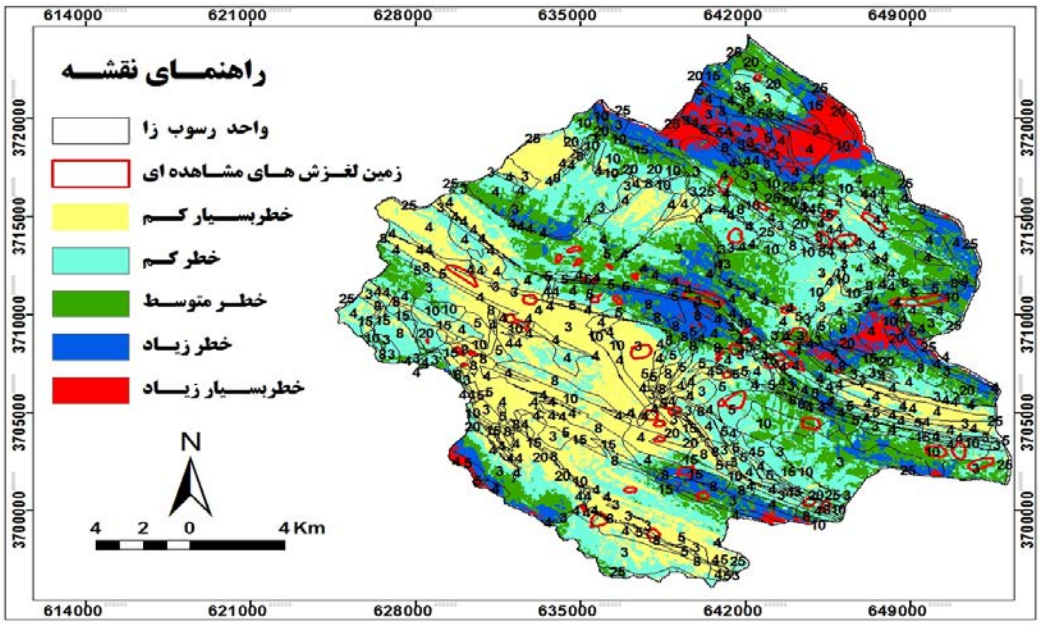
با اجرای مدلEPM رسوب ویژه در در زیر حوضه گل گل۹۹۷ مترمکعب در کیلومترمربع در سال (با توجه به وزن مخصوص رسوبات) معادل۱۲/۷تن رسوب در هکتار در سال برآورد گردید. رسوب ویژه در زیر حوضه چاویز۷۸۳ مترمکعب در کیلومترمربع در سال (با توجه به وزن مخصوص رسوبات) معادل۹/۳تن رسوب در هکتار در سال برآورد گردید. رسوب ویژه در زیر حوضه اما (ملکشاهی)۴۹۷ مترمکعب در کیلومترمربع در سال (با توجه به وزن مخصوص رسوبات) معادل۶/۴ رسوب تن در هکتار در سال برآورد گردید.

نتایج مدل منحنی سنجه دبی – رسوب

با اجرای مدل هیدرولوژیکی منحنی سنجه دبی – رسوب با تحلیل آماری داده های دبی آب و دبی رسوب در طول دوره آماری میانگین رسوب در طول دوره آماری در ایستگاه هیدرومتری زیرحوضه گل گل ۱۸/۸تن در هکتار، ایستگاه چاویز ۱۰/۴تن و ایستگاه اما (ملکشاهی ۰/۹تن رسوب در هکتار در سال محاسبه شد.

