

عنوان مقاله

بررسی تاثیر الگوی زمانی بارندگی بر تولید رواناب و فرساینده‌گی باران با استفاده از شبیه ساز باران
مطالعه موردی در حوزه الوند بر روی سه سازند حساس به فرسایش (آغاچاری، میشان و گچساران)

حمیدرضا مجردی گیلان^۱ دکتر علی سلاجقه^۲ دکتر محمد جعفری^۳ دکتر حسن احمدی^۴ دکتر محمدرضا بی همتا^۵

چکیده

تولید رواناب و رسوب یکی از فرایندهای پیچیده و مهم است که متغیرهای متعددی در آن دخالت دارند. در روابط و مدل های برآورد رواناب و رسوب متغیرهای مختلف لحاظ می گردند. یکی از متغیرهای با اهمیت و موثر که کمتر مورد توجه قرار می گیرد، الگوی توزیع زمانی بارندگی است. این متغیر مستقل تاثیر بسزایی در کمیت و کیفیت رواناب و رسوب تولیدی در حوزه های آبخیز دارد. در این تحقیق ابتدا الگوی توزیع زمانی بارندگی از سه روش میانگین ترسیمی پیلگریم، میانگین محاسباتی پیلگریم و روش احتمالاتی هاف در حوزه آبخیز الوند واقع در محدوده ی شهرستان های قصر شیرین و گیلانغرب از توابع استان کرمانشاه تعیین و پس از مقایسه این الگوها با الگوهای تیپ سرویس حفاظت خاک ایالات متحده امریکا^۱، تاثیر یکی از الگوهای تعیین شده بر تولید رواناب و رسوب بر روی سازنده های گروه فارس (آغاچاری، میشان و گچساران) مورد بررسی قرار می گیرد. بر اساس نتایج این روش ها، رگبارهای گروه تداومی ۳-۱ ساعته دارای الگوی چارک چهارم، بارش های ۶-۳ ساعته دارای الگوی چارک اولی و الگوی کلی بارش های با پایه های زمانی مختلف نیز چارک اولی تعیین شده است. مقایسه الگوهای منطقه ای با الگوهای تیپ SCS، هیچگونه شباهتی را بین الگوهای منطقه ای و الگوهای SCS نشان نداده است. سپس رگبار یک ساعته چارک اولی بر روی سازنده های گروه فارس به کمک یک دستگاه باران ساز از نوع غیرفشاری و در سه شیب ۲۰، ۱۰ و ۴۰ درصد و در شرایط یکسان از نظر پوشش گیاهی، رطوبت اولیه و کاربری شبیه سازی گردید. داده های برداشت شده از نتایج این شبیه سازی ها به کمک توزیعات آماری مناسب مانند تحلیل واریانس^۲، تحلیل عاملی^۳، آزمون LSD، توکی^۴، شف^۵ و تحلیل رگرسیون تجزیه و تحلیل گردید. همبستگی میزان هرزآب و رسوب در کلیه سازنده ها مستقیم و در حد بالایی بوده است. این همبستگی در سازند آغاچاری برای دو وضعیت رعایت و عدم رعایت الگوی توزیع زمانی بارش به ترتیب ۰،۹۲ و ۰،۸۷؛ سازند میشان ۰،۷۲ و ۰،۸۳ و سازند گچساران ۰،۹۲ و ۰،۸۳ بوده است. مقایسه تاثیر الگوی بارش درون سازنده ها نشان می دهد که در تمامی

^۱ - عضو هیئت علمی دانشگاه آزاد اسلامی واحد سنندج

^۲ - استادیار دانشکده منابع طبیعی دانشگاه تهران

^۳ - استاد دانشکده منابع طبیعی دانشگاه تهران

^۴ - استاد دانشکده منابع طبیعی دانشگاه تهران

^۵ - استاد دانشکده کشاورزی دانشگاه تهران

^۶ - Soil Conservation Service (SCS)

^۷ - ANOVA

^۸ - Factor Analysis

^۹ - TukeyHSD

^{۱۰} - Scheffe

سازندها با تغییر الگوی بارش، همبستگی متغیرهای رسوب، رواناب و ضریب رواناب نیز تغییر می کند که این امر موید تاثیر الگوی توزیع زمانی بارش بر تولید رواناب و رسوب در سازندهای مورد مطالعه می باشد. به منظور مقایسه ی تاثیر الگوی توزیع زمانی بارش بر تولید رواناب و رسوب در سازندهای گروه فارس، آزمون فرض انجام و علاوه بر تحلیل واریانس، آزمون های *LSD*، توکی، دانکن و شف نیز به عمل آمد. نتیجه کلی این آزمون ها نشان می دهد که در سطح ۰,۰۵ بین آغاجاری، میشان و گچساران از نظر حساسیت به الگوی توزیع زمانی بارندگی تفاوت معنی داری در تولید رواناب و رسوب وجود ندارد. نتایج آزمون تحلیل عاملی نیز این نتیجه را تایید نموده است. برای بررسی اثر میزان شیب بر تولید رواناب و رسوب آزمون فرض انجام شد و نتایج تحلیل واریانس و آزمون *LSD* و توکی همگی این تاثیر را تایید کرده اند. علاوه بر آن، مشخص گردید که شیب های ۱۰ و ۲۰ درصد را می توان در یک گروه و شیب ۴۰ درصد را در یک گروه قرار داد. به عبارت دیگر بین دو شیب ۱۰ و ۲۰ درصد تفاوت معنی داری از نظر تولید رواناب و رسوب مشاهده نگردید، اما تاثیر شیب ۴۰ درصد در تولید رواناب و رسوب متفاوت از شیب های گروه اول (۱۰ و ۲۰ درصد) بوده است. در نهایت نتایج بررسی اثر خصوصیات خاک بر تولید رواناب و رسوب نشان داده است که در سازند آغاجاری درصد سیلت و درصد رس، در سازند میشان درصد سیلت و درصد ماده آلی و در سازند گچساران درصد سیلت و درصد ماده آلی دارای بیشترین تاثیر در تولید رواناب و رسوب بوده است.

مقدمه

فرسایش خاک یکی از معضلات و پدیده‌هایی است که در نتیجه دخالت‌های بی جا و نابخردانه انسان در طبیعت به وجود می‌آید. بدیهی است که منظور از فرسایش، فرسایش غیر طبیعی یا مخرب است. برای کاهش این نوع فرسایش انجام اقدامات حفاظت خاک و آبخیزداری اجتناب‌ناپذیر است. اولین قدم در راه مبارزه با فرسایش، بررسی و برآورد نوع و میزان فرسایش در حوزه آبخیز است که این کار به کمک داده‌های میدانی و مدل‌های تجربی امکان‌پذیر است. با توجه به پیچیدگی طبیعت، متغیرهای متعدد و مختلفی در کمیت و کیفیت فرسایش دخالت دارند که یکی از مهمترین آن‌ها "بارش" است. بدون تردید از دیدگاه فرسایش‌آبی، مهمترین و عمده‌ترین نوع بارش، بارندگی است. یکی از ویژگی‌های مهم بارندگی که در کمیت و کیفیت فرسایش موثر است، توزیع زمانی بارندگی^۱ است که متاسفانه کمتر بدان توجه می‌شود. منظور از توزیع زمانی بارندگی، میزان حجم بارش در مقاطع مختلف زمانی بارش است. برای مطالعه و بررسی تاثیر این عامل بر رواناب و فرسایش، ابتدا لازم است الگوی توزیع زمانی بارندگی در منطقه مورد مطالعه تعیین گردد و سپس الگوهای بارندگی تعیین شده بر روی خاک‌های منطقه شبیه‌سازی گردد. این کار به کمک دستگاه شبیه‌ساز باران^۲ انجام پذیر خواهد بود. در این تحقیق با هدف ارزیابی تاثیر الگوی توزیع زمانی بارندگی بر تولید رواناب و رسوب، پاسخ به سوالات زیر مدنظر بوده است:

- ۱- الگوی توزیع زمانی بارش در منطقه مورد مطالعه چگونه است؟ آیا این الگو با الگوهای تیپ SCS تطابق دارد؟
- ۲- تاثیر الگوی بارش بر تولید رواناب و رسوب در سازندهای گروه فارس چگونه است؟

در زمینه تحقیقات انجام شده در خصوص تعیین الگوی توزیع زمانی بارش می‌توان به موارد زیر اشاره کرد:

بیدختی (۱۳۷۴) برای استان سمنان، اسکندری (۱۳۷۵) برای مهرآباد تهران، طاهری زارع (۱۳۷۶) برای استان خوزستان، رضی (۱۳۷۹) برای تهران، حجام و مالکی فرد (۱۳۸۱) در خراسان، تلوری و همکاران (۱۳۸۱) در شمال کشور الگوی زمانی بارندگی را به روش‌های مختلف ترسیمی و یا محاسباتی تعیین کرده‌اند. در زمینه تعیین الگوی توزیع زمانی بارندگی در بسیاری از کشورهای دنیا مطالعات متعددی انجام شده است و محققان به تعیین الگوی توزیع زمانی بارندگی با استفاده از روش‌های مختلف از جمله روش‌های هاف^۳ و پیلگریم^۴ اقدام نموده‌اند. اکثر مطالعات انجام شده با هدف تعیین الگوی منطقه‌ای و مقایسه آن با الگوهای تیپ صورت گرفته است. در زمینه‌ی استفاده از باران‌سازها در تحقیقات منابع طبیعی به چند مورد اشاره می‌شود: مولودی (۱۳۷۹)، محمدزاده (۱۳۸۴)، شکل‌آبادی، خادمی و چرخابی، شریفی، صفارپور، ایوب زاده و وکیلی (۱۳۸۱)، رضوی، رئیس‌یان، صادقی و رضوی در حوضه‌های کارون و زاینده‌رود (۱۳۸۵) و بالاخره طرح پژوهشی با عنوان "مقایسه رواناب و میزان رسوب در سازند لهری با استفاده از دستگاه باران‌ساز در زیرحوضه گلال‌مورت" توسط کارشناسان مرکز تحقیقات آبخیزداری استان خوزستان در سال ۱۳۷۷ به انجام رسیده است. در خارج از

^۱ - Temporal Distribution of Rainfall

^۲ - Rain Simulator

^۳ - Huff

^۴ - Pilgrim

کشور، بنتلی^۱ مطالعاتی در خصوص قطرات باران انجام داد. سپس هورتون^۲ یک دستگاه ساده اسپری مانند را برای تعیین ظرفیت نفوذپذیری در پلات های کوچک مورد استفاده قرار داد. پس از این زمان محققان متعدد دیگری از جمله دیلی، هایس و همکاران^۳، تورنر^۴، بارت و راجرز^۵، کلینیک^۶، لوسبی^۷، سینگر و بلاکارد^۸، گابریل و مولدنهاور^۹، هارمون و مایر^{۱۰}، ژانگ و میلر^{۱۱} و کرکبای^{۱۲} در تحقیقات خود از شبیه ساز باران استفاده نمودند. بر اساس نتایج جستجوی اینترنتی و منابع دیگر، هیچگونه بررسی در زمینه ی تاثیر الگوی توزیع زمانی بارندگی بر رواناب و رسوب انجام نشده است و این امر موید بدیع بودن این موضوع می باشد. البته بررسی شدت بارندگی بر تولید رواناب و فرسایش فراوان انجام گردیده است. ارشم (۱۳۷۵) رواناب و رسوب سازندهای مختلف زمین شناسی حوزه آبخیز ابوالفارس رامهرمز خوزستان را با استفاده از دستگاه باران ساز مورد بررسی و مطالعه قرار داده است. ایشان بر روی دو سازند آجاجاری و میشان و برای شیب های ۲٫۵٪، ۷٫۵٪، ۱۵٪ و ۳۰٪ رگبارهای ۱۰ دقیقه ای را شبیه سازی کرده است و با اندازه گیری هرزآب و رسوب تولیدی نتیجه گرفته است که سازند میشان روی هم رفته از نفوذپذیری کمتر و فرسایش پذیری بیشتری نسبت به سازند آجاجاری برخوردار است. حشمتی (۱۳۷۵) سازندهای مارنی قصرشیرین و نفت شهر را از نظر زمین شناسی و فرسایش مورد مطالعه قرار داده است. وی نتیجه گرفته است که سازندهای آجاجاری، گچساران و پابده (سازندهای مارنی) در کلاس فرسایشی زیاد و سازندهای آسماری و بخش آهکی امام حسن از سازند گورپی در کلاس فرسایشی کم تا متوسط قرار می گیرند. دکتر حائری سنگ های استان کرمانشاه را از نظر فرسایش پذیری در ۱۰ کلاس (کلاس یک دارای سست ترین لیتولوژی و کلاس ۱۰ دارای سخت ترین یا پایدارترین لیتولوژی) دسته بندی نموده است. در این تحقیق، سازندهای آجاجاری و میشان در کلاس فرسایشی ۶ و سازند گچساران در کلاس فرسایشی ۷ قرار گرفته اند.

^۱- Bentley (۱۹۰۴)

^۲- Horton (۱۹۱۴)

^۳- Diley & Hays et al (۱۹۳۲)

^۴- Turner (۱۹۶۴)

^۵- Barnett & Rogers (۱۹۶۶)

^۶- Kilinc (۱۹۷۲)

^۷- Lussby (۱۹۷۷)

^۸- Singer & Blackard (۱۹۷۷)

^۹- Gabriels & Moldenhauer (۱۹۷۸)

^{۱۰}- Harmon & Meyer (۱۹۷۹)

^{۱۱}- Zhang & Miller (۱۹۹۳)

^{۱۲}- Kerchey (۲۰۰۱)

روش تحقیق

در بخش اول این تحقیق، الگوی توزیع زمانی بارش به سه روش ترسیمی پیلگریم، روش محاسباتی پیلگریم و روش احتمالاتی هاف برای گروه‌های تداوم ۱-۳، ۶-۳ و ۱۲-۶ ساعته و همچنین کلیه گروه‌های تداومی تعیین و سپس با الگوهای تیپ SCS مورد مقایسه قرار گرفته اند. پس از تعیین الگوهای توزیع زمانی بارندگی منطقه ای، در بخش دوم این پژوهش رگبارهای یک ساعته با الگوی چارک اولی به کمک یک دستگاه باران ساز بر روی سازندهای مورد مطالعه شبیه سازی گردیده است و علاوه بر آن تاثیر شیب و خصوصیات مختلف خاک بر روی تولید رواناب و رسوب مورد مطالعه و بررسی قرار گرفته است.

