نشریه علمی-پژوهشی مهندسی و مدیریت آبخیز
جلد ۱۳، شماره ۲، ۱۴۰۰، صفحات ۴۹۷-۵۱۱

Journal of Watershed Engineering and Management
Volume 13, Issue 2, 2021, Pages 497-511
DOI: 10.22092/ijwmse.2020.128665.1744

بررسی تأثیر سطوح مختلف آبگیر باران در تولید رواناب و کنترل فرسایش

داود نیک‌نژاد[*1]

[1] مربی بخش تحقیقات حفاظت خاک و آبخیزداری، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان آذربایجان‌شرقی، سازمان تحقیقات، اموزش و ترویج کشاورزی، تبریز، ایران

تاریخ دریافت: ۱۳۹۹/۰۳/۱۰ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۹/۰۸/۱۱

چکیده

استفاده بهینه از نزولات جوی در مناطق خشک و نیمه‌خشک می‌تواند نقش بسزایی در تأمین نیاز آبی فضای سبز در فصول کم‌آب داشته باشد. از طرف دیگر، ضعیف بودن پوشش گیاهی در اراضی شیب‌دار باعث تخریب و فرسایش این‌گونه اراضی می‌شود که در صورت مدیریت صحیح منابع آب و خاک می‌توان بخشی از مشکلات مذکور را برطرف کرد. بارش‌های جوی از مهمترین منابع در تأمین آب برای مصارف مختلف هستند. یکی از روش‌های جمع‌آوری آب باران، غیرقابل نفوذ کردن سطح زمین و به بیشینه رساندن رواناب ناشی از بارش است. سطوح غیرقابل نفوذ می‌توانند مانند سطوح سنگی به‌صورت طبیعی وجود داشته، یا با پوشاندن سطح زمین از موادی مانند آسفالت، بتن، ورقه‌های عایق مانند پلاستیک، ژئوممبران و دکاموند به‌طور مصنوعی ایجاد شوند. این پژوهش که در قسمت شمالی شهر تبریز اجرا شد، چهار نوع تیمار، هر کدام در سه تکرار به مساحت چهار متر مربع (۲m×۲m) در نظر گرفته شدند که شامل سطح آبگیر پوشش ژئوممبران، پوشش پلاستیک با محافظ شنی، سطح طبیعی و سطح طبیعی با مالچ شنی بودند. نتایج حاصل از ۷۸ مورد بارش (۷۴۷ میلی‌متر) در مدت دو سال، نشان داد که در شیب‌های متوسط ۳۸/۶-۳۳ درصد رواناب حاصل از بارش برای پوشش ژئوممبران، پلاستیک با محافظ شنی، سطح طبیعی و سطح طبیعی با مالچ شنی به‌ترتیب برابر ۸۴، ۶۷، سه و دو درصد و آستانه بارش برای شروع رواناب در سطوح مذکور به‌ترتیب برابر ۰/۲۸، ۲/۵۶، ۹/۹۵ و ۱۱/۱۲ میلی‌متر است. بنابراین، با توجه به بارش نرمال سالانه (۲۴۵/۷ میلی‌متر)، حجم رواناب جمع شده برای پوشش ژئوممبران، پوشش پلاستیک با محافظ شنی، سطح طبیعی و سطح طبیعی با مالچ شنی به‌ترتیب برابر ۲۰۶، ۱۶۴، هفت و پنج لیتر بر متر مربع در سال خواهد بود. با توجه به مقایسه میانگین‌ها، تیمار پوشش ژئوممبران به‌عنوان یک گزینه مناسب در تولید رواناب تشخیص داده شد. همچنین، وجود مالچ شنی بر روی سطح طبیعی منجر به کاهش ۱۰ برابری فرسایش خاک شده، فرسایش خاک را در مدت دو سال، از ۹۷ گرم بر متر مربع به ۹/۵ گرم بر متر مربع کاهش می‌دهد.

واژه‌های کلیدی: آب باران، اراضی شیب‌دار، ژئوممبران، سطح عایق، مالچ شنی

مقدمه

روند روز افزون جمعیت و تأمین مواد غذائی مورد نیاز روزبه‌روز موجب بهره‌برداری بی‌رویه از منابع طبیعی می‌شود. تغییرات اقلیمی و به‌تبع آن گرم شدن هوا نیز باعث تغییر در الگوی بارش و کاهش آن شده است، ذخایر برف کاهش پیدا کرده، بارش‌ها بیشتر

[*] مسئول مکاتبات: niknezhad2005@yahoo.com

به‌صورت باران و رگباری تبدیل شده است که در مدت زمان کوتاه به‌صورت سیلاب از دسترس خارج شده، علاوه‌بر فرسایش خاک و تخریب طبیعت باعث خسارات جانی و مالی جبران‌ناپذیر می‌شود. در سال‌های اخیر که سطح آب‌های زیرزمینی پایین رفته، بیشتر چشمه‌ها و قنات‌ها خشک شده، حتی برخی از رودخانه‌های دائمی به فصلی و موقت تبدیل شده است. در نتیجه، مقدار آب‌های سطحی به‌طور فاحشی کاهش پیدا کرده، هر روز به‌طور چشمگیر افت شدید سطح آب زیرزمینی اتفاق می‌افتد که بازگرداندن آن از اعماق زیاد به چرخه مصرف، مستلزم انرژی زیاد و گاها غیرممکن و غیراقتصادی است. رسیدن به یک منبع آب پایدار و ارزان قیمت، استحصال آب باران است که قبل از برخورد به سطح خاک و نفوذ، از طریق سطوح غیرقابل نفوذ جمع‌آوری و در مخازن ذخیره کرد تا در مواقع کم‌آبی مورد استفاده درختان و گیاهان قرار گیرد. بررسی‌های انجام شده نشان می‌دهد، بسیاری از نقاط نیمه‌خشک واقع در استان آذربایجان شرقی با داشتن شرایط دشوار و محدودکننده اقلیمی و ویژگی‌های خاص آب و خاک، دارای پوشش گیاهی ضعیفی در مقابل فرسایش خاک می‌باشد. یکی از روش‌های معمول برای جلوگیری از فرسایش و تخریب این‌گونه اراضی و نیز تقویت منابع طبیعی تجدیدشونده، جنگل‌کاری یا افزایش پوشش گیاهی است. لازمه اساسی این کار، جمع‌آوری و ذخیره نزولات آسمانی می‌باشد تا در فصول خشک بتوان قسمتی از نیاز آبی گیاه را از این طریق تأمین کرد. جمع‌آوری آب بیشتر و یا تولید رواناب بیشتر از بارندگی، مستلزم استفاده از سطوح آبگیر کم‌نفوذ و غیرقابل نفوذ است. این سطوح در بعضی مناطق به‌صورت طبیعی یافت می‌شود که رخنمون‌های سنگی از آن جمله‌اند. در جاهایی که این‌گونه سطوح وجود ندارد، می‌توان سطح زمین را با موادی مثل قیر، آسفالت، بتن، نایلون، ژئوممبران، دکاموند، ورقه فلزی، سنگریزه و لاشه چینی بر روی نایلون، کاه‌گل و یا تلفیقی از آن‌ها پوشش داد. از آنجایی که مرکز استان آذربایجان شرقی از نظر اقلیمی با داشتن بارندگی نرمال سالانه حدود ۲۴۶/۷ میلی‌متر در منطقه نیمه‌خشک واقع شده است، می‌توان با ایجاد سطوح کم‌نفوذ و یا غیرقابل نفوذ در فصول پرباران بخش زیادی از آب باران را که به‌صورت رواناب در می‌آید، ذخیره کرد و به روش‌های مختلف آبیاری موضعی ازجمله آبیاری قطره‌ای و زیرسطحی مانند کوزه‌ای و تراوا با به کمینه رساندن تبخیر و نفوذ، بدون استفاده از انرژی یا پمپاژ و با استفاده از انرژی ثقلی ناشی از اختلاف ارتفاع، در مواقع کم‌آبی در اختیار درختان قرار داد و یک سامانه پایدار آبیاری برای جبران نیاز آبی درختان فراهم کرد.

استحصال آب باران، برای اولین‌بار، در سال ۱۹۶۳ به‌وسیله گدس استفاده شده است. با این حال، این موضوع یک ایده جدید نیست، چرا که محققان قدمت آن را ۴۰۰۰ سال قبل از میلاد مسیح یا عصر برنز می‌دانند که تمدن‌های آسیایی و آفریقایی با جمع‌آوری آب باران توانستند در مناطقی با بارش سالانه کمتر از ۱۰۰ میلی‌متر نیز کشاورزی را امکان‌پذیر سازند (Tavakoli Shirazi و Akbari، ۲۰۱۳). برخی نیز قدمت آن را در کشور چین تا ۶۰۰۰ سال قبل از میلاد می‌دانند (Krishna، ۲۰۰۳). Boers و Ben-Asher (۱۹۸۲) میانگین ضریب رواناب را در مطالعات خود، برای زمین‌های طبیعی صاف شده، ۳۵–۲۵ درصد، برای سطح پوشیده با پارافین، ۸۵ درصد و برای سطوح آسفالت، ۹۵–۸۵ درصد گزارش کرده‌اند. Ramier و همکاران (۲۰۰۴)، ضریب رواناب را برای محیط متخلخل ۰/۱۶ و برای آسفات ۰/۷۴ گزارش کرده‌اند. تحقیقات آن‌ها با استفاده از یک لایسیمتر صورت گرفت که در محیط متخلخل ۵۸ درصد نفوذ و ۲۶ درصد تبخیر و برای آسفالت دو درصد نفوذ و ۲۵ درصد تبخیر وجود داشت. Dreelin و همکاران (۲۰۰۶)، ضریب رواناب را برای پارکینگ پوشیده شده با آسفالت و پوشیده شده از مصالح متخلخل مورد مطالعه قرار دادند. این مطالعه برای نه واقعه بارندگی صورت گرفت. ضریب رواناب محیط متخلخل از صفر تا ۲۶ درصد متغیر بود، در حالی که این مقدار برای آسفالت از ۳۵ تا ۹۳ درصد تغییر داشت.

