فصلنامه علوم محیطی، دوره بیستم، شماره ۳، پائیز ۱۴۰۱

۷۰-۵۳

مقاله پژوهشی

ارزیابی تاثیر سوپر جاذب و پوشش گیاهی بر روی بام سبز در اقلیم سرد خشک

فرهاد میثاقی[۱*]، زینب بیگدلی [۲] و مصطفی رزاق‌منش[۳]

[۱] گروه علوم و مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه زنجان، زنجان، ایران
[۲] گروه آبیاری و زهکشی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تبریز، تبریز ایران
[۳] دانشکده عمران و محیط زیست، دانشگاه کلرادو، امریکا

تاریخ دریافت: : ۱۴۰۰/۵/۳ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۰/۷/۳

میثاقی، ف.، ز. بیگدلی و م. رزاق‌منش. ۱۴۰۱. ارزیابی تاثیر سوپر جاذب و پوشش گیاهی بر روی بام سبز در اقلیم سرد خشک. فصلنامه علوم محیطی. ۲۰(۳): ۵۳-۷۰.

سابقه و هدف: شهرنشینی در جهان رو به افزایش است و جمعیت شهری جهان در حال متراکم تر شدن در شهرها می باشد. یکی از اثرات شهرنشینی افزایش درصد سطوح نفوذ ناپذیر در این مناطق می باشد. امروزه بسیاری از شهرهای مهم جهان، برای کاهش اثرات توسعه شهر خود بر کیفیت و کمیت رواناب، به مفهوم توسعه پایدار توجه نموده و از فنّاوری‌های مدرن سبز مدیریتی، شامل بهترین روش‌های مدیریتی و روش‌های توسعه با حداقل اثرات جانبی بهره می‌گیرند. بام سبز، یک سیستم چندلایه ای است که سقف و بالکن یک ساختمان را با پوشش گیاهی پوشانده و با جذب و نگه‌داری بخشی از باران، و با تاثیرگذاری بر روی فرایندهای تبخیر و تعرق، تصفیه، حجم و شدت جریان اوج رواناب، ابعاد سیستم زهکش پایین‌دست را کاهش داده و موجب بهبود کیفیت آب و هوا، حفظ زیبائی شهر و جلوگیری از هدر رفت انرژی ساختمان می‌گردد.

مواد و روش‌ها: این پژوهش به صورت آزمایش میدانی در دانشکده کشاورزی دانشگاه زنجان انجام گرفت. زمان آزمایش از فروردین ماه تا مرداد ماه سال ۱۳۹۷ بود. در این تحقیق تاثیر استفاده از سوپر جاذب (زئولیت)، بر میزان جذب و نگهداشت آب، بیشترین و کمترین حجم رواناب، حجم زه آب، رسوب و زمان شروع رواناب حاصل از بارندگی در شدت بارش های ۳۵، ۴۵، ۵۵، ۶۵ و ۷۵ میلی‌متر در ساعت بر روی بام سبز با شیب ۵ درصد، در اقلیم سرد خشک بررسی شده است.

نتایج و بحث: بر این اساس با افزایش شدت بارش، حجم رواناب نیز افزایش می یابد و حجم رواناب در خاک بایر بیشتر از بقیه تیمارها بوده و روند نزولی آن به ترتیب خاک حاوی زئولیت ۱درصد، خاک حاوی زئولیت ۳ درصد و خاک کشت شده می‌باشد. همچنین حجم زه آب با افزایش شدت بارش افزایش‌یافته و بالاترین مقدار حجم زه آب متعلق به خاک بایر می‌باشد. رسوب اندازه‌گیری شده در رواناب نیز با افزایش شدت بارش در تیمارها، به غیر تیمار چمن، افزایش می‌یابد.

نتیجه‌گیری: خاک بایر به دلیل سله بستن لایه‌های سطحی آن و گرفتگی منافذ دارای حجم رواناب بسیار بالایی می‌باشد. افزودن زئولیت

*Corresponding Author: *Email Address*. Farhad_misaghi@znu.ac.ir
http://dx.doi.org/10.52547/envs.2021.1075
http://dorl.net/dor/20.1001.1.17351324.1401.20.3.4.7

به خاک باعث کاهش محسوس حجم رواناب و نگه‌داشت بیشتر آب نسبت به خاک بایر گردید. میزان فرسایش در خاک دارای زئولیت ۱ درصد بالا بود و کمترین میزان فرسایش در چمن بود. در خاک بایر چون نفوذ آب کم است، بعد از مدت زمان کمی بعد از بارش، آب به صورت رواناب جاری می‌گردد، اما زئولیت این خاصیت و ویژگی را دارد که با اضافه شدن به خاک زمان شروع رواناب ۳ درصد طولانی‌تر می‌شود.

واژه‌های کلیدی : بام سبز، سوپر جاذب، رواناب، نگهداشت آب.

مقدمه

شهرنشینی در جهان رو به افزایش است و جمعیت شهری جهان در حال متراکم تر شدن در شهرها می باشد (Li and Yeung, 2014). یکی از اثرات شهرنشینی افزایش درصد سطوح نفوذ ناپذیر در این مناطق می باشد. امروزه بسیاری از شهرهای مهم جهان، برای کاهش اثرات توسعه شهر خود بر کیفیت و کمیت رواناب، به مفهوم توسعه پایدار توجه نموده و از فنّاوری‌های مدرن سبز مدیریتی، که شامل بهترین روش‌های مدیریتی(BMP)[1] و روش‌های توسعه با حداقل اثرات جانبی (LID)[2] هستند، بهره می‌گیرند (Arnell, 1999; Bates *et al*. 2008; Poë *et al*. 2015; Stovin *et al.* 2015). یکی از روش‌های تکنیک-های مهار باران در محل و استفاده مجدد از آن که در برخی از کشورهای جهان مورد استفاده و بهره برداری قرار گرفته است روش بام سبز است (Perring *et al.*, 2013; Dvorak *et al*., 2010; Fioretti *et al.*, 2010).

بام سبز[3]، یک سیستم چندلایه ای است که سقف و بالکن یک ساختمان را با پوشش گیاهی پوشانده و با جذب و نگه‌داری بخشی از باران، و فرایندهای تبخیر و تعرق و تصفیه، حجم و پیک رواناب و ابعاد سیستم زهکش پایین-دست را کاهش داده و موجب بهبود کیفیت آب و هوا، حفظ زیبائی شهر و جلوگیری از هدر رفتن انرژی ساختمان می‌گردد (Soulis *et al.* 2017; Brudermann and Sangkakool, 2017; Young *et al.* 2014; Van Mechelen *et al.*, 2014; Catalano *et al.*, 2016). عملکرد بام‌های سبز در کاهش حجم و اوج رواناب، در مناطقی که درصد پوشش بام در آن‌ها زیاد است مانند مناطق پرتراکم شهری، تجاری و صنعتی، مؤثرتر خواهد بود (Groenewegen *et al.*, 2006; Oberndorfer *et al.*, 2007; Kowarik, 2011; Madre *et al*. 2014).