تلفیق لایه های خروجی مدل ها

با تلفیق لایه پیکسلی خروجی مدل منطق فازی با لایه واحد های رسوب زا حاصل از مدل های تجربی فرسایش خاک با محاسبات پیکسل های لغزشی و غیر لغزشی از میزان پیکسل های فرسایشی دیگر عوامل نتایج کیفی و کمی از فرسایش خاک و زمین لغزش در سطح حوضه تحلیل شد. تلفیق لایه واحد رسوب زا، لایه پتانسیل خطر زمین لغزش و لایه زمین لغزش های مشاهده ای در شکل ۷ نشان داده شده است. همانطور که در نتایج مدل MPSIAC توزیع داده شد حوضه به ۲۱۶واحد رسوب زا تفکیک شد که این واحدها از ۰تا ۵ و ۵تا۱۰و ۱۰تا ۱۵و ۱۵تا۲۰و ۲۰تا ۲۵ تن در هر هکتار در سال کلاس بندی شده است.که ۷۵درصد زمین لغزش ها در واحدهای رسوب زا بین ۱۵تا ۲۵تن رسوب در هکتار در سال در سطح حوضه توزیع شده اند. نتایج مدل‌های روش تحقیق، افزایش رسوب مشاهده‌ای دردو ایستگاه گل گل و چاویز نسبت به رسوب برآوردی و کاهش رسوب مشاهده‌ای زیر حوضه اما (ملکشاهی) نسبت به رسوب برآوردی مدلهای تجربی کاملا واضح و روشن است. بنابراین می‌توان نتیجه گرفت که افزایش رسوب در زیر حوضه‌های گل گل و چاویز مربوط به رخدادهایی است که در این دو زیر حوضه به وقوع پیوسته است. با توجه به همپوشانی نقشه‌های واحدهای رسوب زایی خروجی مدل تجربی و نقشه مناطق خطر زمین لغزش خروجی مدل منطق فازی و نقشه پراکنش زمین لغزش‌ها در سطح حوضه آبخیز سد ایلام، یافته‌های این قسمت تحقیق نشانگر رخدادهای زمین لغزش در سطح حوضه است، در این راستا بررسی زیر حوضه‌ها به تفکیک از لحاظ زمین لغزش فعال و تاریخ دقیق رخداد زمین لغزش با داده‌های دبی و رسوب ثبت شده در ایستگاه هیدرومتری هر زیر حوضه، اطلاعات دقیق تری از رسوب زایی کمی زمین لغزش‌ها ارائه خواهد شد.



شکل(۷) تلفیق لایه فازی خطر زمین لغزش با واحد رسوب زا تن در هکتار و زمین لغزش های مشاهده ای در حوضه سد ایلام

حجم و مقدار زمین لغزش در زیر حوضه‌ها

از بین ۶۴ نقطه زمین لغزشهای قدیمی و جدید که در حوضه سد ایلام شناسایی شد. مشخصات ۱۶ زمین لغزش فعال ثبت گردید که در زیر حوضه گل گل ۹ رخداد زمین لغزش در سال‌های ۱۳۶۶، ۱۳۷۱،۱۳۷۲،۱۳۷۳، ۱۳۷۵،۱۳۷۶، ۱۳۷۹،۱۳۸۰، ۱۳۸۸ و در زیر حوضه چاویز۷ رخداد زمین لغزش در سال‌های ۱۳۸۲، ۱۳۸۳، ۱۳۸۶، ۱۳۸۷،۱۳۸۸،۱۳۸۸ و ۱۳۹۴ طبق تحقیقات بعمل آمده محلی از پرسشنامه، اطلاعات اداره کل راه و ترابری و تحلیل تاریخی تصاویر ماهواره‌ای زمان رخداد زمین لغزش ثبت شده بود و با پیک رسوبی طول دوره آماری برآورد رسوب در زیرحوضه‌ها تقریبا همزمانی داشت. با استفاده از محاسبات مساحت زمین لغزش، طول و عرض زمین لغزش و میزان گسیختگی زمین لغزش اطلاعات جمع آوری شده شناسنامه زمین لغزش‌ها و اندازه گیریهای ابعاد فیزیکی زمین لغزشها، عمق زمین لغزش، حجم زمین لغزش و تبدیل حجم به تن از وزن واحد حجم خاک γ=۱,۴مواد زمین لفزش جهت مقایسه با میزان بار رسوب خروجی زیر حوضه‌ها در ایستگاه هیدرومتری و مقدار زمین لغزش محاسبه که نتایج در (جداول ۱) و (۲) نشان داده شده است.

جدول(۱) حجم و مقدار زمین لغزش‌های زیر حوضه سرجوی گل گل حوضه سد ایلام

کد لغزش	زمان رخداد زمین لغزش	حجم زمین لغزش به m^3))	زمین لغزش به (ton)	واحد رسوبزا مدل تجربی(t/h/y)	پهنه مدل منطق فازی	زمان تمرکزبه ساعت
1	2/10/1366	2915000	4081000	۲۰تا ۲۵	خطر متوسط	3/16
2	13/08/1376	186588000	261223200	۰تا ۵	خطر متوسط تا زیاد	1/28
3	**25/07/1373**	800000	1126000	۰تا ۵	خطرکم	0/59
4	28/01/1371	600000	980000	۰تا ۵	خطرکم	0/98
5	2/02/1372	3450000	4830000	۵ تا ۱۰	خطر زیاد	0/58
6	25/01/1375	17748000	24847200	۲۰تا۲۵	خطرکم	1/21
7	21/12/1383	14580000	20412000	۲۰تا۲۵	خطرکم	1/21

15	13/11/1388	765000	1071000	۰تا ۵	خطر خیلی کم	36/0
16	17/10/1380	903270	1264578	۰تا ۵	خطر زیاد	54/1
جمع کل		227446000	322364000			