امروزه در زمینه روش‌های استحصال آب باران، پژوهش‌های گسترده‌ای در بیشتر مناطق دنیا در خصوص استفاده از سطوح عایق و نیمه‌عایق انجام

گرفته، یا در حال انجام است که تفاوت آن‌ها در نوع بهره‌برداری رواناب استحصال شده می‌باشد. در مناطق خشک و نیمه‌خشک، مؤثرترین و اساسی‌ترین اقدامات در رابطه با تأمین آب برای مصارف مختلف، مدیریت بارش‌های جوی و استحصال آب باران در محل بارش می‌باشد (Shoaee و همکاران، ۲۰۰۳). در این ارتباط، می‌توان به روش‌های به‌کارگیری پوشش‌های عایق مانند قیر، پارافین و یا نایلون و سایر روش‌ها، نظیر جمع‌آوری سنگریزه و پوشش گیاهی از سطح جمع‌آوری کننده رواناب اشاره کرد که متناسب با شرایط هر منطقه و اهداف طرح مورد استفاده قرار می‌گیرد (Critchley و Siegert، ۱۹۹۱). در ارتباط با استحصال آب باران از طریق استفاده از مواد مختلف، نظیر مواد شیمیائی تا کنون فعالیت‌های مختلفی صورت گرفته است. استفاده از نایلون معمولی به لحاظ تخریب سریع آن تا حدودی مشکل بوده، لیکن امروزه وجود نایلون‌های گلخانه‌ای و یا حفاظت از آن‌ها به‌وسیله پوشش‌های سنگریزه‌ای رواج داشته، طول عمر آن‌ها در بعضی مراجع تا ۲۰ سال نیز گزارش شده است (Hudson، ۱۹۸۷). در همین ارتباط، استفاده از پوشش سنگریزه‌ای در حفاظت از پلاستیک موفقیت‌آمیز بوده است (Lalljee و Facknath، ۱۹۹۹). Shahini (۲۰۰۳)، گزارش کرده که شکل هندسی سطوح آبگیر و نوع پوشش سطح آن‌ها، نظیر زمین طبیعی و پوشش عایق، در عمق رواناب تولیدی به‌ویژه سطوح عایق در بارش‌های با مقدار کم مؤثر می‌باشد.

در پژوهشی که در ایستگاه پخش سیلاب قره‌چریان از توابع استان زنجان صورت گرفت، حد آستانه بارندگی برای شروع رواناب در سطوح پلاستیک با سنگریزه، سنگریزه و سطح طبیعی به‌ترتیب در حدود ۱/۲، سه و پنج میلی‌متر و درصد ضریب رواناب متناظر با آن‌ها ۳۴/۹۳، ۳/۸۱ و ۰/۶۸ برای دوره زمانی اردیبهشت الی آبان ماه هر سال بود (Rezaei، ۲۰۱۱). مشابه همین پژوهش که در ۳۰ کیلومتری جنوب شرقی ارومیه در ایستگاه خرم‌آباد صورت گرفت، سطوح آبگیر باران به ابعاد ۶×۵ متر با تیمارهای سطح عایق، نیمه‌عایق و طبیعی بر روی شیب ۱۵-۱۲ درصد ایجاد شد. نتایج نشان داد که حد آستانه بارندگی برای شروع رواناب در سطوح آبگیر عایق، نیمه‌عایق و طبیعی به‌ترتیب در حدود ۲/۵، ۳/۵ و ۴/۴ میلی‌متر و درصد ضریب رواناب متناظر با آن‌ها ۵۸/۱۷، ۱۰/۴۱ و ۱/۷۴ درصد برای دوره زمانی فروردین الی آبان ماه هر سال است (Mehdizadeh و Namaki، ۲۰۱۴). مطالعاتی که در ایستگاه تحقیقاتی سارال در ۷۰ کیلومتری شمال شهر سنندج انجام شد، نشان داد که حد آستانه بارش برای ظهور رواناب در سطوح آبگیر عایق، نیمه‌عایق و طبیعی به‌ترتیب در حدود یک، ۲/۸ و چهار میلی‌متر و رواناب متناظر با آن‌ها به‌ترتیب ۳۴، ۱۶ و سه درصد از بارندگی برای هشت ماهه اول سال می‌باشد (Habibi و Khalediyan، ۲۰۱۸). در تحقیقی که به‌وسیله Tavakoli (۲۰۱۳) در منطقه ایلخچی از توابع استان آذربایجان شرقی صورت گرفت، آستانه بارش برای شروع رواناب در سطح خاک غلتک زده ۳/۵-۲/۵، سطح تمیز و صاف شده ۴/۵-۳/۵ و در تیمار سطح طبیعی دست‌نخورده ۵/۵-۴/۵ میلی‌متر برآورد شد. بررسی‌های صورت گرفته به‌وسیله Li و Gong (۲۰۰۲) نشان داد که آستانه بارش برای تولید رواناب در سطح کوبیده شده چهار میلی‌متر و در صورت وجود رطوبت پیشین ۱/۹ میلی‌متر و برای سطح بدون کوبیدگی ۸/۵ میلی‌متر است.

از جمله عوامل مهمی که نقش قابل‌توجهی در افزایش نگهداری رطوبت خاک به عهده دارد، می‌توان به استفاده تلفیقی از سطوح عایق برای تولید رواناب بیشتر از یک طرف و استفاده از مالچ گیاهی و یا فیلترهای شنی از طرف دیگر، برای نفوذ رواناب استحصال شده اشاره کرد که بهبود شرایط رطوبتی خاک را فراهم می‌کند. استفاده از فیلترهای شنی در سامانه‌های سطوح آبگیر به‌دلیل اجرای ساده‌تر و در دسترس بودن مصالح امکان‌پذیر بوده، نقش قابل توجهی در نفوذ سریع‌تر رواناب و افزایش رطوبت خاک در منطقه ریشه دارد (Gaderi، ۲۰۰۴). استفاده از مالچ شنی در کشور چین نشان می‌دهد که مالچ شنی، ضمن حفاظت از فرسایش، نقش مهمی در استحصال آب باران، کاهش تبخیر و نگهداشت حاصلخیزی خاک دارد. مالچ شنی در ۱۱۸ هزار هکتار اراضی استان گانزو در چین مورد استفاده قرار گرفته است (Li، ۲۰۰۰).

Abbasi و همکاران (۲۰۱۳)، به بررسی پتانسیل استحصال آب باران در حوزه‌های آبخیز شهری مشهد پرداختند. سطح مورد مطالعه برای جمع‌آوری و ذخیره آب باران، محوطه پارکینگ و آسفالت خیابان‌های محدوده مورد نظر بود. نتایج نشان داد که ضریب رواناب در وقایع منجر به بارندگی به‌طور متوسط برای فصل بهار ۰/۵۲، برای فصل پاییز ۰/۵۹ و برای فصل زمستان ۰/۶۰ است. Attarzadeh Hoseyni و همکاران (۲۰۱۴)، ضریب رواناب ۰/۹ را برای پشت‌بام در حوزه مسکن مهر تربت‌جام که با عایق ایزوگام پوشانده شده بود، برآورد کردند. تحقیقات صورت گرفته به‌وسیله Pahlevani و همکاران (۲۰۱۶) در خصوص پتانسیل استحصال آب باران از سطوح عایق برای شرایط اقلیمی مختلف نشان داد که ضریب رواناب پشت‌بام منازل در فصل پاییز در مشهد ۰/۶۶ و در شهر نور ۰/۷۵ است. این مقادیر برای فصل زمستان ۰/۶۹ و ۰/۷۶ و برای فصل بهار ۰/۶۲ و ۰/۶۹ در شهرهای مذکور می‌باشد. در این تحقیق، احتمال آستانه رواناب در مشهد ۰/۷ و در شهر نور ۰/۳ میلی‌متر به‌دست آمد. ارتفاع کل بارش و رواناب در مشهد به‌ترتیب ۲۱۷/۵ و ۱۲۹/۹ میلی‌متر و در نور ۴۹۶/۸ و ۳۵۶/۱ میلی‌متر بود.