بام های سبز به دو گروه گسترده[4] و متمرکز[5] تقسیم بندی می شوند. در بام سبز گسترده، سطح وسیعی از بام توسط پوشش گیاهی پوشیده می شود. در این سیستم اجرای بام سبز با استفاده از گیاهان پوششی و عمدتاً چمن شکل می‌گیرد و تنها ویژگی بام سبز گسترده ایجاد یک سطح سبز وسیع به لحاظ بصری و بدون کاربرد مشخص می‌باشد و تنها بعد زیست محیطی آنها قابل استفاده است (Dunnett and Kingsbury, 2008; Carson *et al.*, 2013; Yang *et al.*, 2015). در مقابل بام سبز متمرکز، مشابه محوطه های سبز شهری طراحی می شوند و در طراحی آنها از عناصری مانند نیمکت و مبلمان شهری استفاده می شود. در این سیستم بام سبز از پوشش گیاهی متنوع تری نسبت به بام سبز گسترده می توان بهره برد. در این سیستم امکان کاشت انواع درختچه و بوته وجود دارد. به همین سبب در مقایسه با سیستم گسترده وزن بیشتری به سطح بام وارد می کنند (Gregoire and Clausen, 2011; Schroll *et al.*, 2011; Speak *et al.*, 2013; Carpenter and Kaluvakolanu, 2011; Stovin *et al.*, 2012).

در تحقیقی در کارولینای شمالی کمیت و کیفیت رواناب بام های سبز و هم‌چنین رشد گیاه ارزیابی گردید. در طول دوره ۹ ماه بررسی و سنجش، مشخص شد که بام سبز قادر به حفظ حدود ۶۰ درصد از حجم کل بارش است، درحالی‌که کاهش میزان دبی اوج در حدود ۸۰ درصد بود (Moran *et al.*, 2004). پژوهش دیگری در کشور

آلمان، محققین به این نتیجه رسیدند که میزان نگهداشت باران در بام سبز در زمستان کمتر از تابستان است. از این مطالعه نتیجه گرفته شد که بام سبز می‌تواند به‌عنوان یک ابزار مفید برای کاهش رواناب بارندگی شهری باشد و می‌توان از آن برای کم نمودن رواناب استفاده نمود(Mentens *et al.*, 2006). در مطالعه‌ای دیگر با هدف بررسی فرآیندهای هیدرولوژیکی در سامانه‌های بام سبز، یک برنامه نظارتی تطبیقی بلند مدت، در دانشگاه شفیلد (UK) از مارس ۲۰۱۱ به مدت ۲۹ ماه به‌صورت پیوسته، روی ۴ سطح بام سبز با استفاده از فاکتورهای مختلف خاک انجام گرفت. نتایج نشان داد که مشخصات متفاوت حجم رطوبتی، به‌طور مداوم به مشخصات بستر و حضور پوشش گیاهی بستگی دارد و هم‌چنین میزان هدررفت رطوبت روزانه در دوره‌های خشک، شرایط آب‌وهوایی بسیار متغیری را منعکس نمود (Berretta *et al.*, 2014). در سال ۲۰۱۴ در تحقیقی در شهر آدلاید استرالیا چهار نوع گیاه با دو روش مختلف در سامانه‌های بام گسترده و متمرکز بررسی شدند، که این آزمایش در طول یک سال انجام گرفت. نتایج نشان داد که گیاهان در سامانه‌های فشرده، شرایط بهتری برای رشد دارند که توانایی جذب آب و افزایش رطوبت خاک با استفاده از آب باران و آبیاری، از دلایل رشد گیاهان در این نوع سیستم می‌باشد (Razzaghmanesh and Beecham, 2014). در ادامه این مطالعات در سال ۲۰۱۴، تأثیرات چهارعنصر مهم بام سبز شامل شیب، عمق، رشد، انواع گیاه در میزان رشد گیاهان در سطوح نوع A، B، C در آب و هوای مرطوب را مورد بررسی و تحقیق قرارداد (Razzaghmanesh *et al.*, 2014). همچنین در سال ۲۰۱۵ نیز، این محققین کیفیت و کمیت آب خروجی از انواع بام‌های سبز را در ۱۲ سطح با پوشش گیاهی و چهار سطح بدون پوشش گیاهی در طی ۱۲ ماه بررسی نمودند. نتایج حاصل از این مطالعه نشان داد که مقدار نگهداری و جذب آب در سطوح با پوشش گیاهی از سطوح بدون پوشش گیاهی بیشتر بوده است (Razzaghmanesh *et al.*, 2015). در سال ۲۰۱۶ پژوهشی در خصوص مدلسازی بام سبز در پاسخ به عمق‌های مختلف خاک صورت گرفت. نتایج نشان داد که بازده میزان نگهداشت جریان اوج به وسیله سطحی‌ترین عمق خاک تحت بارندگی‌های شدید و طولانی ۳ درصد کاهش یافت (Feitosa and Wilkinson, 2016).

یکی از راهکارهای افزایش نگهداشت آب در خاک و استفاده بهینه از بارندگی در مناطق خشک و نیمه‌خشک استفاده از پلیمرهای سوپر جاذب می باشد (Lee *et al.*, 2004; Lin *et al.*, 2005; Kiatkamjornwong *et al.*, 2000; Francis *et al.*, 2004; Lee *et al.*, 2005). پلیمرهای سوپر جاذب می‌توانند آب حاصل از آبیاری و بارندگی را جذب کرده، از فرو نشت عمقی آن جلوگیری کنند و کار آیی مصرف آب را افزایش دهند (Gawande and Mungray, 2015; Divakaran *et al.*, 2015; Ouml *et al.*, 2011; Kangwansupamonkon *et al.*, 2010; Fanta *et al.*, 1967). بنابراین، مصرف پلیمر در خاک و مخصوصاً خاک‌های شنی می‌تواند با افزایش ظرفیت نگهداری رطوبت و کاهش شوری خاک باعث موفقیت برنامه‌های آبیاری در مناطق خشک و نیمه‌خشک گردد (Liu *et al.*, 2007; Islam *et al.*, 2015, Guilherme *et al.*, 2010; Ghazali *et al.*, 2017; Seki *et al.*, 2014).

در تحقیقات گذشته در جهان تاثیر پارامترهای فیزیکی بام سبز در میزان حجم رواناب تولیدی و مقدار آب جذب شده بررسی گردید و به نتایج مفیدی در این زمینه دست یافتند. در این تحقیق برای اولین بار با ساخت مدل فیزیکی بام سبز و دستگاه شبیه ساز بارندگی به بررسی میزان رواناب تولیدی با تغییر شرایط فیزیکی شامل شیب، شدت جریان و استفاده از درصدهای مختلف سوپر جاذب، در بسترهای مختلف پرداخته شد. آزمایش شامل ۴ تیمار خاک بایر، خاک دارای زئولیت ۱ درصد، خاک دارای

زئولیت ۳ درصد و خاک کشت شده با ۳ تکرار و با ۴ شیب و ۵ شدت جریان مختلف بود.

مواد و روش‌ها

زمان و محل اجرای پژوهش

این پژوهش به صورت آزمایش میدانی در دانشکده کشاورزی دانشگاه زنجان انجام گرفت. زمان آزمایش از فروردین ماه تا مرداد ماه سال ۱۳۹۷ بود. ارتفاع منطقه از سطح دریا ۱۵۹۴ متر است. از نظر شرایط آب و هوایی نیز این منطقه جزء مناطق نیمه خشک محسوب می‌شود. متوسط بارندگی سالیانه در نقاط مختلف استان زنجان در محدوده ۲۰۰ تا ۴۰۰ میلی‌متر و متوسط دمای سالیانه ۹ تا ۱۷ درجه سانتی‌گراد است. متوسط بارش، دما و رطوبت سالیانه آن به ترتیب ۲۹۵ میلی‌متر، ۱۰/۹ درجه سانتی‌گراد و ۵۴ درصد و اقلیم منطقه سرد خشک است. از نگاه زمین‌شناسی ساختمانی و پهنه‌های ساختاری- رسوبی ایران، در استان زنجان قلمروی متفاوت تکتونیکی حاکم است. بخش شمال خاوری استان (کوه‌های طارم) قسمت کوچکی از دامنه‌های جنوبی البرز باختری است در حالیکه گستره‌های وسیعی از نواحی مرکزی و جنوب استان متعلق به ورق ایران مرکزی می‌باشد شواهد زمین‌شناسی موجود نشانگر آن است که مرز بین دو پهنه مزبور از دشت قزوین – ابهر- زنجان عبور می‌کند. ارتفاعات شمال شهرستان زنجان به عنوان بخشی از البرز باختری مورفولوژی کوهسار دارد. بخش عمده هرز آبهای این ارتفاعات از طریق رودخانه قزل اوزن و سفیدرود به دریای خزر تخلیه می‌شود. در صورتیکه بخش ناچیزی از آن به دریاچه حوض سلطان منتهی می‌شود. بیشتر رخنمون‌های شمال استان زنجان مجموعه‌های پیروکلاستیک ائوسن (سازند کرج) است که به دو عضو آمند و کردکند تقسیم شده است. در شکل (۱) آخرین نقشه تفضیلی شهر زنجان ارائه شده است.