جدول (۲) حجم و مقدار زمین لغزش‌های زیر حوضه چاویز حوضه سد ایلام

کد لغزش	زمان رخداد زمین لغزشی	حجم زمین لغزش به (متر مکعب)	زمین لغزش به (تن)	واحد رسوبزا مدل تجربی(t/h/y)	مدل منطق فازی	زمان تمرکز به ساعت
8	14/10/1382	130419000	182586600	۰ تا ۵	خطرکم	0/23
9	13/11/1388	10858000	15201200	۰ تا ۵	خطرکم	1/18
10	18/6/1386	4914000	6879600	۵ تا ۱۰	خطرمتوسط	0/50
11	23/11/1387	5428000	7599200	۵ تا ۱۰	خطرمتوسط	0/56
12	5/9/1383	1265000	1771000	۵ تا ۱۰	خطرمتوسط	11/0
13	8/12/1388	440000	616000	۵ تا ۱۰	خطرمتوسط	0/88
14	5/10/1394	1008000	1411200	۵ تا ۱۰	خطرمتوسط	0/88
جمع کل		154332000	216064800			

تحلیل ارتباط دبی آب- دبی رسوب با زمین لغزش

مقایسه روند تغییرات دبی آب به دبی رسوب روزانه در سه ایستگاه،گل گل، چاویز و اما(ملکشاهی) نشان میدهد که تغییرات میزان مواد معلق عبوری از محل ایستگاهها کاملاً تابع دبی جریان میباشد. اما تغییرات افزایشی مکرر در میزان رسوب ایستگاه گل گل و چاویز در طول دوره آماری در سالهای ۱۳۶۵- ۶۷ و ۱۳۶۹-۷۰ و۱۳۷۱-۷۴ و ۱۳۸۲-۸۸ و۱۳۹۲ نسبت به ایستگاه اما(ملکشاهی) نشان دهنده ناهنجاری‌های آشکار در میزان رسوب آنها میباشد، همزمانی وقوع زمین لغزش‌های فعال در طول دوره آماری در سالهای افزایش ناگهانی رسوب در زیر حوضه‌های گل گل و چاویز رابطه معنی داری است که باتوجه به ثبت اطلاعات دقیق ۱۶رخداد زمین لغزش فعال در سطح حوضه مقدار کمی رسوب زایی زمین لغزش‌ها محاسبه شده است. میانگین رسوب دوره آماری در ایستگاه گل گل ۳۱۵/۸۵تن می‌باشد و میانگین دبی پیک رسوب دوره آماری ایستگاه مذکور۷۵۰۸۸/۱۹ می‌باشد. میانگین رسوب دوره آماری در ایستگاه چاویز ۲۰/۲۴تن می‌باشد و میانگین دبی پیک رسوب دوره آماری ایستگاه مذکور ۱۹۹۰۷/۳۰می باشد.

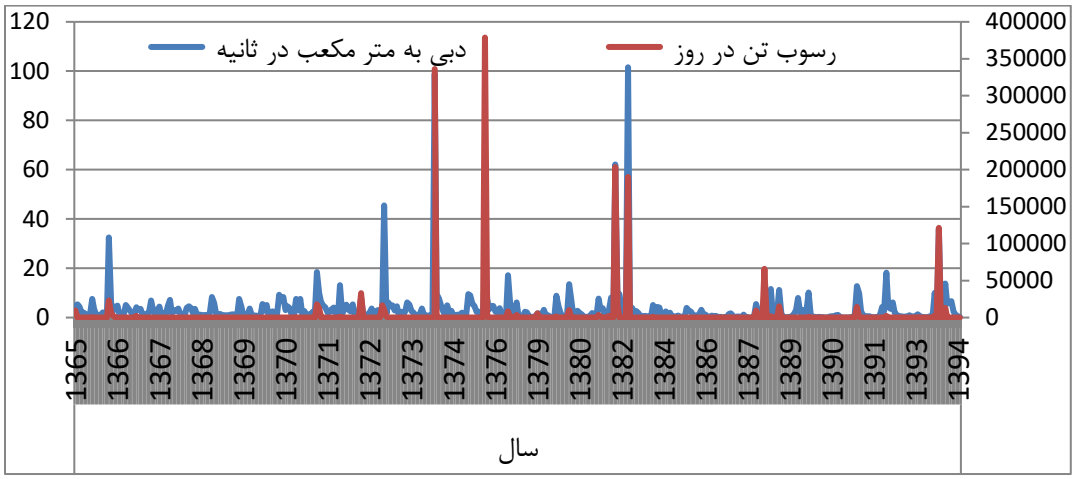
رابطه۱: میانگین بار معلق عبوری دوره آماری- میانگین دبی پیک بار معلق دوره آماری همزمان با رخداد زمین لغزش =مقدار بار معلق رخداد زمین لغزش سطح حوضه