نتایج تحقیقات انجام‌شده نشان می‌دهد که هرچه نفوذپذیری سطح آبگیر کمتر باشد، رواناب تولید شده بیشتر است و سطوحی که نفوذناپذیر باشند، بیشترین مقدار رواناب را ایجاد خواهند کرد. در صورتی‌که، هدف جمع‌آوری باران و ذخیره آن برای مصارف مختلف در مخزن باشد، سطوح نفوذناپذیر با سطح کاملاً صاف از جمله ورق‌های پلیمری (ژئوممبران و دکاموند) و فلزی بهترین سطوح برای استحصال آب باران هستند و سطوح خیلی کم‌نفوذ مانند آسفالت، بتن که سطوح آن‌ها کمی زبر و ناصاف است، راندمان استحصال آب کمتری نسبت به سطوح کاملاً صاف و نفوذناپذیر دارند. انتخاب نوع سطوح آبگیر بستگی به در دسترس بودن، شرایط اقلیمی و فیزیکی منطقه و مسائل اقتصادی و ارزش آب در منطقه دارد. نکته دیگر، حفاظت آب و خاک می‌باشد که یکی از روش‌های آن، پوشش سطح خاک با مالچ شنی است. مالچ شنی با توجه به نتایج تحقیقات محدود که صورت گرفته، باعث کاهش فرسایش و حفظ رطوبت در خاک می‌شود.

هدف این پژوهش، استحصال آب باران از سطوح مختلف آبگیر می‌باشد که در آن پتانسیل سطوح در تولید رواناب مورد بررسی قرار می‌گیرد تا در دوره مرطوب که بارندگی زیاد است، رواناب حاصل از بارش را در مخزن ذخیره و در دوره خشکی که میزان بارندگی کمتر است، آب ذخیره شده به‌منظور تأمین نیاز آبی گیاهان و سایر موارد مصرف مورد استفاده قرار گیرد. هدف بعدی که در این پژوهش مورد بررسی قرار می‌گیرد، تأثیر مالچ شنی بر روی فرسایش خاک است.

مواد و روش‌ها

ویژگی‌های عمومی محل استقرار کرت‌های آزمایشی: محل اجرای پروژه در قسمت شمالی شهر تبریز در ارتفاعات عون‌ابن‌علی با ارتفاع ۱۸۱۷ متر از سطح دریا و مختصات جغرافیایی ″۵ ′۶ °۳۸ عرض شمالی و ″۵ ′۲۰ °۴۶ طول شرقی قرار دارد. این منطقه، از نظر اقلیمی جزو مناطق نیمه‌خشک بوده که بارش نرمال آن در نزدیک‌ترین ایستگاه هواشناسی (فرودگاه تبریز) ۲۴۶ میلی‌متر است. بافت خاک محل، متوسط از نوع لومی و لومی‌رسی است. کمترین و بیشترین دمای روزانه برابر ۱۲- و ۳۴ درجه سانتی‌گراد می‌باشد.

نحوه استقرار کرت‌های آزمایشی: با توجه به این‌که در این پروژه چهار نوع سطح آبگیر یا به‌عبارتی چهار تیمار و برای هر کدام از آن‌ها سه تکرار در نظر گرفته شده است. در مجموع ۱۲ عدد کرت آزمایشی مربع شکل با اضلاع دو متر وجود خواهد داشت که در قالب طرح آمار بلوک کاملاً تصادفی در کنار هم قرار خواهند گرفت. تیمارهای در نظر گرفته شده شامل سطح طبیعی (A)، سطح طبیعی با مالچ شن (B)، سطح پوشش پلاستیک با محافظ شن (C) و سطح با پوشش ژئوممبران (D) بودند. این تیمارها به‌همراه تکرارهای مربوطه به‌صورت بلوک کاملاً تصادفی بر روی یک دامنه شیب‌دار با شیب جنوبی ۴۴-۳۰ درصد در ارتفاعات عون‌ابن‌علی قرار گرفتند (شکل ۱).

تکرار اول				تکرار دوم				تکرار سوم			
D	B	A	C	B	A	C	D	B	A	C	D
۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸	۹	۱۰	۱۱	۱۲

شکل ۱- نقشه اجرای طرح بر روی سطح زمین

احداث سطوح آبگیر: بعد از این‌که محل کرت‌های آزمایشی بر روی زمین مشخص شدند، با در نظر گرفتن شکل مربع و مساحت چهار متر مربع برای هر کدام با بلوک‌های سیمانی به ارتفاع ۲۰ سانتی‌متر مرزبندی شدند. دیواره‌های پایین‌دست حالت هم‌گرا داشته تا رواناب حاصل از بارش به سمت نقطه مشخصی که همان خروجی است، هدایت و در مخزن ذخیره شود. برای هر کدام از کرت‌ها یک مخزن ذخیره ۲۲۰ لیتری نصب شد. در این پژوهش، چهار نوع سطح آبگیر با سه تکرار در زمین شیب‌دار احداث شد که شامل سطح طبیعی دست‌نخورده، سطح طبیعی با مالچ شنی، سطح پلاستیک با محافظ شنی و سطح پوشیده شده با ورق ژئوممبران بود. شن مورد استفاده از نوع بادامی بود و با توجه به دانه‌بندی انجام شده ۸۵ درصد اندازه دانه‌های آن بین ۱۰ تا ۲۰ میلی‌متر بود که به ضخامت پنج سانتی‌متر بر روی سطح طبیعی و پلاستیک پخش شد. هر کدام از کرت‌های سطوح آبگیر مجهز به سامانه ذخیره رواناب ناشی از بارندگی بر روی سطوح است. در کنار این سطوح آبگیر، یک ایستگاه باران‌سنجی احداث شده که می‌تواند عمق بارش، مدت و شدت بارش را در زمان‌های مختلف ثبت کند. شکل ۲، نمای واقعی از کرت‌های سطوح آبگیر مجهز به سامانه ذخیره رواناب و ایستگاه باران‌سنجی احداث‌شده در محل اجرای پروژه را نشان می‌دهد. در شکل ۳ نیز نمونه کامل اجرا شده برای هر کدام از سامانه‌های سطوح آبگیر نشان داده شده است.

شکل ۲- نمای واقعی از کرت‌های سطوح آبگیر باران و ایستگاه باران‌سنجی

اندازه‌گیری بارش، رواناب و رسوب: بعد از این‌که کرت‌های آزمایش آماده شد، بلافاصله بعد از وقوع هر بارش، عمق بارش و عمق رواناب‌های متناظر ناشی از آن در هر کدام از مخازن سطوح آبگیر کرت‌ها اندازه‌گیری می‌شد. در صورت وجود رواناب در تیمار سطح طبیعی و سطح طبیعی با مالچ شنی، علاوه‌بر اندازه‌گیری عمق رواناب، نمونه‌برداری آب برای اندازه‌گیری غلظت رسوب نیز صورت می‌گرفت. مدت آماربرداری دو سال آبی طول کشید که در این مدت ۷۸ مورد بارش اتفاق افتاد. از بین این بارش‌ها تنها ۱۰ مورد از بارش‌ها منجر به رواناب در تیمارهای سطح طبیعی و سطح طبیعی با مالچ شنی شد.

شکل ۳- سامانه‌های مختلف سطوح آبگیر باران مجهز به مخزن ذخیره رواناب

نتایج و بحث

بررسی تفاوت تیمارها و کرت‌ها در تولید رواناب: برای تشخیص تفاوت عمق رواناب تولید شده در طول مدت آماربرداری در بین تیمارها و تکرارها تجزیه واریانس صورت گرفت که نتایج آن در جدول ۱ ارائه شده است. نتایج نشان داد، بین رواناب تجمعی حاصل از بارش در تیمارهای مختلف طرح در سطح احتمال یک درصد، تفاوت معنی‌داری وجود دارد. برای تشخیص مناسب‌ترین تیمار، مقایسه میانگین‌ها با روش دانکن به‌عمل آمد (جدول ۲). نتایج نشان داد که تیمارهای پوشش ژئوممبران و پلاستیک با محافظ شنی به‌ترتیب با تولید میانگین رواناب ۸/۷۰ و ۶/۷۷ میلی‌متر در دو گروه متفاوت و تیمار سطح طبیعی و سطح طبیعی با مالچ شنی با تولید میانگین رواناب ۰/۲۹ و ۰/۲۵ میلی‌متر در یک گروه قرار گرفتند. بنابراین، در این پژوهش، تیمار پوشش ژئوممبران به‌عنوان مناسب‌ترین تیمار از نظر تولید رواناب تشخیص داده شد.