شکل ۱- آخرین نقشه تفضیلی شهر زنجان
Fig. 1- The latest detailed map of Zanjan city

مشخصات طرح آزمایشی و تیمارهای آزمایش

به منظور بررسی دقیق‌تر نتایج حاصل از اجرای طرح، پژوهش حاضر در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی و به صورت آزمایش فاکتوریل در چهار تیمار و سه تکرار انجام شد. عامل‌های طرح شامل خاک بایر، خاک حاوی زئولیت ۱ درصد ، خاک حاوی زئولیت ۳ درصد و خاک کشت شده (چمن) بود. دستگاه مورد استفاده از یک سطح بارش با ۵۰۰ نازل تشکیل شده است. ارتفاع دستگاه ۲۸۰ سانتی متری از سطح زمین است. این دستگاه توانایی تولید قطراتی با قطر حدود سه میلی‌متر با شدت جریان‌های متغیر (تا حدود ۱۲۰ میلی‌متر در ساعت) را داراست. آزمایش‌ها در ۵ شدت جریان مختلف (۳۵، ۴۵، ۵۵، ۶۵، ۷۵ میلی‌متر در ساعت) که بارندگی ۲۴ ساعته با دوره بازگشت های ۲، ۵، ۱۰، ۲۵ و ۵۰ سال در زنجان با اقلیم سرد خشک می باشد، انجام گرفت. در شکل (۲) دستگاه باران ساز نشان داده شده است. سوپرجاذب مورد استفاده در این مطالعه، زئولیت بود. اندازه ذرات زئولیت در حدود ۱ تا ۳ میلی‌متر بوده که برای کاربرد بهتر و یکنواختی پخش در خاک، به‌صورت دستی کوبیده شده و به ذرات ریزتر تبدیل گردید و سپس با خاک تیمارهای موردنظر مخلوط شد. پس از تعیین بافت جعبه‌های مذکور توسط ۱۲ کیلوگرم خاک پر شدند. در جعبه‌های تیمار اول، خاک بایر بود. با توجه به مطالعات صورت گرفته و استفاده محققان از درصد کمی از زئولیت در بافت‌های سنگین (جذب آب نسبتا بالای خاک رسی) نسبت به بافت‌های سبک، در این تحقیق نیز درصد کمی از زئولیت (۱ و ۳ درصد) استفاده شد و در جعبه‌های تیمار دوم، خاک غنی شده با ماده سوپرجاذب زئولیت با غلظت ۱ درصد و در جعبه‌های تیمار سوم خاک با زئولیت ۳ درصد و در جعبه های چهارم خاک کشت شده ریخته شد. مقدار زئولیت اضافه شده به ۵ سانتی‌متر لایه سطحی خاک (۵/۰۳۷ کیلوگرم)، در سطح ۱درصد ۵۰/۳۷ گرم و در سطح ۳ درصد ۱۵۱/۱۴ گرم، بود (Feitosa and Wilkinson, 2016).

شکل ۲- دستگاه باران ساز مورد استفاده در پژوهش
Fig. 2- Rainmaker used in research

اندازه‌گیری داده‌ها

در پژوهش صورت گرفته رواناب جمع‌آوری شده توسط بطری به روش حجمی توسط استوانه مدرج اندازه گیری شد. هم‌چنین اندازه‌گیری زه‌آب هر ۴۸ ساعت یکبار صورت می‌گرفت تا تیمارهای مورد آزمایش فرصت تخلیه و زهکشی آب ثقلی موجود در ستون خاک موجود را داشته باشند و رطوبت خاک نمونه‌ها به ظرفیت زراعی برسد. برای اندازه‌گیری نیز از سینی‌هایی استفاده شد که بعد از جمع‌آوری توسط استوانه مدرج اندازه‌گیری شدند. هم‌چنین میزان رسوب حمل شده توسط رواناب نیز بعد از خشک شدن در آون توسط ترازو توزین شد (Abedi Koopaee and Sohrab, 2004). در هر نوبت آزمایش بعد از اعمال شیب ۵ درصد و شدت مورد نظر ۶ عدد از جعبه‌ها به صورت تصادفی در دستگاه قرا گرفتند. پس از اعمال باران شبیه سازی شده جعبه‌ها از دستگاه خارج شده و

جعبه‌های بعدی قرار داده شدند. در هر مرحله بعد از ایجاد بارش مصنوعی بر روی سطوح مورد نظر پارامترهای رواناب و زه‌آب اندازه گیری شدند. در شکل (۳) جعبه‌های تیمارهای آزمایش نشان داده شده‌اند. هم‌چنین قبل از شروع هر مرحله آزمایش، میزان رطوبت خاک هر ۱۲ جعبه با استفاده از رابطه (۱) محاسبه گردیده و رطوبت تمامی جعبه‌ها به میزان رطوبت تیمار چمن(مرجع) رسانده شد.

$$\theta_m = 100 \times [\, M_{box} - (M_{sand} + M_S) / M_{as} \,] \qquad (۱)$$

که در آن:

θ_m : رطوبت جرمی؛ M_{box}: وزن جعبه؛ M_{sand} : وزن شن؛ M_S: وزن خاک خشک؛ M_{as} : وزن خاک خشک شده در گرمخانه می باشد.

شکل ۳- قرارگیری تیمارهای چمن و خاک بایر در دستگاه شبیه‌ساز باران

Fig. 3- Placement of grass and barley soil treatments in the rain simulator

تجزیه و تحلیل آماری

تجزیه و تحلیل آماری به صورت آزمایش فاکتوریل، به دلیل یکسان بودن شرایط در آزمایش و در قالب طرح کامل تصادفی صورت گرفت. برای ارزیابی تیمارهای مورد استفاده در این تحقیق، شاخص‌های زیر محاسبه شدند:

- تعیین تیمار مناسب برای بام سبز
- تعیین بهترین تیمار از نظر جذب و نگهداشت آب
- تعیین بیشترین و کمترین حجم رواناب، زه آب و رسوب حاصل از بارندگی در شدت جریان های ۳۵، ۴۵، ۵۵، ۶۵ و ۷۵ میلی متر در ساعت در شیب ثابت ۵ درصد

همه شاخص‌های فوق با استفاده از نرم‌افزارهای Excel و SPSS تحت تجزیه و تحلیل آماری قرار گرفتند و اختلاف میانگین‌های رواناب، زه آب و رسوب به منظور انتخاب بهترین تیمار با روش دانکن[۶] مقایسه شدند.