روش میانگین ترسیمی پیلگریم

این روش توسط پیلگریم (۱۹۷۵) برای ۱۶ پایه زمانی مختلف در ایستگاه سیدنی استرالیا بر اساس ۵۰ سال آمار باران نگاری ابداع گردید. در این روش پیل گریم و همکاران، منحنی تجمعی میانگین و منحنی بدون بعد باران طراحی را برای پایه های زمانی مختلف محاسبه کردند. برای این کار، منحنی های تجمعی مستقل (منفرد) به منحنی های تجمعی بدون بعد تبدیل شدند که در آن ها باران به صورت درصدی از کل باران و زمان به صورت درصدی از کل تداوم بارش محاسبه گردید. در این منحنی ها، محور افقی زمان رگبار و محور عمودی میزان بارش را به صورت بی بعد نشان می دهد. روش ترسیمی پیل گریم این امکان را فراهم می سازد که بتوان رگبارهای مختلف با پایه های زمانی و حجم بارش متفاوت را روی یک صفحه نمایش داده و با یکدیگر مقایسه نمود. در این تحقیق مشخص شد که با این روش نمی توان به یک الگوی عمومی دست یافت.

روش میانگین محاسباتی پیلگریم (روش رتبه بندی)

روش ترسیمی پیل گریم و همکاران مبتنی بر منحنی های تجمعی بدون بعد بود، اما چون این روش شاخص و معرف واقعی و مناسبی از همه ی رگبارها نبود، روش دیگری را معرفی نمودند که به کمک آن الگوهای توزیع زمانی رگبارهای با تداوم مختلف را برای ایستگاه باران نگار سیدنی استخراج نمودند. این روش مبتنی بر تجزیه بارندگی های شدید به اجزا یا بلوک های بارندگی و شمارش فراوانی وقوع بزرگترین جزء بارش در موقعیت های مختلف زمانی در طول مدت بارش است. این عمل برای بقیه بلوک ها نیز تکرار می شود و نهایتا میانگین فراوانی وقوع اجزا یا بلوک های مختلف در طول مدت بارندگی تعیین می شود. در آخرین مرحله، الگوی توزیع زمانی بارندگی به دست می آید.

روش احتمالاتی هاف

هاف (۱۹۶۷) نیز توزیع زمانی باران را برای رگبارهای شدید منطقه ای به وسعت ۴۰۰ مایل مربع استخراج نمود. وی با استفاده از داده های پیوسته یک شبکه ی متمرکز شامل ۴۹ ایستگاه باران نگاری در شرق ایالت ایلی نویز مرکزی، الگوی توزیع زمانی باران را تعیین و استخراج نمود. در این روش توزیع زمانی باران به وسیله ی یک منحنی که در

آن بارش به صورت درصدی از کل بارش (تجمعی) در محور افقی و تداوم بارش در محور عمودی نمایش داده می شود. هاف مدل های توزیع زمانی را به دلیل تغییرات زیاد از یک رگبار به رگبار دیگر به صورت توزیع احتمالی ارائه نمود. وی رگبارهای انتخابی خود را بر اساس اینکه حداکثر مقدار بارش در کدام چارک از تداوم یا زمان رگبار اتفاق افتاده است، طبقه بندی نموده است. بدین ترتیب که کلیه ی رگبارهایی که حداکثر مقدار بارش آن ها در اولین ربع یا ۲۵٪ تداوم رگبار رخ داده است، رگبارهای چارک اول و آن هایی که بیشترین مقدار بارش در دومین ۲۵٪ تداوم باریده باشد، رگبارهای چارک دوم و به همین ترتیب تا رگبارهای چارک چهارم نام گذاری نموده است. جدول ۱ درصد فراوانی گروه های مختلف تداومی رگبارها را در چارک های اول تا چهارم نشان می دهد. چنانچه در این جدول مشاهده می شود رگبارهای چارک چهارمی بیشتر در تداوم های بیش از ۲۴ ساعت اتفاق می افتند، در حالی که رگبارهای چارک اول و دوم اغلب در تداوم های کمتر از ۱۲ ساعت و رگبارهای چارک سومی در گروه تداوم های ۱۲-۲۴ ساعته اتفاق می افتند. به طور کلی با ترکیب تمام رگبارها مشخص می گردد که ۴۲٪ رگبارهای مورد مطالعه در تحقیق انجام شده توسط هاف در تداوم های کمتر از ۱۲ ساعت، ۳۳٪ در تداوم های ۱۲-۲۴ و ۲۵٪ باقیمانده در تداوم های بیشتر از ۲۴ ساعت قرار می گیرند.

جدول ۱- درصد فراوانی رگبارها در چارک های مختلف

درصد از تداوم های داده شده					
چارک	تداوم (ساعت)	<۱۲	۱۲-۲۴	>۲۴	فراوانی وقوع چارک (%)
اول		۴۵	۲۹	۲۰	۳۲
دوم		۵۰	۳۳	۱۷	۳۴
سوم		۳۵	۴۲	۲۳	۲۵
چهارم		۲۲	۲۶	۵۲	۰
تمام رگبارها		۴۲	۳۳	۲۳	۱۰۰

نتایج

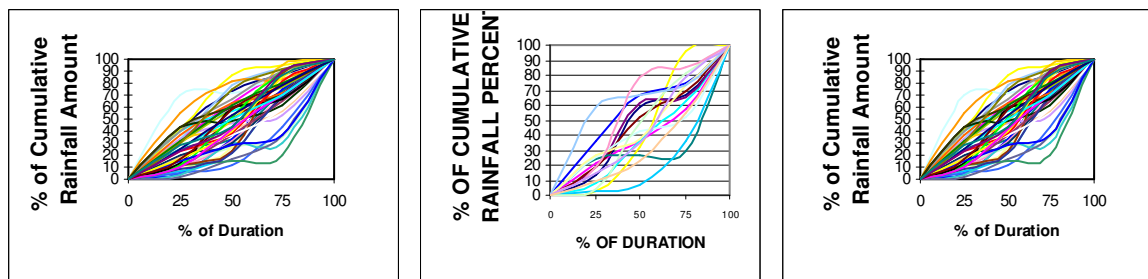
الگوی توزیع زمانی بارش به روش میانگین ترسیمی پیلگریم

الگوی توزیع زمانی گروه های تداومی ۱-۳، ۱۲-۶ و کلیه گروه های تداومی در حوزه آبخیز الوند به روش ترسیمی پیلگریم در شکل ۱ نشان داده شده است. بدیهی است تعیین و استخراج الگوی توزیع زمانی بارندگی از روی دسته منحنی ها به صورت چشمی و با دید کارشناسی با خطا و اشتباه توأم خواهد بود، لذا برای رفع این مشکل و بر اساس داده های موجود، سهم هر چارک یا ۲۵٪ زمانی در قالب پای چارت و هیستوگرام تهیه و در اشکال ۲ تا ۴ نمایش داده شده است. همانطور در این اشکال نیز دیده می شود رگبارهای ۱-۳ ساعته چارک چهارمی، رگبارهای ۶-۳ ساعته دارای الگوی چارک اولی و بطور کلی رگبارهای تداوم های مختلف این حوضه دارای الگوی توزیع زمانی چارک اولی می باشند. بنابراین