جدول ۱- تجزیه واریانس و سطح معنی‌داری تیمارها و تکرارهای آزمایش

منبع تغییرات	درجه آزادی	میانگین مربعات	مجموع مربعات	نسبت F	مقدار P
تیمار	۳	۳۸۹۴/۶۴۶	۱۱۶۸۳/۹۳۹	۱۱۹/۷۳۰	۰۰/۰۰
تکرار	۲	۳/۵۹۹	۷/۱۹۷	۰/۱۱۱	۰/۸۹۵^{ns}
خطا	۹۳۰	۳۲/۵۲۹	۳۰۲۵۱/۶۶۹		

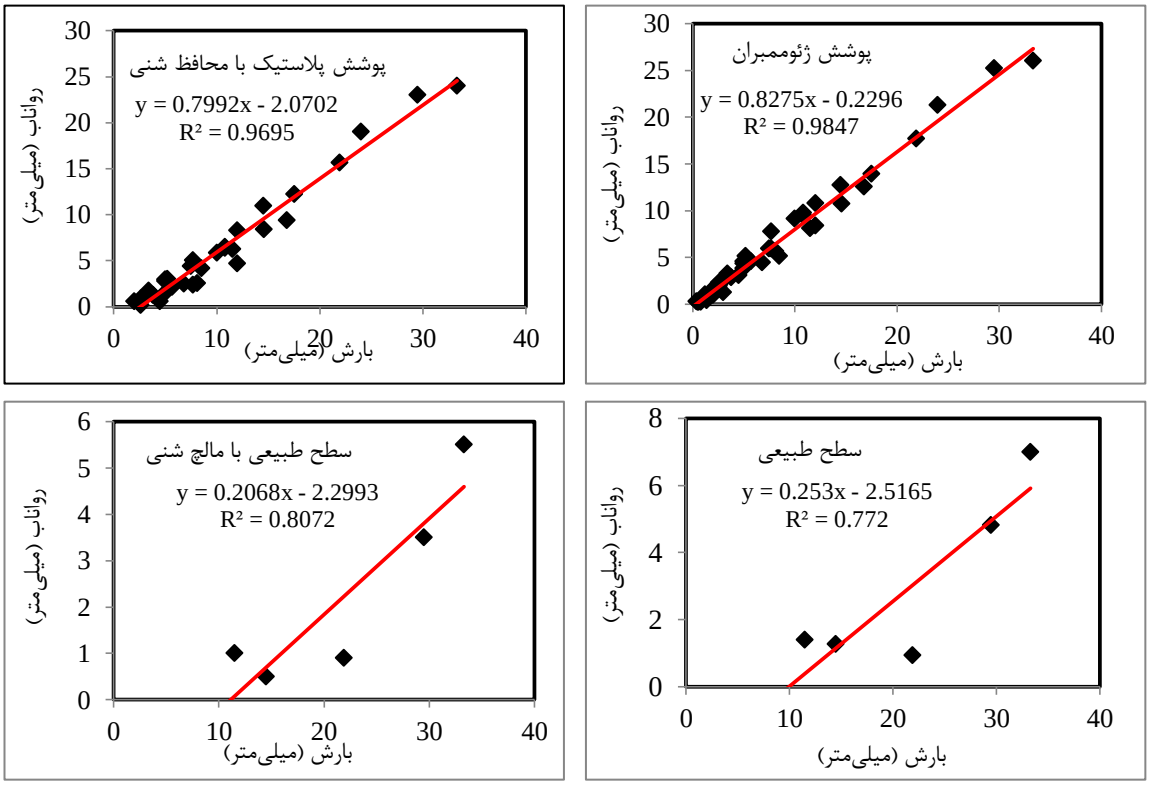
جدول ۲- آزمون میانگین تیمارها به روش دانکن (p=0.01)

تیمار	میانگین رواناب (میلی‌متر)	گروه‌های همگن
پوشش ورق ژئوممبران	۸/۷۰	A
پوشش پلاستیک با محافظ شنی	۶/۷۷	B
سطح طبیعی	۰/۲۸۶	C
سطح طبیعی با مالچ شنی	۰/۲۵	C

نتایج نشان داد که بین رواناب تجمعی حاصل از بارش، در تکرارهای مختلف طرح، حتی در سطح احتمال پنج درصد تفاوت معنی‌داری وجود ندارد. از این‌رو، از مقایسه میانگین بین تکرارها خودداری شد.

رابطه بارش و رواناب سطوح مختلف آبگیر: لازمه ایجاد رواناب در موقع بارش، وجود بارش از نوع باران و زمین بدون یخزدگی است. با توجه به اینکه در دوره آماربرداری، بیشتر بارش‌ها به‌صورت برف و حالت جامد بود و در این دوره زمین بیشتر اوقات حالت یخ زده داشت و عملا روانابی تشکیل نمی‌شد، برای تخمین آستانه بارش، برای شروع رواناب و ارتباط بین بارش و رواناب‌های صورت گرفته در سطوح آبگیر، از آمار بارش-رواناب هشت‌ماهه اول سال استفاده شد. از ۷۸ مورد بارش صورت گرفته در طول دوره آماربرداری، ۴۷ مورد مربوط به هشت ماه اول سال بود که برای این منظور، از داده‌های مربوط به بارش‌هایی که منجر

به رواناب در سطوح مختلف آبگیر شده، استفاده شد. بنابراین، داده‌های اندازه‌گیری شده رواناب و بارش‌های متناظر آن‌ها وارد نرم‌افزار اکسل شده و بعد از متوسط‌گیری از تکرارها، رابطه بین بارش و رواناب، برای هر کدام از تیمارها یا سطوح مختلف آبگیر رسم شد و معادلات رگرسیون مربوطه برای تعیین آستانه بارش برای ایجاد رواناب استخراج شد. شکل ۴، روابط گرافیکی بارش-رواناب مربوط به هر کدام از سطوح آبگیر را نشان می‌دهد. اگر در معادلات بارش-رواناب به‌جای مقدار رواناب (R) صفر قرار داده شود، آستانه بارش برای شروع رواناب به‌دست می‌آید. جدول ۳، معادلات بارش-رواناب به همراه آستانه بارش برای شروع رواناب، ضریب همبستگی و ضریب تبیین را برای هر کدام از تیمارها نشان می‌دهد.



شکل ۴- روابط بارش رواناب برای سطوح مختلف آبگیر

جدول ۳- رابطه بین رواناب و بارش در تیمارهای آزمایشی و بارش آستانه

تیمارهای آزمایشی	رابطه بین رواناب و بارش	بارش آستانه (mm)	ضریب تبیین (R^2)	ضریب همبستگی (R)
پوشش ورق ژئوممبران	$R^* = 0.8275P^* - 0.2296$	۰/۲۸	۰/۹۸	۰/۹۹
پوشش پلاستیک با محافظ شنی	$R = 0.7992P - 2.0702$	۲/۵۶	۰/۹۷	۰/۹۸
سطح طبیعی	$R = 0.253P - 2.5164$	۹/۹۵	۰/۷۷	۰/۸۸
سطح طبیعی با مالچ شنی	$R = 0.2068P - 2.2993$	۱۱/۱۲	۰/۸۱	۰/۹۰

* R و p به‌ترتیب مقدار رواناب و بارندگی بر حسب میلی‌متر

با توجه به مقادیر به‌دست آمده برای بارش حد آستانه برای شروع رواناب، نتیجه می‌شود که در تیمار سطح آبگیر با پوشش ورق ژئوممبران که یک پوشش کاملاً غیرقابل نفوذ است، ۰/۲۸ میلی‌متر از بارندگی به‌صورت تبخیر، جمع شدن در موج‌های ایجاد شده بر روی پوشش ژئوممبران و جذب شدن توسط گرد و خاک بر روی ورق ژئوممبران، از دسترس خارج می‌شود و مازاد بر آن، تولید رواناب می‌کند.

در تیمار پوشش پلاستیک با محافظ شنی که یک پوشش نفوذناپذیر نسبت به آب است، آستانه بارش برای شروع رواناب، ۲/۵۶ میلی‌متر بوده که مفهوم آن این است که این مقدار از بارندگی به دلایلی مانند تبخیر، جذب در سطح دانه‌های شن، جذب گرد و خاک جمع شده در خلل و فرج دانه‌های شن و جمع شدن بخشی از آب باران در موج‌های احتمالی ایجاد شده بر روی پلاستیک از دسترس خارج می‌شود. بنابراین، برای بارندگی‌های کمتر یا مساوی ۲/۵۶ میلی‌متر رواناب وجود نخواهد داشت. در تحقیقاتی که در استان زنجان برای این نوع پوشش صورت گرفته، آستانه بارش ۲/۱ میلی‌متر را نشان می‌داد (Rezaei، ۲۰۱۱). اما، در تحقیق دیگری که در استان آذربایجان غربی انجام شد، آستانه بارش ۲/۵ میلی‌متر به‌دست آمده است (Mehdizadeh و Namaki، ۲۰۱۴). آستانه بارش به‌دست آمده در این پژوهش، برای پوشش پلاستیک با محافظ شنی ۲/۵۶ میلی‌متر می‌باشد که با نتایج به‌دست آمده به‌وسیله Mehdizadeh و Namaki (۲۰۱۴) در آذربایجان غربی نزدیک‌تر است.