مقدار بار معلق زمین لغزش زیر حوضه گل گل ۷۵۰۸۸/۱۹-۳۱۵/۸۵=۷۴۷۷۲/۳۴

مقدار بارمعلق زمین لغزش زیر حوضه چاویز ۱۹۹۰۷/۳۰-۲۰/۲۴=۱۹۸۸۷

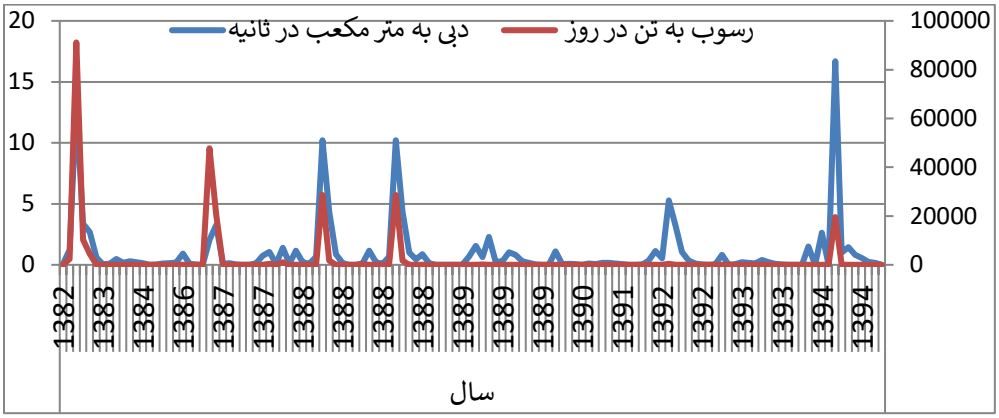
مساحت زیرحوضه گل گل حدود ۲۹۰۰۰ هکتار و مساحت زمین لغزش‌های فعال در حدود ۱۰۰هکتار می‌باشد. طبق محاسبات ۷۴۷۷۲/۳۴تن رسوب معلق عبوری پیک رسوبی است که در ایستگاه هیدرومتری گل گل ثبت شده است(تحلیل آمار دبی آب و دبی رسوب شرکت آب منطقه ای ایلام)که با ضریب ۱/۴تبدیل بار معلق به رسوب دهی (رفاهی، ۱۳۷۵) تقریبا معادل ۱۰۴۶۸۱ تن رسوبزایی زمین لغزش‌ها را در این زیر حوضه نشان میدهد که این مقدار رسوب نتیجه ۱۰۰ هکتار زمین لغزش می‌باشد بنابراین هرهکتار زمین لغزش در حدود ۱۰۴۶/۸۱ تن رسوب بطور

میانگین رسوبدهی داشته است که در ایستگاه هیدرومتری گل گل ثبت شده است. مساحت زیر حوضه چاویز در حدود ۱۴۰۰۰هکتار و مساحت زمین لغزش‌های فعال این زیر حوضه در حدود۶۵هکتار می‌باشد. طبق ثبت داده‌های دبی رسوب ایستگاه هیدرومتری چاویز ۱۹۸۸۷ تن بار رسوب معلق است که با ضریب ۱/۴معادل ۲۷۸۴۲ تن رسوبزایی زمین لغزش‌ها را در این زیر حوضه نشان میدهد یعنی معادل هر هکتارزمین لغزش ۴۲۸/۳۳تن رسوب دهی می‌باشد.
تغییرات ناگهانی رسوبدهی در ایستگاه‌های هیدرومتری زیرحوضه‌ها با یک سیستم مورفولوژیک حاکم بر حوضه آبخیز سد ایلام هم از لحاظ کیفی این فرایند را تایید می‌کند. وقوع زمین لغزش‌ها بر روی دامنه‌های پرشیب با مواد خاکی و زیرشویی کناری آبراهه‌های اصلی که موجب شده زمین لغزش مستقیما وارد آبراهه شود عاملی است که این فرایند را تشدید می‌کند. میزان چند برابری زمین لغزش‌ها نسبت به میزان رسوبدهی ایستگاه‌های هیدرومتری با کسر عملیات عمرانی طبق اطلاعات جمع آوری شده در نمودارها و جداول و نقشه‌های مربوطه از لحاظ کمی و کیفی با احتساب انواع فرسایش در سطح حوضه، نمود و تاثیر زمین لغزش را در زیر حوضه‌ها و حوضه سد ایلام نمایان ساخته است. البته نمودار و جداول سال‌های آماری به تفکیک در پیوست آمده است. بر اساس آمار داده‌های آبی روزانه در طول دوره آماری ۲۹ ساله در ایستگاه هیدرومتری گل گل ۱۵۵۶۸۶۰ تن بار سوب معلق عبوری ثبت شده است از این مقدار ۸۹۴۰۷۸تن بار رسوب معلق عبوری مربوط به ۹ سال دارای رخداد زمین لغزش۱۳۶۶، ۱۳۷۲،۱۳۷۱، ۱۳۷۳، ۱۳۷۵،۱۳۷۶، ۱۳۷۸، ۱۳۸۰و۱۳۸۸می باشد. میانگین دبی پیک رسوبی معادل ۱۰۹۷۵۵تن رسوب می‌باشد که میانگین دبی آب متناظر معادل ۹۸/ ۲۷ مترمکعب درثانیه است که این مقدار از رسوب معلق عبوری کسر شده است و مقدار رسوب اضافه بر میانگین دبی نرمال برابر۷۸۴۳۲۳ تن بار رسوب معلق عبوری می‌باشد. بنابراین نتیجه گرفته می‌شود که در زیرحوضه گل گل ۵۰/۳۷ درصد افزایش رسوب مربوط به رخدادهای زمین لغزش ۹ سال ذکر شده می‌باشد. یعنی افزایش ۹/۴تن باررسوب درهر هکتار در یکسال اضافه بر ۱۸/۸ تن رسوب مشاهده‌ای بنابراین در حدود ۲۸/۲تن بار رسوب ویژه در هر هکتار در یک سال وارد سد ایلام می‌شود و این مقدار تقریبا دوبرابر نتایج مدلهای تجربی می‌باشد، بنابراین در حوضه‌های دارای لغزش برآورد رسوب با استفاده ازمدلهای تجربی از دقت کافی برخوردار نمی‌باشد.