نتایج و بحث

در این قسمت نتایج حاصل از تجزیه و تحلیل آماری صفات اندازه‌گیری شده، مورد بحث و بررسی قرار می‌گیرد. صفات اندازه‌گیری شده در این پژوهش عبارتند از: تعیین تیمار مناسب برای بام سبز، تعیین بهترین تیمار از نظر جذب و نگهداشت آب، تعیین بیشترین و کمترین حجم رواناب، زه آب و رسوب حاصل از بارندگی در شدت بارش های ۳۵، ۴۵، ۵۵، ۶۵ و ۷۵ میلی‌متر در ساعت با دوره بازگشت ۲، ۵، ۱۰، ۲۵ و ۱۰۰ سال در شیب ثابت ۵ درصد. جدول (۱) نتایج میانگین مربعات تجزیه واریانس رواناب، زه آب، رسوب و درصد رطوبت تحت تأثیر پارامتر محیط کشت (خاک بایر، خاک دارای زئولیت یک درصد، خاک دارای زئولیت سه درصد و خاک کشت‌شده)، شدت بارش را نشان می‌دهد. همان‌طور که مشاهده می‌شود برای رواناب، زه آب و رسوب در سطح یک درصد معنی‌دار است. اما نتایج تجزیه واریانس برای درصد رطوبت به دلیل تأثیر تیمار شدت بارش در محیط کشت معنی‌دار نمی باشد و در واقع اثر متقابل این پارامترها بر میزان رطوبت اولیه بعد از ۲۴ ساعت تأثیر نداشته است.

جدول ۱- میانگین مربعات تجزیه واریانس رواناب، زه آب، رسوب، درصد رطوبت

Table 1. Mean squares analysis of variance of runoff, drainage, sediment, moisture content

درصد رطوبت Moisture content	رسوب (گرم) Sedimentation (g)	زه آب (میلی لیتر) Drain Water (mm)	رواناب (میلی لیتر) Runoff (mm)	درجه آزادی Degrees of freedom	متغیرها Parameters
0.27**	3.36**	281.27**	14.32**	79	تکرار Iteration
0.99**	39.13**	26.40**	270.80**	3	پوشش سطح Surface coverage
2.16**	16.65**	35.74**	48.37**	4	شدت جریان Discharge
0.029 n.s	1.93**	1.84**	5.41**	12	شدت جریان ×پوشش سطح Discharge×Surface coverage
0.47**	0.16**	0.20**	0.67**	12	شدت جریان×شیب Discharge×Slop
0.04	0.014	1.15	0.006	160	خطا Error
7.73	10.31	3.13	2.57	-	ضریب تغییرات Coefficient of variation

* و ** نشان دهنده معنی‌داری در سطح ۵ درصد و ۱ درصد و n.s. نشان‌دهنده عدم معنی‌داری است.

در جدول (۲) مقایسه میانگین سطح محیط کشت ارائه شده است. بر این اساس موارد زیر قابل ذکر می باشد:

- حجم رواناب در خاک بایر بیشترین مقدار را دارد و با توجه به روند آزمایش‌ها، می‌توان به این نکته اشاره نمود که در اولین روزهای داده‌برداری به دلیل اینکه خاک حالت طبیعی را داشت، نسبت به روزهای بعدی آزمایش‌ها، میزان جذب آب بیشتر و حجم رواناب کمتر بود. اما در روزهای بعد با سله بستن لایه‌های اولیه خاک، قدرت نفوذ آب به داخل خاک کاهش یافته و آب به‌صورت رواناب خارج می‌گردد و به همین دلیل خاک بایر با داشتن بیشترین حجم رواناب بیانگر این موضوع می‌باشد که خاک لخت تأثیر بسیار زیادی در هدررفت آب دارد.
- خاک دارای زئولیت جذب آب بیشتری نسبت به خاک بایر داشته اما نسبت به چمن جذب کمتری دارد و رواناب بیشتری دارد. به عنوان نمونه حجم رواناب در شدت جریان ۳۵ میلی متر و در شیب ۵ درصد بدین صورت بود که در تیمار دوم حدود ۳۶ درصد و در تیمار سوم حدود ۴۵ درصد نسبت به حجم رواناب در خاک بایر کاهش داشت.
- در شدت جریان ۷۵ میلی متر در ساعت و در شیب ۵ درصد، حجم رواناب تیمار دوم حدود ۱۵ درصد و تیمار سوم حدود ۲۷ درصد نسبت به حجم رواناب تیمار بایر کاهش یافت و در شیب ۲۰ درصد نیز کاهش حجم در تیمار دوم ۱۸ درصد و در تیمار سوم نیز حدود ۲۸ درصد ثبت گردید، در این دو شدت جریان کاهش حجم رواناب در تیمار چمن نیز ۱۰۰ درصد بدست آمد.

در روند حجم زه آب نیز، خاک بایر دارای بیشترین مقدار زه آب است و نشان می‌دهد که خاک بایر علاوه بر از دست دادن آب به‌صورت رواناب، حجم زیادی زه آب نیز از دست می‌دهد و نگه‌داشت آب در آن بسیار کم می‌باشد. بعد از خاک بایر، تیمار نوع دوم (خاک دارای زئولیت یک درصد)، تیمار سوم (خاک دارای زئولیت سه درصد) و خاک کشت شده (چمن) دارای روند نزولی زه‌آب هستند و همان‌طور که مشخص است هدر رفت آب در چمن کمتر است و خاک آن تمام آب را جذب می‌کند و زمانی که خاک اشباع می‌گردد، قسمتی از آب را گیاه جذب می‌کند و آب اضافی را نیز به‌صورت زه آب خارج می‌کند. اضافه نمودن زئولیت به خاک نیز باعث کاهش زه‌آب نسبت به خاک بایر شده است. هم‌چنین در این زمینه تحقیقی در سال ۲۰۱۵، نتایج مشابهی به‌دست آورده و اعلام نمود که کاهش قابل ملاحظه‌ای در حجم زه‌آب بعد از کاربرد

زئولیت مشاهده شده است. هم‌چنین در این مقایسات میزان رسوب نیز مشاهده می‌شود (Ghazavi, 2015).