در تیمار سطح طبیعی دست‌نخورده که دارای پوشش گیاهی نیز می‌باشد، آستانه بارش برای شروع رواناب ۹/۹۵ میلی‌متر می‌باشد. مفهوم آن این است که در تیمار سطح طبیعی بارش‌های کمتر یا مساوی ۹/۹۵ میلی‌متر رواناب تولید نخواهند کرد و این مقدار صرف تبخیر، جذب ذرات خاک و پوشش گیاهی، چالاب و نفوذ در خاک خواهد شد. در ضمن، هر چقدر پوشش گیاهی بیشتر و خاک خشک‌تر و هوا گرم‌تر باشد، آستانه بارش برای به جریان افتادن رواناب بیشتر خواهد بود. برای تیمار سطح طبیعی با مالچ شنی، چنانچه مقدار بارش کمتر یا مساوی ۱۱/۱۲ میلی‌متر باشد، رواناب ایجاد نخواهد شد. علت این‌که در این تیمار آستانه بارش نسبت به تیمار سطح طبیعی بیشتر است، این است که دانه‌های شن موجود در سطح خاک مانع از به راه افتادن رواناب شده و باعث افزایش فرصت نفوذ آب در خاک می‌شود. همچنین، مقداری از بارش صرف جذب بر روی دانه‌های شن و گرد و خاک جمع شده در خلل و فرج دانه‌های شن و پوشش گیاهی و چالاب می‌شود. این عوامل باعث می‌شوند که آستانه بارش سطح طبیعی با مالچ شنی نسبت به سطح طبیعی بیشتر شود.

با توجه به اعداد آستانه بارش به‌دست آمده برای سطوح مختلف آبگیر، می‌توان نتیجه گرفت که هرچه سطح غیرقابل نفوذ، صاف و شیب‌دار باشد، عکس‌العمل هیدرولوژیکی آن سطح یا حوضه آبگیر سریع‌تر خواهد بود. یعنی فاصله زمانی شروع بارش و ظهور رواناب از خروجی حوضه کمتر است و با کمترین مقدار بارش، رواناب در قسمت خروجی سطح آبگیر ظاهر خواهد شد. این مسئله، در مناطق خشک و نیمه‌خشک که عمق بارش‌ها کمتر و از چند میلی‌متر تجاوز نمی‌کند، حائز اهمیت است و می‌توان از بارش‌های حتی کمتر از یک میلی‌متر (۰/۲۸ میلی‌متر) هم رواناب استحصال کرد.

ضریب رواناب تکرارها و تیمارهای آزمایشی در دوره آماربرداری: برای محاسبه ضریب رواناب، ابتدا مجموع بارش و رواناب‌های تولیدشده در هر کدام از کرت‌های آزمایشی را در طول دوره آماربرداری به‌دست آورده، پس از تقسیم مجموع رواناب هر کرت بر مجموع بارش، ضریب رواناب مرتبط به آن کرت یا سطح آبگیر به‌دست می‌آید. در این پژوهش، در طول دوره آماربرداری مجموعاً ۷۴۶/۹ میلی‌متر بارش در ۷۸ رخداد بارش صورت گرفت. جدول ۴، مجموع رواناب حاصل از هر کدام از کرت‌های آزمایشی را به همراه ضریب رواناب و سایر مشخصات کرت‌ها نشان می‌دهد. با مشخص شدن ضریب رواناب و معلوم بودن مقدار بارش می‌توان حجم رواناب را برای هر کدام از تکرارها و تیمارها محاسبه کرد که نتایج در این جدول ارائه شده است.

بر اساس جدول ۴، ملاحظه می‌شود که تیمار پوشش ژئوممبران با ضریب رواناب ۰/۸۴ بیشترین مقدار را در تولید رواناب دارد. به‌عبارتی دیگر، ۸۴ درصد از بارش سالانه به رواناب تبدیل می‌شود و در طول دو سال آبی ۶۲۵/۱ لیتر و در یک سال آبی ۳۱۲/۵۵ لیتر در هر متر مربع قابل ذخیره خواهد بود. ضریب رواناب به‌دست آمده برای لایه پلاستیکی و فایبرگلاس به‌وسیله Li و همکاران (۲۰۰۴) ۰/۸۱- ۰/۵۷ بود. Attarzadeh Hoseyni و همکاران (۲۰۱۴) ضریب رواناب پوشش ایزوگام مسکن مهرشهر تربت‌جام را ۰/۹۰ به‌دست آوردند که ضریب رواناب

به‌دست آمده برای پوشش ژئوممبران در این پژوهش، ۰/۸۴ بوده که به نتایج به‌دست آمده به‌وسیله Li و همکاران (۲۰۰۴) و Attarzadeh Hoseyni و همکاران (۲۰۱۴) نزدیک‌تر است. برای تیمار پوشش پلاستیک با محافظ شنی ضریب رواناب ۰/۶۷ است، یعنی ۶۷ درصد از بارش سالانه تبدیل به رواناب می‌شود که در دو سال آبی ۵۰۰/۱ لیتر و در یک سال آبی ۲۵۰/۰۵ لیتر در هر متر مربع قابل ذخیره می‌باشد. Mehdizadeh و Namaki (۲۰۱۴) ضریب رواناب هشت ماهه اول سال را برای پوشش مذکور ۰/۵۸، Geytorri و همکاران (۲۰۱۹) ۰/۸۸، Li و همکاران (۲۰۰۴) ۰/۵۶ الی ۰/۷۷ برآورد کردند. Niknezhad (۲۰۱۴) ضریب رواناب هشت ماهه اول سال را برای پوشش پلاستیک با محافظ لاشه‌سنگ ۰/۵۷ به‌دست آورد. ضریب روانابی که در طول مدت آماربرداری برای پوشش پلاستیک با محافظ شنی به‌دست آمده ۰/۶۷ می‌باشد. در این پژوهش، ضریب رواناب متوسط برای سطح آبگیر پوشش پلاستیک با محافظ شنی ۰/۵۶ به‌دست آمده است که با نتایج Mehdizadeh و Namaki (۲۰۱۴)، Geytorri و همکاران (۲۰۱۹) ۰/۸۸، Li و همکاران (۲۰۰۴) و Niknezhad (۲۰۱۴) تقریباً برابر است. علت تفاوت جزئی آن می‌تواند ناشی از تغییر دما، دانه‌بندی شن، شیب زمین و خصوصیات بارش و مدت آماربرداری باشد.

جدول ۴- ضریب رواناب برای تیمارها و تکرارها در طول دوره آماربرداری

عنوان	نوع پوشش سطح											
تیمار	ورق ژئوممبران			نایلون با محافظ شنی			طبیعی			طبیعی با مالچ شنی		
تکرار	اول	دوم	سوم	اول	دوم	سوم	اول	دوم	سوم	اول	دوم	سوم
شماره کرت	۱	۸	۱۲	۴	۷	۱۱	۳	۶	۱۰	۲	۵	۹
شیب کرت (درصد)	۳۱/۵	۳۴/۵	۳۶/۹	۳۹	۳۸/۷	۳۸/۱	۳۲/۱	۲۹/۸	۳۸/۱	۳۲/۷	۳۵/۷	۴۴
متوسط شیب کرت (درصد)		۳۴/۳			۳۸/۶			۳۳/۳			۳۷/۵	
مجموع بارندگی (mm)	۷۴۶/۹	۷۴۶/۹	۷۴۶/۹	۷۴۶/۹	۷۴۶/۹	۷۴۶/۹	۷۴۶/۹	۷۴۶/۹	۷۴۶/۹	۷۴۶/۹	۷۴۶/۹	۷۴۶/۹
مجموع رواناب (mm)	۵۹۳/۷۸	۶۱۸/۷۰	۶۶۲/۷۰	۵۰۳/۰۴	۵۰۳/۵۱	۴۹۳/۷۴	۲۱/۶۴	۱۷/۵۳	۲۲/۵۳	۱۶/۶۴	۱۶/۴۱	۱۷/۸۱
ضریب رواناب	۰/۷۹	۰/۸۳	۰/۸۹	۰/۶۷	۰/۶۷	۰/۶۶	۰/۰۳	۰/۰۲	۰/۰۳	۰/۰۲	۰/۰۲	۰/۰۲
حجم رواناب (Lm^{-2})	۵۹۳/۹	۶۱۸/۷	۶۲۲/۷	۵۰۳/۰	۵۰۳/۵	۴۹۳/۷	۲۱/۶	۱۷/۵	۲۲/۵	۱۶/۶	۱۶/۴	۱۷/۸
متوسط ضریب رواناب در طول دوره آماربرداری		۰/۸۴			۰/۶۷			۰/۰۳			۰/۰۲	
متوسط حجم رواناب در طول دوره آماربرداری (Lm^{-2})		۶۲۵/۱			۵۰۰/۱			۲۰/۶			۱۶/۹	

در تیمار سطح آبگیر طبیعی که داری ضریب رواناب ۰/۰۳ است، سه درصد از کل بارش سالانه به رواناب تبدیل می‌شود. بر اساس جدول ۴، در دو سال آبی مجموع حجم رواناب تولید شده ۲۰/۶ لیتر و در یک سال آبی ۱۰/۳ لیتر در متر مربع می‌باشد، به‌عبارت دیگر، ۹۷ درصد بارندگی به‌صورت تلفات