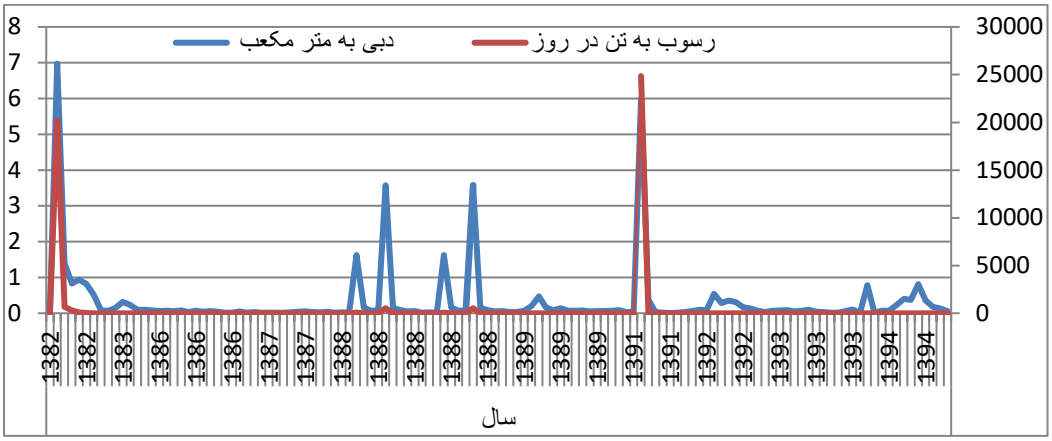
شکل (۸) نموداردوره آماری دبی رسوب روزانه حوضه آبخیز گل گل از سال ۱۳۶۵ تا ۱۳۹۴

زیر حوضه چاویز هم در بعضی سالهای آماری دبی آب و دبی رسوب روزانه از رابطه همبستگی مستقیم و نرمالی برخوردار نیست و در بعضی سالها پیک‌های رسوب روند افزایشی نسبت به جریان متعارف داشته‌اند که این خود نشانگر رخدادهایی در سطح این زیر حوضه می‌باشد. بر اساس آمار داده‌های آبی در طول دوره آماری ۱۳ ساله در ایستگاه هیدرومتری چاویز در کل دوره ۲۶۰۳۸۳ تن بار رسوب معلق عبوری ثبت شده است از این مقدار ۱۱۹۴۴۳ تن بار رسوب معلق عبوری مربوط به ۷رخداد زمین لغزش سالهای، ۱۳۸۶،۱۳۸۳،۱۳۸۲، ۱۳۸۷، ۱۳۸۸و ۱۳۹۴ می‌باشد. میانگین پیک رسوبی معادل ۱۹۹۷۰تن بار رسوب معلق عبوری است که از مقدار رسوب مربوط به ۷رخداد زمین لغزش کم شده است و معادل ۹۹۴۷۳تن بار رسوب معلق عبوری است. بنابراین نتیجه گرفته می‌شود که در زیرحوضه چاویز۳۸/۲درصد افزایش رسوب مربوط ۷رخداد زمین لغزش ذکر شده است.