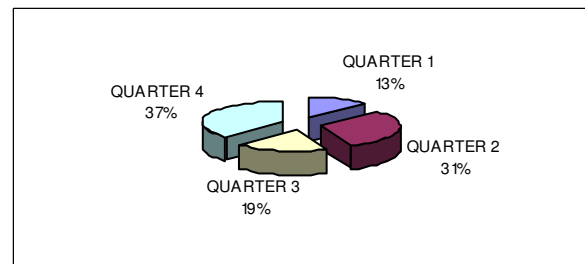
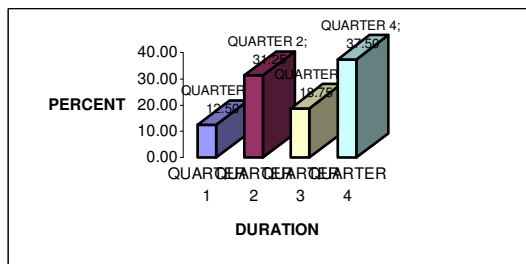
می توان گفت که در مجموع و بدون توجه به پایه زمانی رگبارها، الگوی توزیع زمانی رگبارهای حوزه آبخیز الوند با استفاده از روش ترسیمی پیلگریم، چارک اولی است. به عبارت دیگر، در این منطقه بیشترین حجم بارش در ۲۵٪ اول زمان وقوع رگبار اتفاق می افتد و پس از آن بیشترین درصد و سهم مربوط به رگبارهای چارک سوم، چهارم و دوم می باشد.

الگوی توزیع زمانی بارش به روش میانگین محاسباتی پیلگریم (روش رتبه بندی)

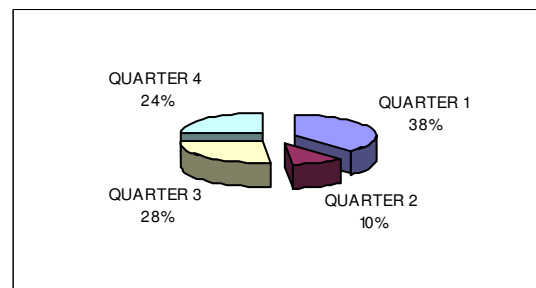
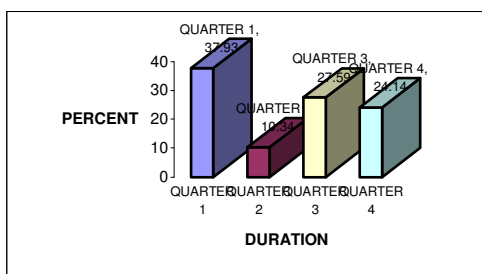
الگوی توزیع زمانی رگبارهای حوزه آبخیز مورد مطالعه به روش محاسباتی پیلگریم در تداوم های ۱-۳ ساعته در جدول ۲ ارائه گردیده است. چنانچه در ردیف آخر این جدول مشاهده می شود رگبارهای چارک چهارم با ۴۸،۳۴٪، چارک دوم با ۲۷،۸۸٪، چارک سوم با ۱۵،۹۴٪ و چارک اول با ۸،۱۳٪ به ترتیب معرف الگوی توزیع زمانی رگبارهای ۱-۳ ساعته در حوزه آبخیز الوند می باشند. به بیان دیگر، رگبارهای ۱-۳ ساعته این حوزه در روش محاسباتی پیلگریم از نوع



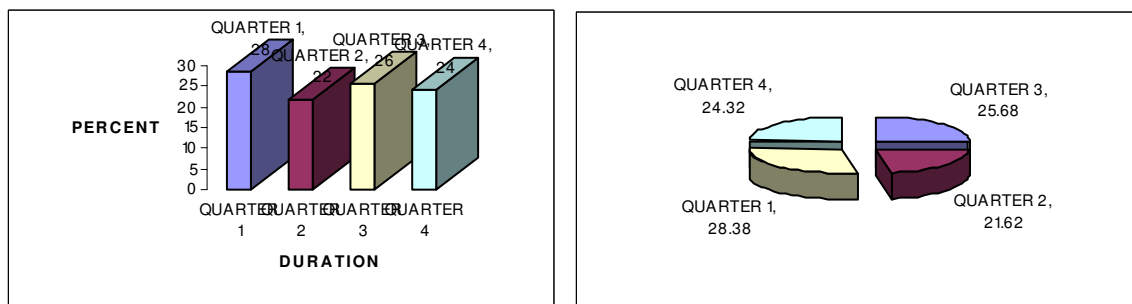
شکل ۱- الگوی توزیع زمانی بارش های ۱-۳ ساعته (سمت راست) و ۶-۱۲ ساعته (وسط) و پایه های زمانی مختلف (سمت چپ) در حوزه آبخیز الوند به روش میانگین ترسیمی پیلگریم



شکل ۲- نمودار دایره ای و ستونی الگوی توزیع زمانی رگبارهای ۱-۳ ساعته در حوزه آبخیز قصرشیرین به روش میانگین ترسیمی پیلگریم



شکل ۳- نمودار دایره ای و ستونی الگوی توزیع زمانی رگبارهای ۳-۶ ساعته در حوزه آبخیز قصرشیرین به روش میانگین ترسیمی پیلگریم



شکل ۴- نمودار دایره ای و ستونی الگوی توزیع زمانی رگبارهای با تداوم های مختلف در حوزه آبخیز قصرشیرین به روش میانگین ترسیمی پیلگرم

چارک چهارمی بوده و لذا بیشترین حجم رگبارهای با تداوم ۳-۱ ساعته در چهارمین چارک یا ۲۵٪ زمانی تداوم رگبار اتفاق می افتد. در بارندگی های با پایه زمانی ۶-۳ ساعته ۵۰٫۷۱٪ از رگبارهای مطالعه شده از نوع چارک چهارم، ۲۶٫۲۷٪ چارک سوم، ۲۶٫۲۷٪ چارک اول و ۱۵٫۲۶٪ چارک دوم می باشند. بنابراین می توان نتیجه گرفت که رگبارهای با پایه زمانی ۶-۳ ساعته در حوزه آبخیز الوند نیز از نوع چارک چهارمی بوده و چنین رگبارهایی حداکثر (۵۰٫۷۱٪) حجم یا مقدار بارش خود را در اولین چارک یا ۲۵٪ زمانی تداوم رگبار تخلیه می نمایند. رگبارهای با تداوم مختلف نیز از نوع چارک اولی بوده و ۴۵٫۴۹٪ از حجم کلیه بارندگی ها در پایه های زمانی مختلف در چارک یا ۲۵٪ اول زمان تداوم رگبار اتفاق می افتد. چارک های دوم (۲۸٫۱۹٪)، سوم (۱۷٫۳۵٪) و چهارم (۸٫۸۱٪) به ترتیب در رده های بعدی قرار می گیرند.

الگوی توزیع زمانی بارش به روش احتمالاتی هاف

از بین رگبارهای ثبت شده توسط باران نگار ایستگاه قصرشیرین، تعداد ۳۸۲ رگبار برای تعیین الگوی توزیع زمانی رگبارها مورد استفاده و تجزیه و تحلیل قرار گرفت. بر اساس نتایج این روش که در جدول ۳ نشان داده شده است، رگبارهای چارک اول در بین تداوم های موردنظر با ۳۰٫۳۶٪ دارای بیشترین فراوانی بوده و چارک های دوم و سوم به ترتیب در رده های بعدی قرار دارند. دسته منحنی های احتمالات ۱۰ تا ۹۰٪ چارک های اول تا چهارم در اشکال ۵ و ۶ ارائه شده است.