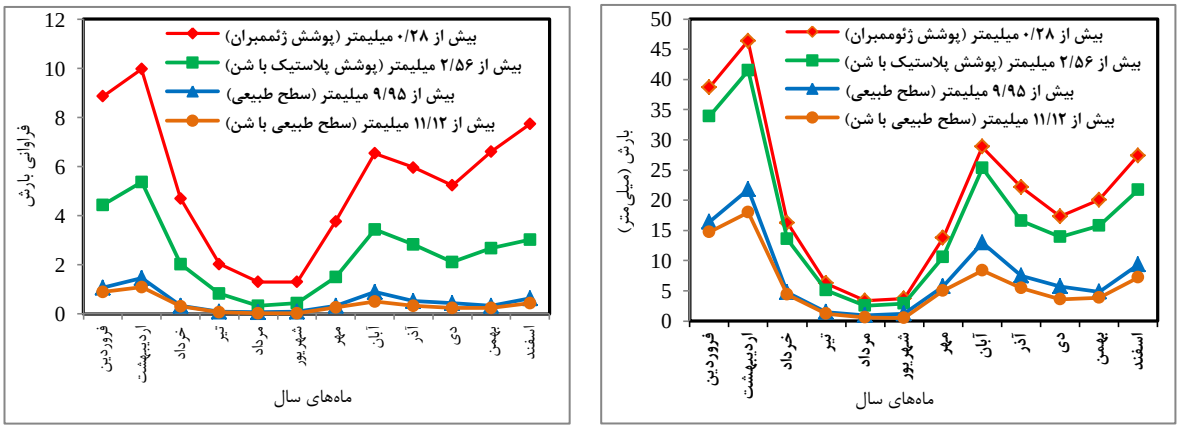
تبخیر، نفوذ و چالاب و برگاب از دسترس خارج شده، قابل جمع‌آوری نیست. تیمار سطح آبگیر طبیعی با مالچ شنی با دارابودن ضریب رواناب ۰/۰۲ کمترین مقدار را در بین تیمارهای انتخابی دارد، بدین معنی که ۹۸ درصد از کل بارش سالانه به‌صورت تلفات تبخیر، نفوذ، برگاب و چالاب از دسترس خارج می‌شود وجود مالچ شنی در این تیمار نسب به تیمار سطح طبیعی علاوه‌بر جذب بخشی از بارش، مانع حرکت رواناب شده، باعث افزایش فرصت نفوذ آب در خاک می‌شود. در نتیجه، ضریب رواناب این تیمار نسبت به تیمار سطح طبیعی کمتر است. Pacey و Cullis (۱۹۸۹)، ضریب رواناب سطوح خاکی با شیب کمتر از ۱۰ درصد را ۰/۲-۰ و برای سطوح دارای پوشش گیاهی ۰/۱-۰/۰۵ به‌دست آورده‌اند که ضریب رواناب به‌دست آمده در این پژوهش، برای سطوح آبگیر مذکور در این محدوده‌ها قرار می‌گیرند.

محاسبه عمق و حجم رواناب قابل ذخیره: برای محاسبه عمق رواناب حاصل از سطوح مختلف آبگیر بر اساس آمار بلندمدت ۳۰ ساله، ابتدا باید عمق و فراوانی متوسط بارش‌های سالانه که منجر به رواناب می‌شوند، به‌دست آورد. از آنجایی که آستانه شروع رواناب برای سطح پوشش ژئوممبران، پوشش پلاستیک با محافظ شنی، سطح طبیعی و سطح طبیعی با مالچ شنی به‌ترتیب برابر ۰/۲۸، ۲/۵۶، ۹/۹۵ و ۱۱/۱۲ میلی‌متر به‌دست آمد، تعداد و مقادیر بارش‌های بیشتر از مقادیر یادشده برای هر کدام از سطوح مذکور را باید محاسبه کرد که خلاصه محاسبات صورت گرفته برای بارش‌ها و فراوانی سالانه متناظر با آن‌ها در بلندمدت (۳۰ سال) محاسبه و نتایج آن در جدول ۵ ارائه شده است.

جدول ۵- میزان بارش و فراوانی سالانه برای بارش‌های بیش از صفر، ۰/۲۸، ۲/۵۶، ۹/۹۵ و ۱۱/۱۲ میلی‌متر

حد بارش	بیش از صفر میلی‌متر	بیش از ۰/۲۸ میلی‌متر	بیش از ۲/۵۶ میلی‌متر	بیش از ۹/۹۵ میلی‌متر	بیش از ۱۱/۱۲ میلی‌متر
جمع بارش سالانه (mm)	۲۴۵/۷	۲۴۳/۹۶	۲۰۳/۱۸	۹۲/۶	۷۲/۸
فراوانی سالانه (تعداد وقوع)	۷۹/۹	۶۴/۰۰	۲۹/۰	۶/۳	۴/۴

بارش‌ها و فراوانی‌های مربوط به ماه‌های مختلف سال برای مقادیر بیشتر از آستانه بارش که در تیمارهای سطوح مختلف آبگیر در بلندمدت (۳۰ سال) منجر به تولید رواناب می‌شوند، در شکل ۵ نشان داده شده است. بر اساس این شکل، بیشترین مقدار بارش و فراوانی، مربوط به اردیبهشت ماه و کمترین آن مربوط به مرداد ماه می‌باشد.



شکل ۵- میزان بارش‌های منجر به رواناب و فروانی آن‌ها در تیمارهای سطوح آبگیر برای ماه‌های مختلف سال

با توجه به این‌که ضریب رواناب در تیمارهای سطح پوشش ژئوممبران، پوشش پلاستیک با محافظ شنی، سطح طبیعی و سطح طبیعی با مالچ شنی به‌ترتیب برابر ۰/۸۴، ۰/۶۷، ۰/۰۳ و ۰/۰۲ می‌باشد، با معلوم

بودن مقدار بارش‌های ماهانه و سالانه که از آمار بلندمدت استخراج شده است، می‌توان عمق رواناب قابل ذخیره را برای تیمارهای سطوح آبگیر محاسبه کرد. با توجه به بارش تجمعی هشت ماهه اول سال و ضریب رواناب سطوح مختلف، می‌توان عمق رواناب قابل ذخیره را تعیین کرد که نتایج آن در جدول ۶ ارائه شده است.

جدول ۶- عمق رواناب ماهانه و سالانه برای سطوح مختلف آبگیر بر اساس بارش بلندمدت (میلی‌متر)

ماه	بارش (میلی‌متر)	پوشش ژئوممبران	پلاستیک با محافظ شنی	سطح طبیعی	سطح طبیعی با مالچ شنی
فروردین	۳۸/۹	۳۲/۶۸	۲۶/۰۷	۱/۱۷	۰/۷۸
اردیبهشت	۴۶/۷	۳۹/۲۴	۳۱/۳۰	۱/۴۰	۰/۹۳
خرداد	۱۶/۵	۱۳/۸۵	۱۱/۰۵	۰/۴۹	۰/۳۳
تیر	۶/۶	۵/۵۳	۴/۴۱	۰/۲۰	۰/۱۳
مرداد	۳/۴	۲/۸۴	۲/۲۶	۰/۱۰	۰/۰۷
شهریور	۳/۷	۳/۱۳	۲/۵۰	۰/۱۱	۰/۰۷
مهر	۱۳/۹	۱۱/۶۵	۹/۲۹	۰/۴۲	۰/۲۸
آبان	۲۸/۸	۲۴/۲۳	۱۹/۳۲	۰/۸۷	۰/۵۸
آذر	۲۲/۸	۱۹/۱۵	۱۵/۲۷	۰/۶۸	۰/۴۶
دی	۱۶/۵	۱۳/۸۶	۱۱/۰۵	۰/۴۹	۰/۳۳
بهمن	۲۰/۵	۱۷/۲۰	۱۳/۷۲	۰/۶۱	۰/۴۱
اسفند	۲۷/۵	۲۳/۰۸	۱۸/۴۱	۰/۸۲	۰/۵۵
مجموع (میلی‌متر)	۲۴۶/۷	۲۰۶/۴۳	۱۶۴/۶۵	۷/۳۷	۴/۹۱

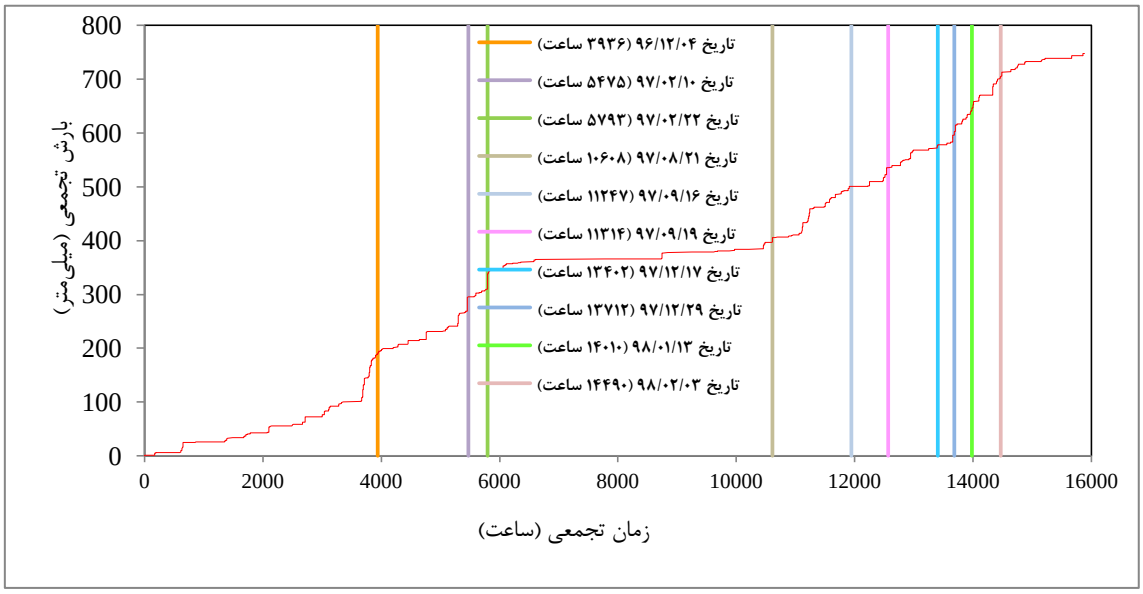
با توجه به این‌که هر میلی‌متر رواناب در یک متر مربع معادل یک لیتر است، بنابراین، حجم رواناب سالانه حاصل از یک متر مربع برای تیمارهای سطوح آبگیر بر اساس آمار بلندمدت (سی ساله بارش) و آمار کوتاه‌مدت (دو سال مدت آماربرداری بارش) مطابق جدول ۷ می‌باشد.