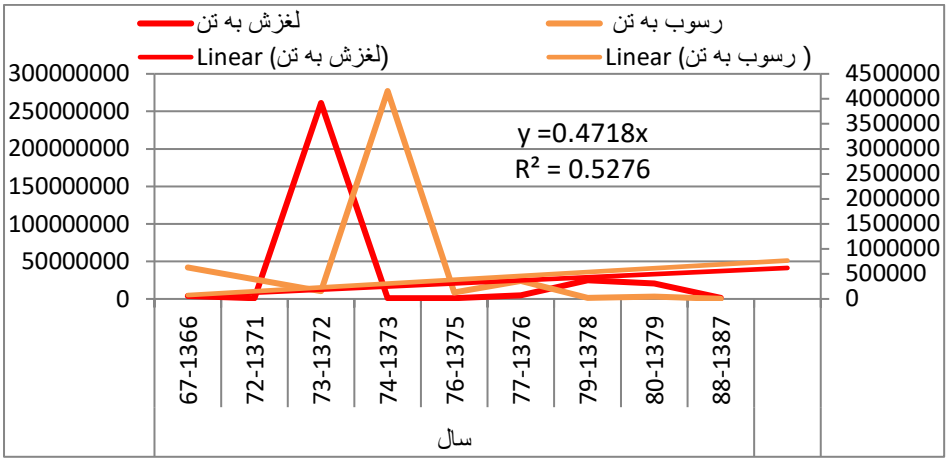


شکل (۹) نموداردوره آماری دبی رسوب روزانه حوضه آبخیز چاویز از سال ۱۳۸۲ تا ۱۳۹۴

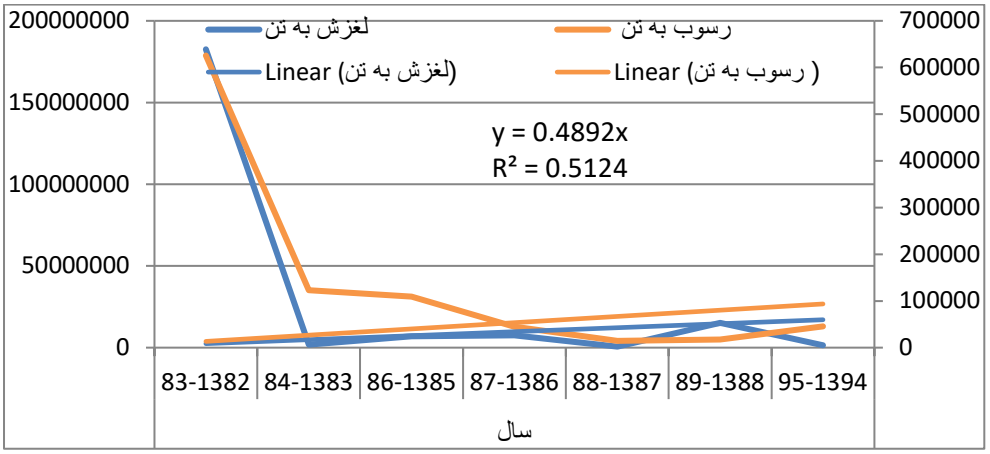
زیر حوضه اما (ملکشاهی) دبی آب و دبی رسوب از روند متعارف و از همبستگی مستقیمی برخوردار است و در هیچ سالی تغییرات معکوس یا غیر نرمال در این رابطه همبستگی مشاهده نمی‌شود بنا براین هیچ رخدادی در سطح حوضه در طول دوره آماری موجود مورد انتظار نیست و سال ۱۳۹۱ پیک دبی آب بسیار بالا در مقابل پیک رسوب نشان داده که اگر رسوبی در مسیر جریان آب نباشد دبی آب نمی تواند به تنهایی دبی رسوب را بالا ببرد شکل ۱۰.



شکل (۱۰) نموداردوره آماری دبی رسوب روزانه حوضه آبخیز اما(ملکشاهی) از سال ۱۳۸۲ تا ۱۳۹۴