مقایسه الگوهای توزیع زمانی منطقه ای با الگوهای تیپ دفتر حفاظت خاک امریکا (SCS)

سرویس حفاظت خاک ایالات متحده امریکا برای مناطق شهری و برون شهری مناطقی از این کشور الگویی را ارائه نموده است که به نام های I، IA، II و III معروف می باشند. بدیهی است این الگوها بر اساس داده های باران های مناطق خاصی طراحی و استخراج شده اند و بکارگیری بدون مطالعه ی آن ها در دیگر مناطق میزان خطا و ریسک را افزایش خواهد داد. در کشور ما عدم انجام مطالعات الگوی توزیع زمانی بارش در بسیاری از حوزه ها، استفاده از الگوهای تیپ را برای استفاده کنندگان تا حدی موجه جلوه می دهد، اما واقعیت این است که بکارگیری بدون مطالعه چنین الگوها و رفتارهای منطقه ای و محلی متئورولوژیکی در دیگر مناطق به هیچ وجه توجیه علمی ندارد، مگر اینکه قبل از استفاده و بکارگیری آن ها به دقت با الگوهای موجود در منطقه مقایسه شده و در صورت تطابق الگو با شرایط و الگوهای منطقه ای

با رعایت احتیاط و دقت لازم از آن ها استفاده گردد. در این تحقیق با همین هدف، الگوی بارش ۲۴ ساعته منطقه مورد مطالعه با الگوی بارش ۲۴ ساعته تیپ های چهارگانه SCS در جدول ۴ مورد مقایسه قرار گرفته است. چنانچه در این جدول دیده می شود هیچیک از الگوهای تیپ SCS با الگوی توزیع زمانی بارش های ۲۴ ساعته ایستگاه قصرشیرین مطابقت و حتی نزدیکی ندارد. تنها الگوی تیپ II در ۲۵٪ دوم از تداوم بارش (۲۵،۹) تا حدی به مقدار بارش ایستگاه قصرشیرین در همین چارک زمانی (۲۱،۶۸) نزدیک است، اما در مورد بقیه الگوها و چارک های زمانی هیچگونه مشابهتی وجود ندارد. بنابراین می توان نتیجه گرفت که بکارگیری الگوهای تیپ بارش های ۲۴ ساعته SCS در حوزه آبخیز الوند به هیچ وجه مجاز نبوده و قابل توصیه نمی باشد. استفاده از این الگوها برای بقیه نقاط استان کرمانشاه نیز توصیه نمی شود (بیدل، ۱۳۸۵).

شبیه سازی رگبارها

پس از تعیین الگوی توزیع زمانی بارندگی منطقه، با استفاده از یک دستگاه باران ساز از نوع غیرفشاری، رگبارهای یک ساعته بر روی سازندهای گروه فارس (آجاجاری، میشان و گچساران) شبیه سازی گردید. ابعاد کرت های آزمایشی حدود یک مترمربع انتخاب گردید. بر روی هر سازند یکبار بدون رعایت الگوی توزیع زمانی بارش و یکبار با رعایت توزیع زمانی بارش (چارک اول) و در سه شیب ۱۰،۲۰ و ۴۰ درصد و سه تکرار شبیه سازی ها انجام شد. به منظور کاهش تعداد متغیرهای مستقل، آزمایشات در شرایط یکسان پوشش گیاهی، رطوبت خاک و جهت انجام دامنه گردید و تاثیر متغیرهای مستقل شیب، توزیع زمانی بارش و همچنین برخی خصوصیات خاک بر روی متغیرهای وابسته ی رواناب و رسوب مورد مطالعه و بررسی قرار گرفت. بر اساس اندازه گیری های رواناب و رسوب و نیز نتایج آزمایشات خاک با انجام تجزیه و تحلیل های آماری نتایج زیر حاصل گردید:

تاثیر الگوی توزیع زمانی بارش بر تولید رواناب و رسوب سازندها

در این قسمت میزان همبستگی مقادیر اندازه گیری شده ی رواناب و رسوب در دو حالت "با رعایت الگوی توزیع زمانی بارش" و "بدون رعایت الگوی توزیع زمانی بارش" به تفکیک هر متغیر و هر سازند بررسی گردید. در سازند آجاجاری میزان رواناب در دو وضعیت رعایت و عدم رعایت الگوی بارش دارای همبستگی ۰،۸۱۹ در سطح معنی داری ۰،۰۱ بوده است. بین متغیر مستقل ضریب رواناب نیز در دو وضعیت موردنظر همبستگی ۰،۸۲۲ در همان سطح معنی داری برقرار است و بالاخره متغیر وابسته ی میزان رسوب در دو وضعیت رعایت و عدم رعایت الگوی بارش همبستگی ۰،۶۳۴ را در سطح معنی داری ۰،۰۵ نشان داده است. در سازند میشان بین میزان رواناب در دو وضعیت با و بدون رعایت الگوی بارش همبستگی نسبتاً ضعیف ۰،۶۸۶ در سطح معنی داری ۰،۰۵ برقرار است. همبستگی متغیر ضریب رواناب در این سازند در دو وضعیت پیش گفته برابر ۰،۶۷۴ می باشد و سرانجام همبستگی میزان رسوب در دو وضعیت موردنظر برابر ۰،۶۸۳ می باشد. در سازند گچساران همبستگی رواناب در دو حالت موردنظر برابر ۰،۰۷۶، ضریب رواناب در دو حالت برابر ۰،۰۷۹ است که نزدیک به صفر می باشند. به عبارت دیگر میزان و ضریب رواناب در این سازند در دو وضعیت رعایت و

عدم رعایت الگوی توزیع زمانی بارش از همبستگی بسیار ضعیفی برخوردار می باشند. میزان همبستگی رسوب در دو وضعیت، برابر ۰,۰۴۲ است.

مقایسه تاثیر الگوی توزیع زمانی بارش بر تولید رواناب و رسوب بین سازندها

یکی از سوالات اصلی تحقیق، بررسی تاثیر الگوی توزیع زمانی بارش بر تولید رواناب و رسوب در سازندهای مورد مطالعه (آجاجاری، میشان و گچساران) و مقایسه تاثیرپذیری هریک از سازندهاست. برای این منظور از آزمون F یا تحلیل واریانس استفاده گردید. پس از تعیین فرض های آزمون، میانگین رواناب و رسوب تولیدی هر سه سازند به همراه کد مشخصه هر سازند در محیط نرم افزار SPSS وارد گردید. در این آزمون از روش های LSD، توکی، دانکن و شف نیز استفاده شده است. نتایج تمامی آزمون ها تفاوت معنی داری را در بین سه سازند از نظر تاثیرپذیری از الگوی توزیع زمانی بارش تایید نکردند.