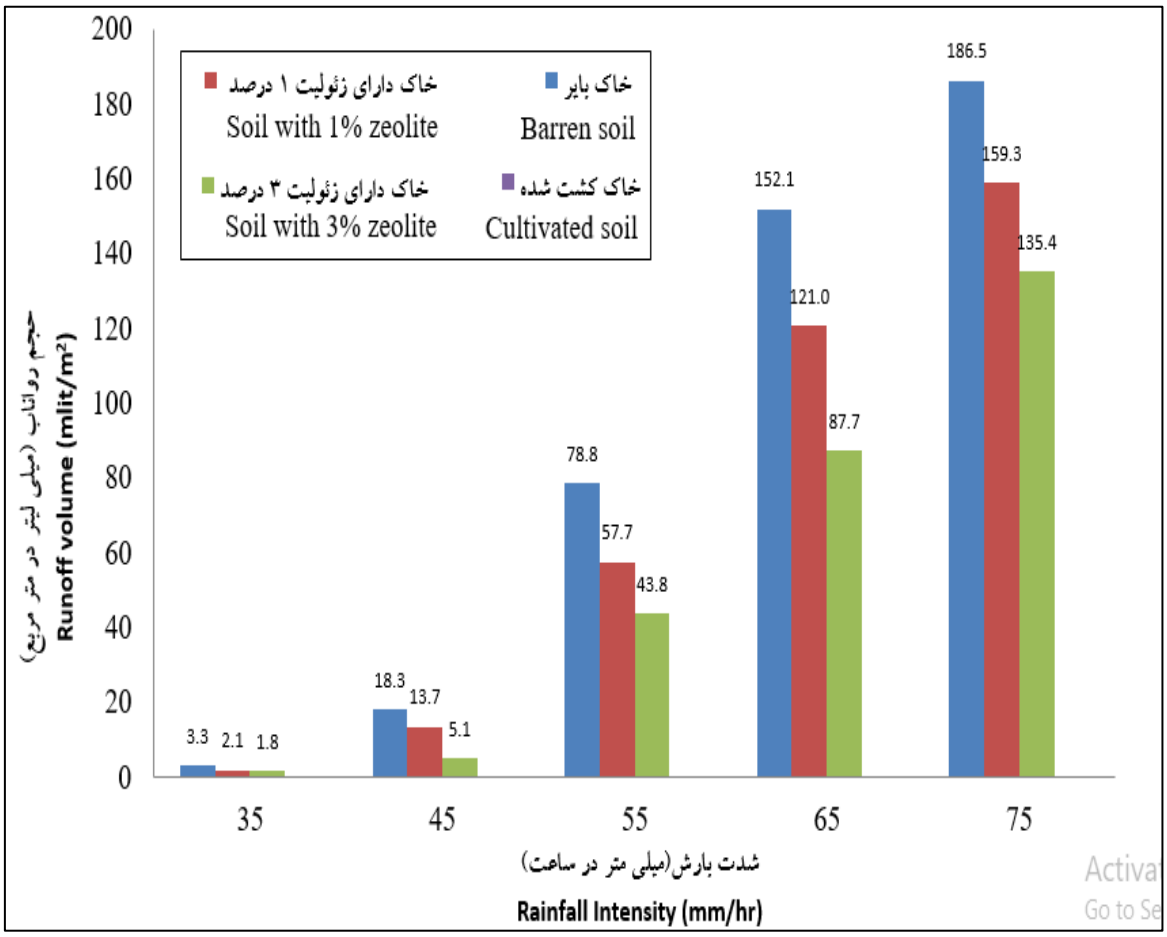
- تیمار دوم (خاک دارای زئولیت ۱درصد) رسوب بیشتری نسبت به بقیه تیمارها دارد. بعد از تیمار دوم، بیشترین رسوب مربوط به تیمار خاک دارای زئولیت ۳ درصد است. دلیل اینکه میزان رسوب در خاک‌های دارای زئولیت بیشتر از دو تیمار دیگر می‌باشد می‌تواند به این دلیل باشد که چون در هنگام مخلوط نمودن زئولیت با ۱۵ سانتی‌متری لایه سطحی، بافت خاک سست شده و به همین دلیل با جریان یافتن آب، با شستگی خاک همراه است اما در خاک بایر این حالت وجود ندارد و چون خاک دست نخورده می‌باشد میزان رسوب کمتر از تیمار دوم و سوم است. بعد از تیمار خاک بایر، خاک کشت شده می‌باشد که به دلیل نداشتن رواناب، هیچ رسوبی هم به همراه نداشته است.
- میزان رطوبت در تیمار خاک دارای زئولیت ۱ درصد، بیشترین مقدار است، البته میزان رطوبت در خاک دارای زئولیت ۳ درصد نیز نزدیک به تیمار دوم است و اختلاف بسیار کمی با یکدیگر دارند و این به دلیل جذب بالای آب توسط سوپر جاذب می‌باشد. هم‌چنین تیمار چهارم یعنی چمن نیز دارای رطوبت تقریباً نزدیک به تیمار سوم می‌باشد و درصد رطوبت چمن نیز دارای مقدار قابل‌توجهی است و کمترین حجم درصد رطوبتی مربوط به خاک بایر می‌باشد که همان‌طور که واضح و مشخص است درصد رطوبتی باقیمانده در خاک بایر به دلیل رواناب بسیار زیاد و همچنین حجم بالای زه آب، کم بوده است.

جدول ۲- مقایسه میانگین سطح محیط کشت

Table 2. Comparison of the average level of culture medium

منابع تغییرات Sources of changes	رواناب (میلی لیتر) Runoff (mm)	زه آب (میلی لیتر) Drain water (mm)	رسوب (گرم) Sedimentation (g)	درصد رطوبت Moisture content
خاک بایر Barren soil	4.51a	3.54a	1.37c	2.47c
خاک دارای زئولیت ۱ درصد Soil with 1% zeolite	4.20b	2.95b	1.58a	2.77a
خاک دارای زئولیت ۳ درصد Soil with 3% zeolite	3.95c	2.18c	1.58b	2.70ab
خاک کشت شده Cultivated soil	0.00d	2.09d	0.00d	2.69b

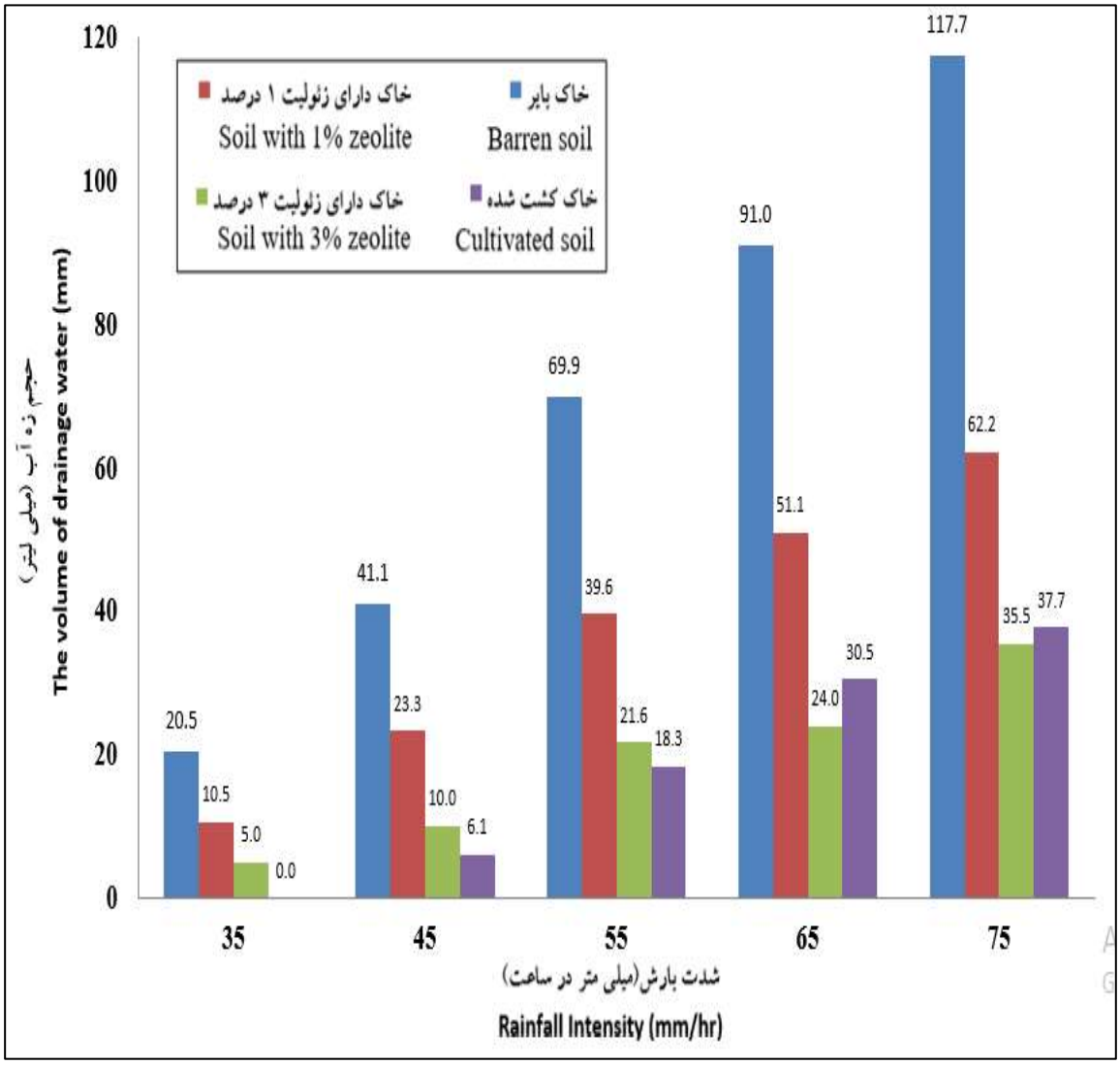
شکل (۴) رابطه بین حجم رواناب و افزایش شدت بارش در شیب ۵ درصد را نشان می‌دهد. بر این اساس ۴ تیمار در طی افزایش شدت بارش حالت صعودی دارند و حجم رواناب در خاک بایر بیشتر از بقیه تیمارها بوده و روند نزولی آن به ترتیب خاک حاوی زئولیت ۱درصد، خاک حاوی زئولیت ۳ درصد و خاک کشت شده می‌باشد. حجم رواناب در خاک بایر از حدود ۳/۳ میلی‌لیتر در شدت بارش ۳۵ میلی‌متر در ساعت به حدود ۱۸۷ میلی‌لیتر در شدت بارش ۷۵ میلی‌متر در ساعت رسیده است. همچنین در خاک حاوی زئولیت ۱ درصد، حجم رواناب اندازه‌گیری شده از حدود ۲ میلی‌لیتر در شدت بارش ۳۵ میلی‌متر در ساعت به حدود ۱۶۰ میلی‌لیتر در شدت بارش ۷۵ میلی‌لیتر در ساعت رسیده است. در خاک حاوی زئولیت ۳ درصد، حجم رواناب ثبت شده از حدود ۲ میلی‌لیتر در شدت بارش ۳۵ میلی‌لیتر در ساعت به ۱۳۵ میلی‌لیتر در شدت بارش ۷۵ میلی‌لیتر در ساعت رسیده و حجم رواناب چمن نیز در تمامی شدت بارش‌ها صفر می‌باشد. این مقادیر نشان می‌دهد که در میان تیمارها میزان هدر رفت آب در خاک بایر بسیار بیشتر است و چمن نیز فاقد رواناب بوده و تمام بارندگی را جذب می‌کند.