شکل (۱۱) ارتباط میانگین سالانه رسوب و زمین لغزش در زیر حوضه گل گل



شکل (۱۲) ارتباط میانگین سالانه رسوب و زمین لغزش در زیر حوضه چاویز

نتیجه گیری

ارزیابی کمی رسوب زایی زمین لغزش‌ها با نتایج منطقی و ضریب اطمینان معنی دار در حوضه آبخیز مساله پیچده‌ای است. هدف این تحقیق برآورد کمی رسوب زایی زمین لغزش ها است. در این تحقیق برای اولین بار با استفاده از یک روش جدید بر اساس داده‌های رسوب سنجی ایستگاه‌های هیدرومتری و میزان آمار رسوب روزانه و سالانه در طول دوره آماری رابطه زمین لغزش و رسوب با استفاده از دو مدل تجربی در برآورد فرسایش خاک و رسوب و مدل هیدرولوژیکی منحنی سنجه حدوسط دبی – رسوب در برآورد رسوب و تحلیل فضایی زمین لغزش‌ها از روش خودهمبستگی فضایی موران و مدل منطق فازی در معنی داری روابط متغیرها در تحلیل خوشه‌ای زمین لغزش‌ها در سطح حوضه و تطبیق با واحدهای رسوب زا منتج شده از مدل تجربی برآورد فرسایش و رسوب با محاسبات حجم و مقدار زمین لغزش ها، رابطه مکانی و زمانی رخداد زمین لغزش و دبی پیک رسوب، محاسبات رسوب زایی دیگر عوامل با کسر و تعدیل از میزان رسوب دهی، سه زیر حوضه سد ایلام جهت تحلیل کمی رسوب زایی زمین لغزش بررسی شد که این روش از نتایج تحقیق می‌باشد. طبق محاسبات ۷۴۷۷۲/۳۴تن رسوب معلق عبوری پیک رسوبی است، که در ایستگاه هیدرومتری گل گل ثبت شده است، که با ضریب ۱/۴تبدیل بار معلق به رسوب دهی تقریبا معادل ۱۰۴۶۸۱ تن رسوبزایی زمین لغزش‌ها را در این زیر حوضه نشان میدهد که این مقدار رسوب نتیجه ۱۰۰ هکتار زمین لغزش

می‌باشد بنابراین هرهکتار زمین لغزش در حدود ۱۰۴۶/۸۱ تن رسوب بطور میانگین رسوبدهی در ایستگاه هیدرومتری گل گل برآورد شده است. طبق ثبت داده‌های دبی رسوب ایستگاه هیدرومتری چاویز ۱۹۸۸۷ تن بار رسوب معلق است که با ضریب ۱/۴معادل ۲۷۸۴۲ تن رسوبزایی زمین لغزش‌ها را در این زیر حوضه نشان میدهد یعنی معادل هر هکتار زمین لغزش۴۲۸/۳۳تن رسوب دهی می‌باشد. در مجموع ۱۲۳۷۳۱۴تن رسوب دهی زمین لغزش هر دو زیر حوضه وارد سد ایلام شده است. پیشنهاد می شود جهت برآورد رسوب زایی زمین لغزش در حوضه آبخیز از روش این تحقیق استفاده شود. مدل های تجربی برآورد فرسایش و رسوب در حوضه های دارای زمین لغزش کارایی مناسبی ندارند. بهترین راه کار کنترل رسوب زایی زمین لغزش ها و فرسایش خاک در حوضه سد ایلام شناسایی گونه های پوشش گیاهی (مرتعی، درختچه ای و جنگلی) سازگار بر روی واحدهای رسوب زا و دارای زمین لغزش فعال و توسعه این گونه ها با عملیات بیولوژیکی مناسب توسط دستگاه اجرایی در یک برنامه بلند مدت پیشنهاد می شود.

منابع

رفاهی، حسینقلی .۱۳۸۶. فرسایش آبی وکنترل آن. چاپ سوم، انتشارات دانشگاه تهران،۳۴۰صفحه.

صفاری، امیر؛ و معصومه هاشمی .۱۳۹۵. پهنه بندی حساسیت وقوع زمین لغزش با مدل‌های آنتروپی و منطق فازی مطالعه موردی:شهرستان کرمانشاه. فصلنامه جغرافیا و پایداری محیط، .62-43 :34

عربخدری، محمود؛ شاهرخ حکیم خانی و جواد وروانی .۱۳۸۸. اعتبار روشهای برونیابی در بر آورد میانگین رسوبدهی معلق سالانه (۱۷ ایستگاه هیدرومتری کشور). مجله علوم کشاورزی و منابع طبیعی، .131-123 :**3**

عسگری، شمس اله؛ محمدرضا ثروتی و محمدرضا جعفری .۱۳۸۷. برآورد فرسایش خاک و تولید رسوب حوضه سدایلام بااستفاده از مدل MPSIAC . مجله پژوهشهای جغرافیایی، ۶۴: ۳۹-۵۶.

عسگری،علی .۱۳۹۰. تحلیل‌های آمارفضایی با *ARCGIS* انتشارات سازمان فناوری اطلاعات وارتباطات شهرداری تهران، ۱۲۷ صفحه.