بررسی اثر شیب بر تولید رواناب و رسوب در سازندها

بر اساس نتایج آزمون فیشر برای بررسی اثر سه شیب ۱۰٪، ۲۰٪ و ۴۰٪ بر روی تولید رواناب و رسوب در سازندهای مورد مطالعه مشخص گردید که شیب در تولید رواناب تاثیر دارد. برای رسوب نیز چنین نتیجه ای به دست آمد. نتایج آزمون های توکی و LSD برای داده های شیب نشان می دهد که اثرات دو شیب ۱۰ و ۲۰ درصد با شیب ۴۰ درصد کاملاً متفاوت می باشد و در گروه بندی شیب ها، باید دو شیب ۱۰ و ۲۰ درصد در یک گروه و شیب ۴۰ درصد در یک گروه جداگانه قرار داده شود.

بررسی تاثیر خصوصیات خاک بر تولید رواناب و فرسایش

به منظور بررسی و مطالعه ی خصوصیات خاک بر تولید رواناب و رسوب در سازندهای مورد مطالعه و در جهت کاهش و یا دسته بندی متغیرها از روش تحلیل عاملی استفاده گردید. در این تحلیل متغیرها به گونه ای دسته بندی می شوند که در نهایت به دو یا چند عامل که همان مجموعه ی متغیرها هستند، محدود می گردند. آزمون تحلیل عاملی برای داده های اندازه گیری شده ی نمونه های خاک به تفکیک هر سازند انجام شد. در این تحلیل بر اساس نتایج آزمایشات نمونه های خاک، تاثیر پارامترهای درصد رس، درصد سیلت، درصد شن، درصد کربن آلی و هدایت الکتریکی به عنوان متغیرهای مستقل بر روی دو متغیر وابسته ی رواناب و رسوب بررسی گردید. در سازند آجاجاری بیشترین میزان همبستگی با رواناب به ترتیب مربوط به رسوب (۰,۹۸۹)، درصد سیلت (۰,۷۹۳) و پس از آن درصد رس (۰,۷۰) بوده است. در مورد رسوب نیز بیشترین همبستگی به ترتیب مربوط به رواناب (۰,۹۸۹)، درصد شن (۰,۸۷۴) و درصد رس (۰,۷۹۹) بوده است. در سازند میشان بیشترین میزان همبستگی با رواناب به ترتیب مربوط به رسوب (۰,۹۵۴)، درصد سیلت (۰,۷۱۲) و درصد رس (۰,۵۸۶) می باشد. در مورد رسوب نیز بیشترین همبستگی به ترتیب مربوط به رواناب (۰,۹۵۴)، درصد سیلت (۰,۸۹۰) و درصد ماده آلی (۰,۸۰۳) به دست آمده است. در سازند گچساران بیشترین میزان همبستگی با رواناب به ترتیب متعلق به رسوب (۰,۹۵۸)، درصد سیلت (۰,۵۵۰) و درصد ماده آلی (۰,۴۵۱) بوده است. همچنین رواناب (۰,۹۵۸)، درصد سیلت (۰,۲۸۸) و درصد ماده آلی (۰,۱۷۷) به ترتیب دارای بیشترین همبستگی با رسوب بوده اند.

جدول ۲- تعیین الگوی توزیع زمانی رگبارهای ۳-۱ ساعته در حوزه آبخیز الوند به روش محاسباتی پیل گریم

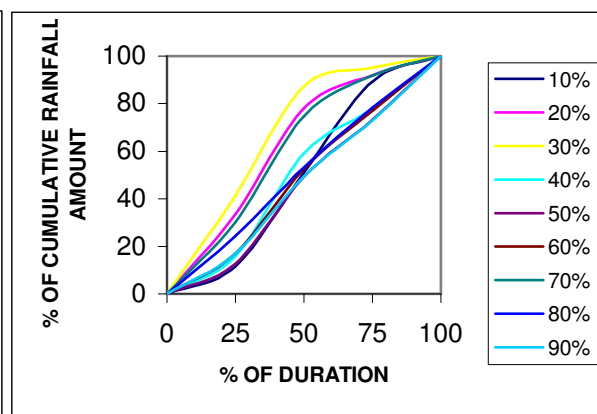
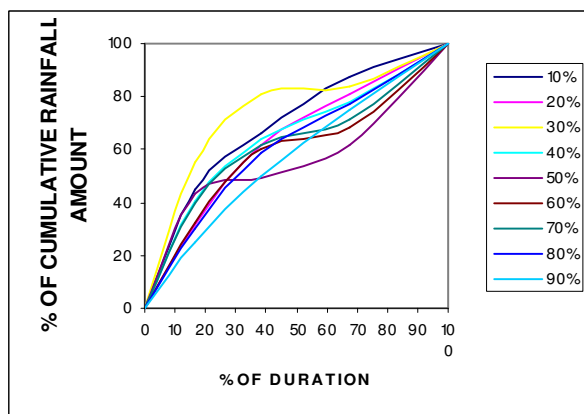
بارش دریافتی هر رتبه (%)				رتبه بارش				مقدار بارش هر دوره (mm)				ردیف	بارندگی به mm	
رتبه ۴	رتبه ۳	رتبه ۲	رتبه ۱	دوره ۴	دوره ۳	دوره ۲	دوره ۱	دوره ۴	دوره ۳	دوره ۲	دوره ۱	(۳)	(۲)	
(۱۵)	(۱۴)	(۱۳)	(۱۲)	(۱۱)	(۱۰)	(۹)	(۸)	(۷)	(۶)	(۵)	(۴)			
۳	۴	۲۹	۶۵	۳	۱	۲	۴	۱	۱۸,۱	۸,۱	۰,۸	۱	۲۸	
۷	۲۷	۲۹	۳۷	۱	۳	۲	۴	۳,۹۵	۲,۹	۳,۰۵	۰,۸	۲	۱۰,۷	
۴	۱۹	۳۵	۴۳	۲	۴	۱	۳	۲,۸	۰,۳	۳,۵	۱,۵	۳	۸,۱	
۱۷	۱۹	۳۱	۳۳	۲	۴	۱	۳	۲,۹	۱,۶	۳,۰۵	۱,۷۵	۴	۹,۳	
۳	۳	۲۵	۷۰	۱	۳	۳	۲	۷,۷	۰,۳	۰,۳	۲,۷	۵	۱۱	
۹	۲۵	۳۰	۳۶	۳	۴	۲	۱	۲,۲	۰,۷۵	۲,۶۵	۳,۲	۶	۸,۸	
۳	۴	۲۹	۶۵	۱	۲	۳	۴	۶,۴۵	۲,۸۵	۰,۴	۰,۳	۷	۱۰	
۸	۱۴	۳۳	۴۵	۲	۴	۱	۳	۱,۶	۰,۴	۲,۱۵	۰,۶۵	۸	۴,۸	
۹	۱۸	۲۵	۴۸	۱	۴	۳	۲	۱۳	۲,۳۵	۴,۸	۶,۸۵	۹	۳۷,۱	
۴	۱۹	۳۴	۴۴	۳	۲	۱	۴	۲,۶	۴,۷	۶,۲	۰,۵	۱۰	۱۴	
۱۰	۲۶	۲۶	۳۷	۳	۱	۴	۲	۳,۲۵	۴,۶۵	۱,۳	۳,۳	۱۱	۱۲,۵	
۷	۸	۲۶	۵۹	۲	۴	۳	۱	۵,۹۵	۱,۵	۱,۷۵	۱۳,۳	۱۲	۲۲,۵	
۷	۱۵	۱۹	۵۹	۳	۴	۱	۲	۰,۹۵	۰,۴۵	۳,۸	۱,۲	۱۳	۶,۴	
۱۵	۲۱	۲۲	۴۲	۱	۲	۴	۳	۸	۴,۱	۲,۸	۴	۱۴	۱۸,۹	
۱۴	۲۰	۲۱	۴۴	۲	۱	۳	۴	۲,۹۵	۶,۱	۲,۸۰	۱,۹۵	۱۵	۱۳,۸	
۱۰	۱۳	۳۲	۴۶	۱	۲	۳	۴	۴,۴	۳,۰۵	۱,۲	۰,۹۵	۱۶	۹,۶	
۸,۱۳	۱۵,۹۴	۲۷,۸۸	۴۸,۳۴	۱,۹۴	۲,۸۱	۲,۳۱	۲,۸۸	Mean						
۴,۳۶	۷,۷۸	۴,۷۲	۱۱,۵۸	۰,۸۵	۱,۲۲	۱,۰۸	۱,۰۹	Standard Deviation						
Assigned rank				۱	۳	۲	۴							
Period				۴	۳	۲	۱							
Final Pattern(% of total rainfall)				۴۸,۳۴	۱۵,۹۴	۲۷,۸۸	۸,۱۳							