جدول ۷- حجم رواناب حاصل از یک متر مربع برای تیمارهای سطوح آبگیر

	پوشش ژئوممبران	پلاستیک با محافظ شنی	سطح طبیعی	سطح طبیعی با مالچ شنی
حجم رواناب سالانه بر اساس آمار بلندمدت (لیتر)	۲۰۶/۴۳	۱۶۴/۶۵	۷/۳۷	۴/۹۱
حجم رواناب سالانه بر اساس آمار کوتاه‌مدت (لیتر)	۳۱۲	۲۵۰	۱۰/۳	۸/۵

در صورتی که حجم آب مورد نیاز برای آبیاری تکمیلی درختان یا فضای سبز مشخص باشد، با معلوم بودن رواناب استحصالی از هر متر مربع سطح آبگیر، می‌توان مساحت سطح آبگیر را در تیمارهای سطوح آبگیر محاسبه کرد. برای مثال، اگر حجم آب مورد نیاز ۱۰۰ مترمکعب و رواناب استحصالی از یک متر مربع سطح آبگیر با پوشش ژئوممبران و سطح پلاستیک با مالچ شنی به‌ترتیب ۰/۲۰۶۴۳ و ۰/۶۵۱۶۴ مترمکعب در سال باشد، کمینه مساحت زمین لازم برای ایجاد سطح آبگیر با پوشش ژئوممبران، ۴۸۴ متر مربع و برای سطح پلاستیک با مالچ شنی، ۶۰۷ متر مربع خواهد بود که می‌توان با در نظر گرفتن مسائل اقتصادی، مساحت زمین موجود، مصالح موجود و امکان دسترسی به محل برای انتقال مصالح، یکی از دو گزینه پوشش ژئوممبران و پلاستیک با محافظ شنی را انتخاب کرد. در این پروژه تحقیقاتی، در صورت عدم محدودیت پوشش ژئوممبران، مناسب‌ترین گزینه برای استحصال آب باران معرفی می‌شود که بیشترین مقدار را در تولید رواناب دارد.

برآورد وزن رسوب: با توجه به این‌که رسوب، حاصل فرسایش است، برای تیمارهای با پوشش ورق ژئوممبران و پلاستیک با محافظ شنی هیچ‌گونه فرسایشی وجود نخواهد داشت. زیرا که سطح خاک با مواد عایق و غیرقابل نفوذ پوشیده شده و قطرات باران با سطح خاک برخورد نمی‌کنند. بنابراین، در این دو تیمار فرسایش و به‌تبع آن رسوب، صفر خواهد بود. اما در تیمارهای سطح طبیعی و سطح طبیعی با مالچ شنی که نسبت به آب نفوذپذیر است، قطرات باران به‌طور مستقیم یا غیرمستقیم با سطح خاک برخورد می‌کنند و در صورتی که شدت بارش بیشتر از شدت نفوذپذیری خاک باشد، با به راه افتادن جریان آب در سطح خاک موجب فرسایش سطحی خاک و به‌تبع آن رسوب در پایین‌دست می‌شود. از آنجایی که رواناب حاصل از تیمارهای طبیعی و طبیعی با مالچ شنی در مخازن نصب شده در پایین‌دست کرت‌های آزمایش ذخیره می‌شود، در هر واقعه بارش، نمونه آب برای اندازه‌گیری مقدار رسوب برداشت می‌شد. در طول دوره آماربرداری که دو سال آبی طول کشید، از ۷۸ رخداد بارش، تنها ۱۰ مورد از آن‌ها منجر به تولید رواناب در تیمارهای سطح طبیعی و سطح طبیعی با مالچ شنی شد. در شکل ۶ که بارش تجمعی را نشان می‌دهد، وقوع ۱۰ مورد رواناب در این تیمارها را به‌صورت خطوط عمودی نشان می‌دهد که به تاریخ و ساعت وقوع آن‌ها در شکل مذکور اشاره شده است.



شکل ۶- بارش تجمعی در طول مدت آماربرداری و زمان‌های ایجاد فرسایش

با توجه به شکل ۶ مشاهده می‌شود، در زمان‌هایی که بارندگی منجر به رواناب در تیمارهای سطح طبیعی و سطح طبیعی با مالچ شنی پوشیده شده، شدت بارش بالا (شیب منحنی تند) بوده، یا بارندگی‌های قبلی باعث بالابردن رطوبت پیشین خاک شده است، یا این‌که در زمستان سطح خاک یخزده، کاهش نفوذپذیری خاک منجر به ایجاد رواناب ناشی از ذوب برف شده است. در این شکل، اولین رواناب ایجاد شده در تاریخ ۹۶/۱۲/۰۴ بعد از ۳۹۳۶ ساعت از شروع اولین بارندگی صورت گرفته است. همان‌طوری‌که ملاحظه می‌شود، قبل از ساعت یادشده چندین بارندگی با شدت‌های بالا و شیب منحنی تند اتفاق افتاده، رطوبت خاک را نزدیک حالت اشباع رسانده است. در نتیجه، منجر به ایجاد رواناب و به‌تبع آن فرسایش خاک شده است. با توجه به شکل مذکور، فاصله زمانی از شروع اولین بارش تا انتهای آخرین بارش در طول مدت آماربرداری ۱۵۸۸۱/۷ ساعت (زمان تجمعی) و عمق بارندگی در این فاصله زمانی ۷۴۷/۴ میلی‌متر است.

وزن رسوب موجود در نمونه آب‌های برداشت شده

با عبور از کاغذ صافی و خشک‌کردن در آون بر حسب گرم در لیتر تعیین شد. از طرف دیگر، حجم رواناب حاصل از یک متر مربع در طول دوره آماربرداری برای سطوح آبگیر مذکور بر حسب لیتر بر متر مربع به‌دست آمد که با ضرب آن‌ها در یکدیگر مقدار رسوب بر حسب گرم در متر مربع به‌دست می‌آید (جدول ۷).

با توجه به جدول ۷، ملاحظه می‌شود که مقدار رسوب تولید شده از تیمار سطح طبیعی ۹۶/۷۴ گرم بر متر مربع و برای تیمار سطح طبیعی با مالچ شنی این مقدار برابر ۹/۵۳ گرم بر متر مربع در طول مدت آماربرداری است. مفهوم آن این است که مالچ شنی در تیمار سطح طبیعی باعث کاهش ۱۰ برابری فرسایش نسبت به سطح زمین طبیعی بدون مالچ شنی می‌شود. به‌عبارتی دیگر، مالچ شنی فرسایش را از ۴۸۴ کیلوگرم در هکتار به ۴۸ کیلوگرم در هکتار در سال کاهش می‌دهد. علت پایین بودن فرسایش در این سطوح، پایین بودن ضریب رواناب و رواناب تولیدی می‌باشد. از طرف دیگر، مالچ شنی باعث کاهش تبخیر شده و مانع جریان رواناب در سطح خاک است که در نتیجه، باعث افزایش فرصت نفوذ آب در خاک می‌شود. علاوه‌بر افزایش رطوبت خاک، باعث ماندگاری بیشتر آن در خاک می‌شود که می‌تواند باعث حفاظت آب و خاک شود.