شریعت جعفری، محسن و جعفر غیومیان .۲۰۰۵. بررسی ارتباط و همبستگی بین رسوب دهی با گسیختگی شیب ها و رانش زمین در حوضه طالقان مرکزی. فصلنامه علوم زمین. ۵۵: ۹۷-۹۰.

فیض نیا، سادات؛ علی کلارستاقی، حسن احمدی و مهرداد صفایی .۲۰۰۵. بررسی عوامل مؤثردر وقوع زمین لغزش ها و پهنه بندی خطر زمین لغزش(مطالعه موردی:حوزه آبخیز شیرین رود تجن. مجله منابع طبیعی ایران .1 -5 :1 .

یاراحمدی، جمشید و شهرام روستایی .۲۰۱۵. شبیه سازی فرسایش و رسوب ناشی از زمین لغزش با استفاده از مدلGeoWEPP (مطالعه موردی: حوضه گرم چای میانه). تحقیقات ژئومورفولوژی کمی.119-133 :2 .

Bathurst, J.C., A. Burton, B.G. Clarke, F.Gallart.)2006(.Application of the SHETRAN basin-scale, landslide sediment yield model to the Llobregat basin,Spanish Pyrenees. *Hydrological Processes*, **20**: 3119–3138. **DOI**: 10.1002/hyp. 6151.

Borgomeo, E., K.V. Hebditch, A.C.Whittaker, L.Lonergan.)2014(.Characterising the spatial distribution, frequency and geomorphic controls on landslide occurrence, Molise, Italy. *Geomorphology*, **226**: 148–161.

Chiou, S.J., C.T. Cheng, S.M. Hsu, Y.H. Lin, S.Y. Chi. (2007).Evaluating landslides and sediment yields induced bythe chi-chi earthquake and followed heavy rainfalls along the Ta-Chia River.*Journal of GeoEngineering*, **2**:73-82.

Chuang S.C., H. Chen, G.W. Lin, C.W. Lin, C.P. Chang. (2009). Increase in basin sediment yield from landslides in storms following major seismic disturbance. *Engineering Geology*, **103**, 59–65.

Claessens L., A. Knapen, M.G. Kitutu, J. Poesen, J.A. Deckers. (2007). Modelling landslide hazard, soil redistribution and sediment yield of landslides on the Ugandan footslopes of Mount Elgon.*Geomorphology*, **90**: 23–35.

Corominas, J., C. van Westen , P. Frattini, L. Cascini, J.-P. Malet, S. Fotopoulou, F. Catani, M. Van Den Eeckhaut, O. Mavrouli, F. Agliardi, K. Pitilakis, M.G. Winter, M. Pastor, S. Ferlisi, V. Tofani, J. Hervás, J.T. Smith. (2014). Recommendations for the quantitative analysis of landslide risk. *Bull Eng Geol Environ*, **73**: 209–263.

Cover, M., C. May, V. Resh, W. Dietrich. (2006). Technical Report on Quantitative Linkages Between Sediment Supply, Streambed Fine Sediment, and Benthic Macroinvertebrates in Streams of the Klamath National Forest United States Forest Service, Pacific Southwest Region, and Klamath National Forest. *Technical Report*, pp. 33.

Dadson, S.J., N. Hovius, H.Chen, W.B. Dade, J.C. Lin, , M.L. Hsu, C.W. Lin, M.J. Horng. T.C. Chen, J. Milliman, C.P. Stark. (2004).Earthquake-triggered increase in sediment delivery from an active mountain belt. *Geology*, **32**: 733–736. doi: 10.1130/G20639.1

Feizizadeh, B., M. ShadmanRoodposhti, P. Jankowski, T. Blaschke. (2014). A GIS-based extended fuzzy multi-criteria evaluation for landslide susceptibility mapping. *Computers and Geosciences*, **73**:208–221. http://dx.doi.org/10.1016/j. cageo. 2014. 08. 001.

Hewitt, K., J.J. Clague, J.F. Orwin. (2008). Legacies of catastrophic rock slope failures in mountain landscapes. *Earth Science Reviews*, **87**: 1–38.

Hsu, S.M., H.Y. Wen, N.C. Chen, S.Y. Hsu, S.Y. Chi., (2012). Using an integrated method to estimate watershed sediment yield during heavy rain period: a case study in Hualien County, Taiwan. *Natural Hazards and Earth System Sciences***, 12**: 1949–1960.

Korup, O., J.J. Clague. (2009). Natural hazards, extreme events, and mountain topography. *Quaternary Science Reviews*, **28:** 977–990.

Mohammady, M., H.R. Pourghasemi, B. Pradhan. (2012). Landslide susceptibility mapping at Golestan Province, Iran: A comparison between frequency ratio, Dempster–Shafer, and weights-of-evidence models.*Journal of Asian Earth Sciences***, 61**: 221–236.