جدول ۳- اطلاعات بارش های چارکی ایستگاه قصرشیرین

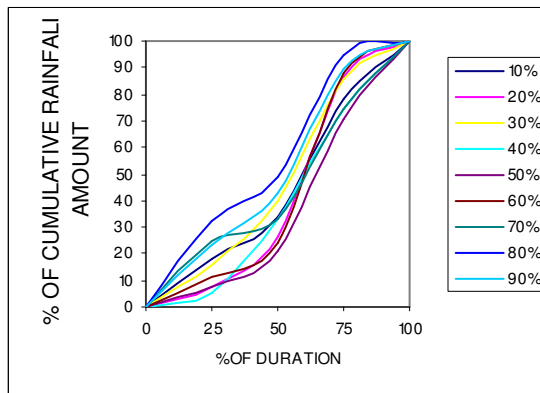
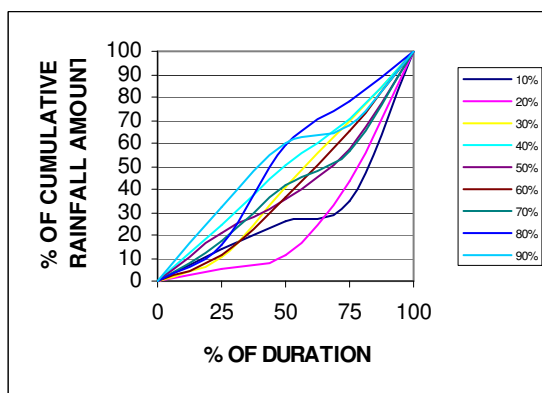
گروه تداومی (ساعت)	چارک اول		چارک دوم		چارک سوم		چارک چهارم		جمع	
	درصد	تعداد	درصد	تعداد	درصد	تعداد	درصد	تعداد	درصد	تعداد
۱	۳۶,۶۷	۴۴	۲۶,۶۷	۳۲	۲۵,۸۳	۳۱	۱۰,۸۳	۱۳	۱۰۰	۱۲۰
۲	۳۶,۱۱	۲۶	۲۹,۱۷	۲۱	۱۸,۰۶	۱۳	۱۶,۶۷	۱۲	۱۰۰	۷۲
۳	۲۶,۳۹	۱۹	۳۰,۵۶	۲۲	۲۳,۶۱	۱۷	۱۹,۴۴	۱۴	۱۰۰	۷۲
۶	۲۶,۴۱	۱۴	۳۰,۱۹	۱۶	۲۴,۵۳	۱۳	۱۸,۸۷	۱۰	۱۰۰	۵۳
۹	۲۶,۳۲	۵	۲۱,۰۵	۴	۳۱,۵۸	۶	۲۱,۰۵	۴	۱۰۰	۱۹
۱۲	۲۶,۹۲	۷	۱۵,۳۹	۴	۳۴,۶۱	۹	۲۳,۰۸	۶	۱۰۰	۲۶
۱۸	۸,۳۳	۱	۴۱,۶۷	۵	۳۳,۳۳	۴	۱۶,۶۷	۲	۱۰۰	۱۲
۲۴	۰	۰	۱۶,۶۷	۱	۳۳,۳۳	۲	۵۰	۳	۱۰۰	۶
۳۶	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۱۰۰	۱	۱۰۰	۱
۴۸	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۱۰۰	۱	۱۰۰	۱
جمع	۳۰,۳۶	۱۱۶	۲۷,۴۹	۱۰۵	۲۴,۸۷	۹۵	۱۷,۲۸	۶۶	۱۰۰۰	۳۸۲

جدول ۴- مقایسه الگوهای زمانی منطقه ای حوزه آبخیز الوند با الگوهای تیپ SCS

درصد از تداوم بارش				الگو
چارک اول	چارک دوم	چارک سوم	چارک چهارم	
۱۲,۶	۵۵,۶	۲۰	۱۱,۸	الگوی SCS (تیپ I)
۲۰,۴	۴۶	۱۹,۴	۱۴,۲	الگوی SCS (تیپ IA)
۸	۵۸,۳	۲۵,۹	۷,۸	الگوی SCS (تیپ II)
۷,۲	۴۲,۸	۴۲,۹	۷,۱	الگوی SCS (تیپ III)
۱۷,۶	۲۱,۶۸	۲۸,۷	۳۲,۰۲	ایستگاه قصر شیرین



شکل ۵- الگوی احتمالاتی توزیع زمانی رگبارهای چارک اول (سمت راست) و دوم (سمت چپ) حوزه آبخیز الوند



شکل ۶- الگوی احتمالاتی توزیع زمانی چارک سوم (سمت راست) و چارک چهارم (سمت چپ) حوزه آبخیز الوند

بحث و نتیجه گیری

به طور کلی سازندهای گروه فارس نسبت به تخریب شیمیایی و فرسایش آبی حساس می باشند. سازند آواری آغاچاری به عنوان جدیدترین سازند گروه فارس در منطقه مورد مطالعه عمدتاً در نواحی مسطح و دشت ها گسترش دارد. این سازند به دلیل دارا بودن ساختار مارنی در برابر فرسایش آبی حساس می باشد و انواع فرسایش های آبی از جمله

فرسایش رودخانه ای، شیاری و آبراهه ای (در مناطق شیب دار)، فرسایش سطحی و هدکت (عمدتا در اراضی زراعی و شخم خورده) بر روی این سازند دیده می شود. انواع مختلفی از خاک ها بر روی سازند آجاجاری تشکیل گردیده است، اما بافت غالب خاک در این سازند لوم رسی است. در سازند آجاجاری عامل اصلی فرسایش، جنس سازند است، زیرا این سازند در سطوح کم شیب منطقه گسترش دارد. البته در رخساره فرسایش خندقی عامل کاربری (کشاورزی) عامل اصلی فرسایش محسوب می شود. در این سازند بین متغیر وابسته ی رسوب در دو وضعیت رعایت و عدم رعایت الگوی توزیع زمانی بارش همبستگی ۶۳۴٪ در سطح معنی داری ۵٪ برقرار بوده است که این همبستگی نه چندان قوی مبین تاثیر الگوی توزیع زمانی بارندگی بر تولید رواناب و به تبع آن تولید رسوب است. به طور کلی هر قدر میزان همبستگی کمتر باشد اختلاف بیشتر در تولید رسوب مورد انتظار خواهد بود.