شکل ۴- تغییرات حجم رواناب نسبت به شدت بارش در سطوح مختلف بام سبز با شیب ۵ درصد

Fig. 4- Changes in runoff volume relative to rainfall intensity at different levels of green roof with a slope of 5%

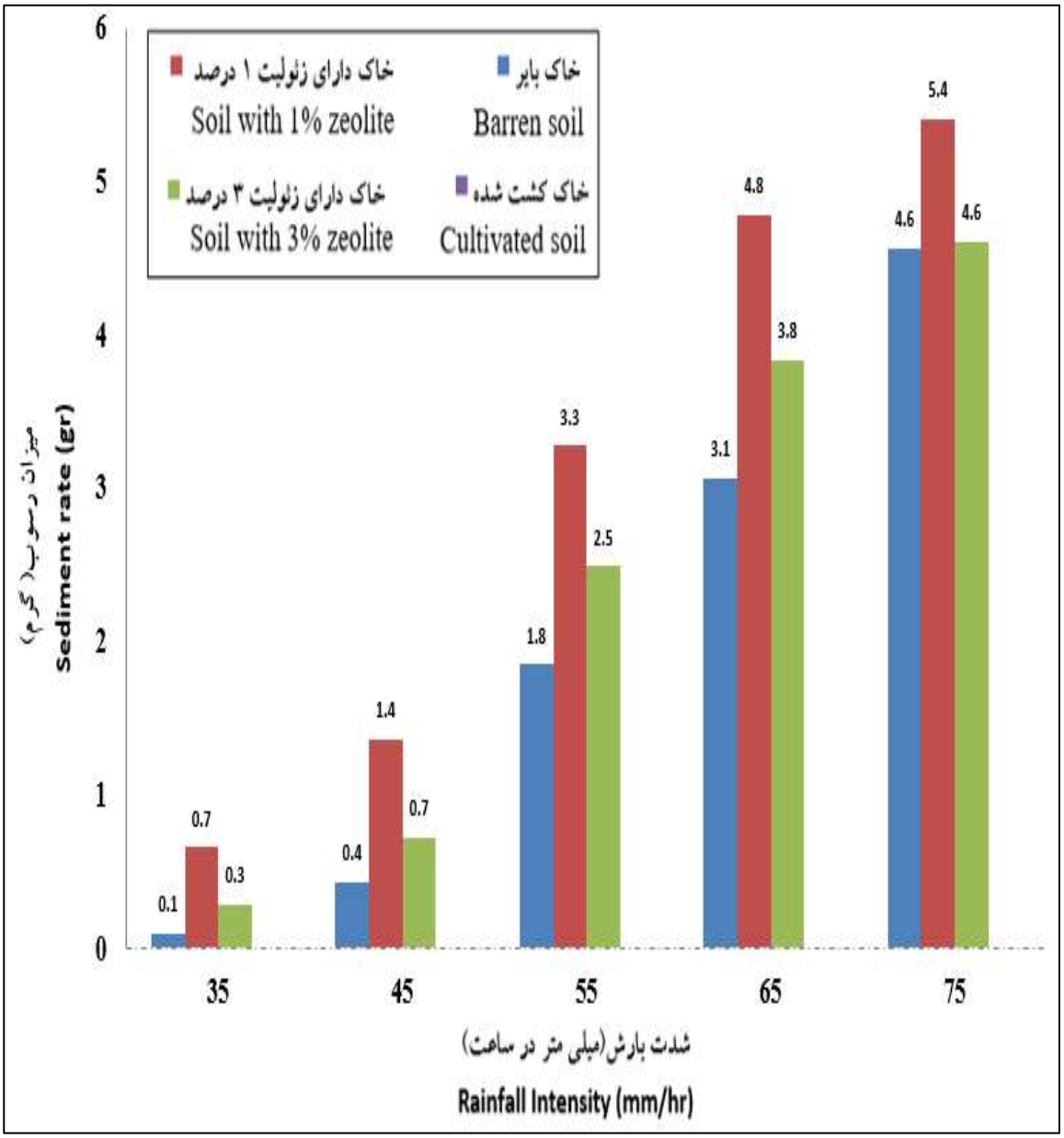
شکل (۵) رابطه بین حجم زه آب و شدت بارش درشیب ۵ درصد را ارائه می‌کند. بر این اساس در تمامی تیمارها حجم زه آب با افزایش شدت بارش افزایش‌یافته است و بالاترین مقدار حجم زه آب متعلق به خاک بایر می‌باشد. خاک دارای زئولیت ۱ درصد و خاک دارای زئولیت ۳ درصد و در آخر خاک کشت‌شده به ترتیب به‌صورت کاهشی قرار گرفته‌اند. در شدت بارش ۶۵ و ۷۵ میلی‌متر در ساعت حجم زه آب در خاک کشت‌شده بیشتر از خاک دارای زئولیت ۳ درصد است و این موضوع نشان می‌دهد که تیمار نوع سوم در این دو شدت بارش، جذب آب بیشتری نسبت به بقیه تیمارها دارد. در خاک بایر حجم زه آب در شدت بارش ۳۵ میلی‌متر در ساعت حدود ۲۰ میلی‌لیتر و در شدت بارش ۷۵ میلی‌متر در ساعت حدود ۱۱۸ میلی‌لیتر می‌باشد که افزایش زه آب را در طی افزایش شدت بارش مشاهده می‌شود. در تیمار دوم نیز زه آب خروجی حدود ۱۰ میلی‌لیتر در شدت بارش ۳۵ میلی‌متر در ساعت و حدود ۶۲ میلی‌لیتر در شدت بارش ۷۵ میلی‌متر در ساعت می‌باشد. در تیمار خاک دارای زئولیت ۳ درصد، حجم زه آب از حدود ۵ میلی‌لیتر در شدت بارش ۳۵ میلی‌لیتر در ساعت به حدود ۳۵ میلی‌لیتر در مترمربع در شدت بارش ۷۵ میلی‌متر در ساعت رسیده است. در مورد تیمار چمن نیز حجم زه آب از حدود ۰ میلی‌لیتر در شدت بارش ۳۵ میلی‌متر در ساعت به ۳۸ میلی‌لیتر در شدت بارش ۷۵ میلی‌متر در ساعت رسید و داده‌های ثبت‌شده نیز حاکی از این است که در دو شدت بارش ۶۵ و۷۵ میلی‌متر در ساعت میزان جذب آب در خاک دارای زئولیت ۳ درصد بیشتر از بقیه تیمارها می‌باشد.