جدول ۷- وزن رسوب در کرت‌های آزمایشی و تیمارها در طول دوره آماربرداری برحسب گرم در متر مربع

ردیف	تاریخ	بارش (mm)	سطح طبیعی			سطح طبیعی با مالچ شنی		
			تکرار اول کرت ۳	تکرار دوم کرت ۶	تکرار سوم کرت ۱۰	تکرار اول کرت ۲	تکرار دوم کرت ۵	تکرار سوم کرت ۹
			درصد شیب کرت‌ها					
			۳۲/۱	۲۹/۸	۳۸/۱	۳۲/۷	۳۵/۷	۴۴
۱	۹۶/۱۲/۰۴	۱۱/۵	۰/۸۰	۱/۱۵	۲/۸۱	۰/۵۹	۰/۳۳	۰/۵۵
۲	۹۷/۰۲/۱۰	۲۹/۵	۳۷/۹۶	۳۲/۷۱	۳۴/۸۴	۱/۳۰	۱/۴۱	۱/۹۶
۳	۹۷/۰۲/۲۲	۳۳/۳	۴۹/۴۲	۴۲/۴۴	۴۰/۵۰	۴/۸۰	۵/۳۵	۴/۹۴
۴	۹۷/۰۸/۲۱	۱۱,۵	۲/۷۵	۱۲/۸۴	۱۴/۹۲	۰/۰۶	۰/۰۸	۰/۱۳
۵	۹۷/۰۹/۱۶	۲۷	۰/۳۱	۰/۶۲	۰/۷۲	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰
۶	۹۷/۰۹/۱۹	۹/۵	۲/۲۵	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۱۳
۷	۹۷/۱۲/۱۷	۱۰/۵	۰/۰۰	۳/۵۲	۱/۴۸	۲/۰۷	۰/۶۵	۱/۵۱
۸	۹۷/۱۲/۲۹	۳۸/۴	۲/۷۰	۰/۸۶	۱/۵۱	۰/۳۱	۱/۰۱	۰/۱۱
۹	۹۸/۰۱/۱۳	۲۱/۹	۰/۵۹	۰/۶۳	۰/۸۵	۰/۲۰	۰/۵۱	۰/۴۸
۱۰	۹۸/۰۲/۰۳	۱۴/۵	۰/۲۷	۰/۳۴	۰/۴۳	۰/۰۴	۰/۰۷	۰/۰۱
وزن رسوب در کرت‌ها (grm^{-2})			۹۷/۰۶	۹۵/۱۱	۹۸/۰۴	۹/۳۷	۹/۴۰	۹/۸۲
متوسط وزن رسوب (grm^{-2})				۹۶/۷۴			۹/۵۳	

نتیجه‌گیری

نتایج حاصل از این پژوهش، نشان می‌دهد که می‌توان با استفاده از سطوح عایق و نفوذناپذیر، بخش زیادی از نزولات جوی (برف، باران و تگرگ) را ذخیره و در مواقع بحرانی که گیاهان و درختان از نظر نیاز آبی دچار تنش آبی می‌شوند، مورد استفاده قرار داد. استحصال آب باران از طریق سطوح عایق طبیعی یا مصنوعی یکی از روش‌هایی است که می‌تواند به‌عنوان یک منبع آب پایدار نیاز آبی گیاهان را در مواقع کم‌آبی تأمین کند. در این پژوهش، چهار نوع سطوح آبگیر یا تیمار مورد استفاده قرار گرفت که شامل سطح پوشیده شده با ورق ژئوممبران، سطح پوشیده‌شده با پلاستیک دارای محافظ شنی، سطح طبیعی دست‌نخورده و سطح طبیعی با مالچ شنی بودند. از بین تیمارهای مذکور تیمار سطح پوشیده شده با ورق ژئوممبران با تبدیل ۰/۸۴ از بارش سالانه به رواناب بیشترین مقدار را در تولید رواناب داشت و با توجه به آستانه بارش حتی از بارش‌های با عمق کمتر (بیش از

۰/۲۸ میلی‌متر) می‌توان رواناب جمع‌آوری کرد. این موضوع در مناطق خشک و نیمه‌خشک که بارش‌های با عمق کمتر دارای فراوانی بیشتر هستند، حائز اهمیت است، تیمار پوشش پلاستیک با محافظ شنی با تبدیل ۶۷ درصد از بارش سالانه به رواناب در اولویت بعدی قرار گرفت. تیمارهای سطح طبیعی و سطح طبیعی با مالچ شنی با توجه به پایین بودن ضریب رواناب، مناسب برای استحصال آب باران تشخیص داده نشد. از این تیمارها در خصوص تأثیر مالچ شنی بر مقدار فرسایش استفاده شد، نتایج اندازه‌گیری غلظت رسوب در رواناب نشان داد که مالچ شنی می‌تواند فرسایش خاک را در اراضی شیب‌دار تا ۱۰ برابر کاهش دهد و باعث کاهش رواناب شود. این مسئله از نظر حفاظت آب و خاک از اهمیت بیشتری برخوردار است.

منابع مورد استفاده

1. Abbasi, E.A., J. Tabatabai Yazdi and H. Tavakoli. 2013. Investigation of rainwater potential in urban watersheds, case study: Mashhad. Iranian Journal of Rainwater Catchment Systems, 2(2): 24 - 17 (in Persian).
2. Attarzadeh Hoseyni, V., M.R. Khaleghi and J. Tabatabai Yazdi. 2014. The effect of runoff coefficient on rainwater harvesting from roof surfaces in Torbat-Jam Mehr Housing Basin. 3rd International Conference on Rainwater catchments Systems, Birjand University, Iran (in Persian).
3. Boers, Th.M. and J. Ben-Asher. 1982. A review of rainwater harvesting. Agricultural Water Management, 5: 145-158.
4. Dreelin, E.A., L. Fowler and C.R. Carroll. 2006. A test of porous pavement effectiveness on clay soils during natural storm events. Water Research, 40: 799-805.
5. Geytorri, M., M. Heshmati and M. Roghani. 2019. Investigation of three runoff harvesting systems to increase of soil moisture. 1st National Conference on Rainwater Catchments Systems. Mashhad, Iran (in Persian).
6. Habibi, N. and H. Khalediyan. 2018. Investigation of operation of isolated, semi-isolated and natural surfaces on runoff coefficient in rainwater catchment surfaces. 3rd National Conference on Soil Conservation and Watershed Management. Soil Conservation and Watershed Management Research Institute, Tehran, Iran (in Persian).
7. Hudson, N. 1987. Soil and water conservation in semi-arid areas. FAO, Soil Resources, Management and Conservation Service, 125 page.
8. Krishna, H. 2003. An overview of rainwater harvesting systems and guidelines in the United States. Proceeding of the First American Rainwater Harvesting Conference, Austin, 21-23 August.
9. Lalljee, B. and S. Facknath. 1999. Water harvesting and alternate sources of water for agriculture. PROSI Magazine, No. 368.
10. Li, X.Y. 2000. Soil and water conservation in arid and semiarid areas: the Chinese experience. Annals of Arid Zone, 39(4):377-393
11. Li, X.Y., Z. Kui Xie and X. Kui Yan. 2004. Runoff characteristics of artificial catchment materials for rainwater harvesting in the semi-arid regions of China. Agricultural Water Management, 65: 211–224.
12. Li, X.Y. and J.D. Gong. 2002. Compacted micro catchments with local earth materials for rainwater harvesting in the semi-arid region of China. Journal of Hydrology, 257(1-4): 134-144.
13. Mehdizadeh, M. and S.M. Namaki. 2014. Investigation of operation of isolated, semi-isolated and natural surfaces in rainfall-runoff process. 2nd National Conference on Rainwater Catchment Systems, Mashhad, Iran (in Persian).
14. Niknezhad, D. 2014. Investigation of operation of isolated, semi-isolated and natural surfaces in rainfall runoff process of water harvesting system. Research Final Report, Soil Conservation and Watershed Management Research Institute, 27 pages (in Persian).
15. Pacey, A. and A. Cullis. 1989. Rainwater harvesting: the collection of rainfall and runoff in rural areas. Intermediate Technology Publications, London, 55 pages.
16. Pahlevani, P., M.T. Dastorani, J. Tabatabaee Yazdi and M. Vafakhah. 2016. Evaluation and comparison of rainwater harvesting potential from roof catchments in different climatic conditions, case study: Mashhad and Noor in Iran. Journal of Rainwater Catchment Systems, 12(4): 1-10 (in Persian).
17. Ramier, D., E. Berthier and H. Andrieu. 2004. An urban lysimeter to assess runoff losses on asphalt concrete plates. Physics and Chemistry of the Earth, 29: 839-847.
18. Rezaei, A. 2011. Investigation of operation of isolated, semi-isolated and natural surfaces in rainfall

runoff process of water harvesting system. Research Final Report, Soil Conservation and Watershed Management Research Institute, 27 pages (in Persian).
19. Shahini, Gh. 2003. Basin-level optimization systems by increasing moisture retention in soil profiles in the Golestan Province. Research Final Report, Soil Conservation and Watershed Management Research Institute, 68 pages (in Persian).
20. Shoaee, Z., J. Goddossi, A. Telvari, M.H. Mehraban and E.Ghafori. 2003. Rain catchment systems project for sustainable development of environmental resources. State Scientific Research Council, (Agriculture Commission), 707 pages (in Persian).
21. Tavakoli Shirazi, N. and G. Akbari. 2013. Investigation of the advantages and disadvantages of rainwater harvesting methods. 2nd National Conference on Rainwater Catchment Systems, Mashhad, Iran (in Persian).
22. Tavakoli, A.R. 2013. Determination of technical characters of micro-catchments water harvesting systems for rainfed Almond trees. Journal of Agricultural Engineer Research, 14(2): 1-16 (in Persian).