سازند مارنی میشان نیز همانند سازند آجاجاری دارای تشکیلات مارنی می باشد، اما مارن میشان از چسبندگی کمتری برخوردار است. یکی از تفاوت های سازند میشان و آجاجاری، عدم وجود گچ قابل ملاحظه در تشکیلات میشان است. مارن میشان عمدتا آهکی است. حساسیت بیشتر مارن های آهکی نسبت به مارن های گچی را می توان با توجه به نقش گچ در کاهش فرسایش توجیه نمود. بر اساس نتایج تجزیه و تحلیل انجام شده، میزان همبستگی رواناب (۶۸۶٪)، ضریب رواناب (۶۷۴٪) و تولید رسوب (۶۸۳٪) در سازند میشان در دو وضعیت رعایت و عدم رعایت الگوی بارش ضعیف تر از سازند آجاجاری بوده است. این امر نشانگر حساسیت بیشتر این سازند به الگوی توزیع زمانی بارش است. در مجموع می توان گفت که با تغییر الگوی توزیع زمانی بارندگی، مارن میشان در مقایسه با مارن آجاجاری از حساسیت بیشتری برخوردار است. از عوامل موثر در این حساسیت می توان به میزان رس، گچ و چسبندگی کمتر ذرات در سازند میشان اشاره کرد. سازند تبخیری گچساران اولین و قدیمی ترین سازند واحد فارس است که عنصر اصلی آن را مارن تشکیل می دهد. محدوده ی گسترش سازند تبخیری گچساران در حوزه آبخیز الوند مناطق کوهستانی کم ارتفاع و تپه ماهوری در جهت شمال غرب- جنوب شرق است. املاح فراوان گچ در این سازند در سطح منطقه رخنمون دارد. بافت غالب خاک این سازند لوم ماسه ای است. انواع مختلف فرسایش های آبی بر روی این سازند مشاهده می شود. به دلیل ضخامت کم لایه های سست و ریزدانه، امکان تشکیل بدلند بر روی این سازند وجود ندارد. همبستگی تولید رسوب در دو وضعیت رعایت و عدم رعایت الگوی توزیع زمانی بارندگی بسیار ضعیف (۴۲٪) به دست آمده است. این همبستگی بسیار ضعیف موید این است که میزان رسوب تولیدی در سازند گچساران در این دو وضعیت کاملاً متفاوت است.

^۱ - میلر (Miller, ۱۹۸۷) نقش گچ را در اصلاح و تثبیت خاک به کمک یک دستگاه باران ساز قابل حمل مورد مطالعه قرار داد و نتیجه گرفت که افزایش گچ به میزان قابل ملاحظه ای میزان رسوب و رواناب را کاهش می دهد.

منابع مورد استفاده

- ۱- احمدی محمد. ۱۳۷۸. بررسی پراکندگی سازندهای زمین شناسی در حوزه های آبخیز استان کرمانشاه. مجموعه مقالات علمی، مرکز تحقیقات منابع طبیعی و امور دام استان کرمانشاه.
- ۲- بیدختی طالب. ۱۳۷۴. الگوی توزیع زمانی بارش در استان سمنان، پایان نامه کارشناسی ارشد آبخیزداری. دانشگاه تهران.
- ۳- بیدل رامین. ۱۳۸۴. الگوی توزیع زمانی بارش در استان کرمانشاه. مجله علمی - پژوهشی آب و آبخیز.
- ۴- - تقفیان بهرام. ۱۳۸۱. بررسی و تعیین معیارهای ساخت باران ساز آزمایشگاهی متناسب با شرایط اقلیمی کشور، گزارش نهایی طرح تحقیقاتی. پژوهشکده حفاظت خاک و آبخیزداری.
- ۵- جهاد دانشگاهی واحد تهران، ۱۳۷۴. مطالعات تفصیلی - اجرایی منابع طبیعی تجدید شونده حوزه آبخیز گیلان غرب- کنه کبود، گزارش تلفیق و برنامه ریزی. سازمان جنگل ها و مراتع کشور، دفتر مطالعات و هماهنگی.
- ۶- حشمتی مسیب. ۱۳۷۵. بررسی سازندهای مارنی منطقه قصرشیرین و نفت شهر از نظر زمین شناسی و فرسایش. پایان نامه کارشناسی ارشد آبخیزداری، دانشگاه تهران.
- ۷- حصادی همایون. ۱۳۷۷. جمع آوری آمار و بررسی مطالعات انجام شده به منظور تهیه شناسنامه حوزه های آبخیز استان کرمانشاه. مرکز تحقیقات حفاظت خاک و آبخیزداری استان کرمانشاه.
- ۸- رضیئی طیب. ۱۳۷۹. تعیین الگوی توزیع زمانی و مکانی بارش های کوتاه مدت در استان تهران. پایان نامه کارشناسی ارشد جغرافیای طبیعی، دانشگاه تربیت مدرس.
- ۹- شریفی فرد؛ صفارپور شبنم؛ ایوب زاده سیدعلی؛ وکیل پور جعفر. ۱۳۸۳. بررسی عوامل مؤثر در تعیین آستانه شروع رواناب در مناطق خشک و نیمه خشک کشور به کمک استفاده از شبیه سازی و داده های بارش - رواناب. مجله منابع طبیعی ایران - ج ۵۷، شماره ۱.
- ۱۰- طاهری زارع، محمدرضا. ۱۳۷۷. تعیین الگوی زمانی بارش در استان خوزستان. پایان نامه کارشناسی ارشد آبخیزداری، دانشگاه تربیت مدرس.
- ۱۱- مطیعی همایون. ۱۳۸۲. زمین شناسی ایران - چینه شناسی زاگرس. سازمان انتشارات و اکتشافات معدنی کشور
- ۱۲- وزیری فریبرز. ۱۳۷۰. تجزیه و تحلیل رگبارها (تعیین منحنی های شدت - مدت - فراوانی) در نقاط مختلف ایران. انتشارات جهاد دانشگاهی دانشگاه خواجه نصیرالدین طوسی.

۱۳-The influence of the pattern of moving rainstorms on overland flow, J.L.M.P. de Lima , V.P. Singh, Advances in Water Resources

۲۵(۲۰۰۲)۸۱۷-۸۲۸

۱۴-Wilson E.M. ۱۹۸۳. Engineering Hydrology (Third Edition). MacMillan Publication.

۱۵- Subramanya K. ۱۹۹۸. Engineering Hydrology (First Edition). McGraw-Hill Publication.

۱۶-Huff F.A. ۱۹۹۰. Time Distributions of heavy rainstorms in Illinois. Illinois State Water Survey, Champaign, Circular ۱۷۳. pp ۱۶ .

۱۷- Chow V.T.; Maidment D.R. & Mays L.W. ۱۹۸۸. Applied Hydrology. McGraw Hill Book Company, New York.

۱۸-Cruciani Decio E., Machado Ronalton E. & Sentelhas Paulo C. (۲۰۰۲), Time distribution models of intense rainfall in Piracicaba, SP, Brazil. Revista Brasileira de Engenharia Agricola e Ambiental, ۶(۱): ۷-۸۲