شکل ۵- تغییرات حجم زه آب نسبت به شدت بارش در سطوح مختلف بام سبز با شیب ۵ درصد

Fig. 5- Changes in drainage volume with respect to rainfall intensity at different levels of green roof with a slope of 5%

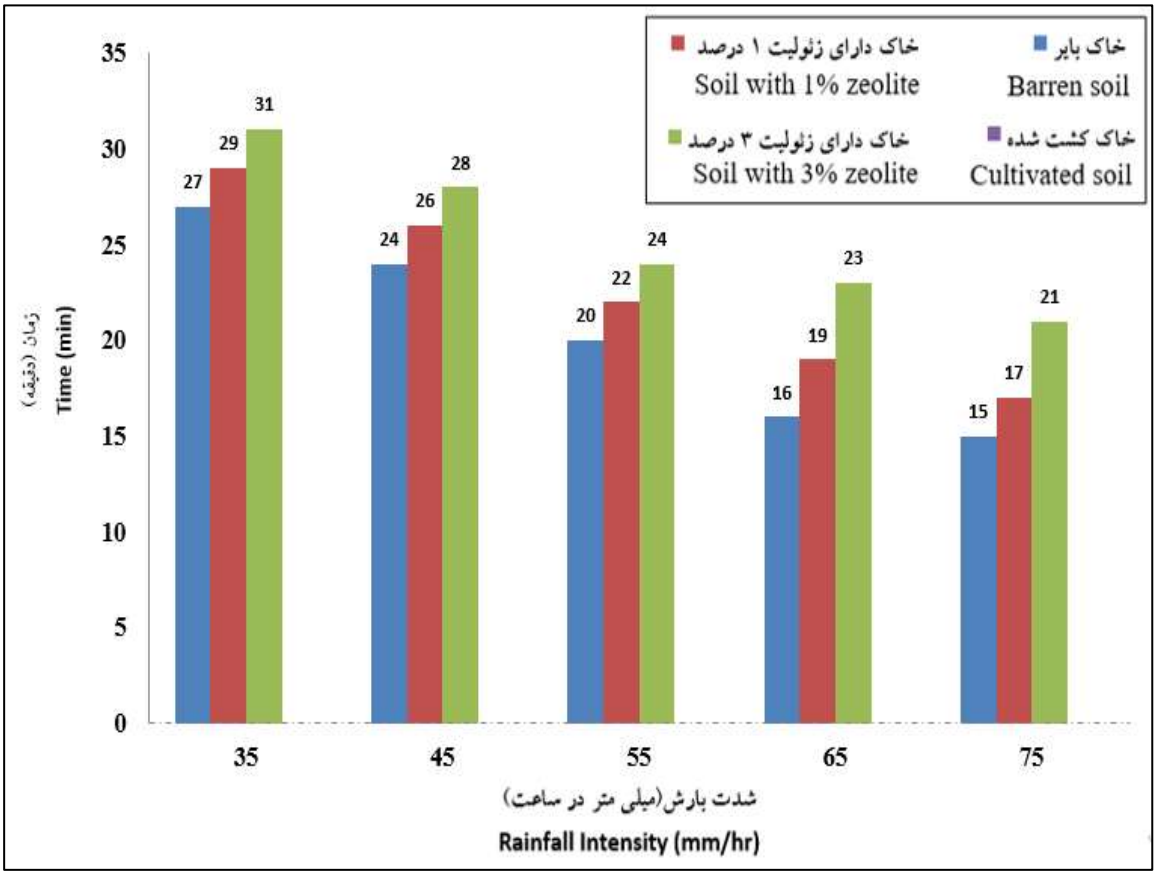
شکل (۶) نشان‌دهنده رابطه بین رسوب حاصل از رواناب و افزایش شدت بارش درشیب ۵ درصد می‌باشد. بر این اساس با افزایش شدت بارش میزان رسوب اندازه‌گیری شده در رواناب در تیمارها، به غیر تیمار چمن، افزایش می‌یابد و تیمارهای نوع دوم و سوم، اول و چهارم به ترتیب نزولی قرارگرفته‌اند. همان‌طور که مشاهده می‌شود میزان رسوب در خاک بایر از ۲ تیمار دوم و سوم به دلیل سله بستن و چسبندگی زیاد خاک، کمتر است. در خاک دارای زئولیت ۱ درصد میزان رسوب از حدود ۰/۷ گرم در شدت بارش ۳۵ میلی‌متر در ساعت تا حدود ۵ گرم در شدت بارش ۷۵ میلی‌متر در ساعت افزایش یافت. در تیمار سوم، میزان رسوب از حدود ۰/۳ گرم در شدت بارش ۳۵ میلی‌متر در ساعت به حدود ۵ گرم در شدت بارش ۷۵ میلی‌متر در ساعت رسید. تیمار بعدی خاک بایر می‌باشد که میزان رسوب در آن از حدود ۰/۱ گرم در شدت بارش ۳۵ میلی‌متر در ساعت به حدود ۵ گرم در شدت بارش ۳۵ میلی‌متر در ساعت رسید و اما باز در آخرین تیمار، میزان رسوب به دلیل نداشتن رواناب صفر بوده و عددی ثبت نگردید. این داده‌ها نشان می‌دهد که میزان شسته شدن خاک در زئولیت ۱ درصد بیشتر از بقیه تیمارها بوده است.



شکل ۶- تغییرات میزان رسوب نسبت به شدت بارش در سطوح مختلف بام سبز با شیب ۵ درصد

Fig. 6- Changes in the amount of sediment relative to the intensity of precipitation at different levels of the green roof with a slope of 5%

شکل (۷) رابطه بین زمان شروع رواناب و افزایش شدت بارش درشیب ۵ درصد ارائه می نماید. بر این اساس تیمار سوم دارای بالاترین زمان شروع رواناب است و مدت‌زمان بیشتری طول می‌کشد تا رواناب جریان پیدا کند. بعد از تیمار دوم و بعد خاک بایر درروند نزولی قرار دارند. زمان حرکت رواناب در تیمار سوم در شدت بارش ۳۵ میلی‌متر در ساعت ۳۱ دقیقه است که در شدت بارش ۷۵ میلی‌متر در ساعت به ۲۱ دقیقه رسیده است. در تیمار دوم نیز زمان حرکت رواناب از ۲۹ دقیقه در شدت بارش ۳۵ میلی‌متر در ساعت تا حدود ۱۷ دقیقه درشدت جریان ۷۵ میلی‌متر در ساعت کاهش‌یافته است. در خاک بایر، زمان شروع حرکت رواناب از ۲۷ دقیقه در شدت بارش میلی‌متر در ساعت به ۱۵ دقیقه در شدت بارش ۷۵ میلی‌متر در ساعت رسیده است و برای تیمار چمن به دلیل جریان نداشتن رواناب زمانی نیز ثبت نشده است.



شکل ۷- تغییرات زمان شروع رواناب نسبت به شدت بارش در سطوح مختلف بام سبز با شیب ۵ درصد

Fig. 7- Changes in runoff start time relative to rainfall intensity at different levels of green roof with a slope of 5%

نتیجه‌گیری

با توجه به نتایج حاصله، مشاهده شد که خاک بایر به دلیل سله بستن لایه‌های سطحی آن و گرفتگی منافذ دارای حجم رواناب بسیار بالایی می‌باشد. افزودن زئولیت به خاک باعث کاهش محسوس حجم رواناب نسبت به خاک بایر گردید و تیمار سوم بعد از تیمار چهارم بهترین نوع تیمار از نظر کاهش حجم رواناب تعیین شد، که با نتایج تحقیقات liu *et al.* (2019) تطبیق دارد. از طرفی در مورد تیمار شاهد (چمن) مشاهده شد که گیاه مانع جریان یافتن رواناب گردید و این موضوع اهمیت بسیار زیادی در بام سبز دارد. متغیر مهم دیگر زه‌آب می‌باشد، حجم زه‌آب نیز با توجه به نتایج در تیمار خاک بایر به دلیل نداشتن جذب بسیار کم در خاک، بالا بوده و پایین‌ترین حجم نیز به خاک کشت شده مربوط می‌باشد که نشان می‌دهد چمن باعث جذب کل آب باران به خاک شده و مانع جریان یافتن رواناب گشته است، که با نتایج تحقیقات Razzaghmanesh and Beecham (2014) همخوانی دارد. بعد از تیمار چمن، کم‌ترین میزان حجم زه‌آب در تیمار دارای زئولیت ۳ درصد می‌باشد که حاکی از این موضوع است که افزودن زئولیت به خاک باعث نگه‌داشت بیشتر آب نسبت به خاک بایر می‌گردد. پارامتر سوم محاسبه شده رسوب حاصل از جریان رواناب می‌باشد. میزان فرسایش و هدررفت خاک در تیمار دارای زئولیت یک درصد بالا بود و کمترین میزان فرسایش را ابتدا تیمار چمن و بعد تیمار خاک بایر داشتند. سنگ های باقیمانده بر روی سطوح تیمار سوم هم نشان دهنده فرسایش نسبتا بالای خاک دارای زئولیت سه درصد بود. دلیل این نتیجه می‌تواند به این خاطر باشد که با مخلوط نمودن زئولیت به لایه های سطحی خاک، استحکام بافت خاک سست شده و با روان شدن رواناب، ذرات خاک راحت‌تر جدا

شده‌اند اما در خاک بایر به دلیل سله بستن خاک و تحکیم لایه‌های آن، میزان شستگی خاک نیز کم‌تر می‌باشد و در حین آزمایش نیز مشاهده گردید که آب رواناب در خاک بایر زلال‌تر از آب جریان یافته در بقیه تیمارها بود که به دلیل کم بودن فرسایش است، هم‌چنین در تیمار چمن نیز به دلیل نبود رواناب، فرسایش خاک هم ثبت نگردید. این بخش از نتایج نیز با تحقیقات Guilherme *et al.* (2010) تطابق دارند. آخرین پارامتر تعیین شده زمان شروع رواناب می‌باشد. در خاک بایر چون نفوذ آب کم است، بعد از مدت زمان کمی بعد از بارش، آب به صورت رواناب جاری می‌گردد، اما زئولیت این خاصیت و ویژگی را دارد که با اضافه شدن به خاک زمان شروع رواناب را طولانی‌تر می‌کند، بنابراین در تیمارهای مورد مطالعه، زمان شروع حرکت رواناب در خاک دارای زئولیت سه درصد طولانی تر از بقیه تیمارها ثبت گردید و این نشان می‌دهد که ابتدا خاک در حال جذب آب باران بوده که بعد از اشباع آن، آب به‌صورت رواناب جریان یافته است. در انتها چنین می توان گفت که با توجه به دستاوردهای این مطالعه، بام های سبز علاوه بر نقش بهبود بصری در شهرهای مدرن امروزی به‌عنوان یک ابزار موثر در مدیریت اکولوژی شهر، باعث ارتقاء کیفیت زیست بوم شهری و شهر سبز می شوند.

پی‌نوشت‌ها

[1] Best Management Practices (BMP)
[2] Low Impact Development (LID)
[3] Green Roof
[4] Extensive Green Roof
[5] Intensive Green Roof
[6] Dunkan

منابع

Abedi Koopaee, J. and Sohrab, F., 2004. Evaluating the application of superabsorbent polymers on soil water capacity and potential on three soil textures. Iranian Journal oh Polymer Science and Technology. 17(3) 163–173.

Arnell, N.W., 1999. The effect of climate change on hydrological regimes in Europe: a continental perspective. Global Environmental Change. 9 (1), 5–23.

Bates, B., Kundzewicz, Z.W., Wu, S. and Palutikof, J., 2008. Climate change and Water: technical Paper VI. Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) Secretariat. Geneva, 210 pp.

Berretta, C., Poë, S. and Stovin, V., 2014. Moisture content behavior in extensive green roofs during dry periods: The influence of vegetation and substrate characteristics. Journal of Hydrology. 511, 374-386

Brudermann, T. and Sangkakool, T., 2017. Green roofs in temperate climate cities in Europe—an analysis of key decision factors. Urban Forestry and Urban Greening. 21, 224–234.

Carpenter, D.D. and Kaluvakolanu, P., 2010. Effect of roof surface type on storm-water runoff from full-scale roofs in a temperate climate. Journal of Irrigation and Drainage Engineering. 137(3), 161-169.

Carson, T.B., Marasco, D.E., Culligan, P.J. and McGillis, W.R., 2013. Hydrological performance of extensive green roofs in New York City: observations and multi-year modeling of three full-scale systems. Environmental Research Letters. 8(2), 24-36.

Catalano, C., Marcenò, C., Laudicina, V.A. and Guarino, R., 2016. Thirty years unmanaged green roofs: Ecological research and design implications. Landscape and Urban Planning. 149, 11–19.

Divakaran, A.V., Torris At, A. and Lele, A.K., 2015. Porous poly (ethylene glyc01) polyurethane

hydrogels as potential biomaterials. Polymer International. 64 (3), 397–404.

Dunnett, N. and Kingsbury, N., 2008. Planting Green Roofs and Living Walls. Timber Press, Portland.

Dvorak, B., Volder, A., 2010. Green roof vegetation for North American ecoregions: A literature review. Landscape and Urban Planning. 96, 197–213.

Fanta, G.F., Burr, R.C., and Russell, C.R., 1967. Graft copolymers of starch. III. Copolymerization of gelatinized wheat starch with acrylonitrile. Influence of chain modifiers on copolymer composition. Journal of Applied Polymer Science. 11 (3), 457–463.

Feitosa, R. C. and Wilkinson, S., 2016. Modelling green roof storm water response for different soil depths. Landscape and Urban Planning. 153, 170-179.

Fioretti, R., Palla, A., Lanza, L.G. and Principi, P., 2010. Green roof energy and water related performance in the Mediterranean climate. Building and Environment. 45, 1890–1904.

Francis, S., Kumar, M. and Varshney, L., 2004. Radiation synthesis of superabsorbent poly (acrylic acid)-carrageenan hydrogels. Radiation Physics and Chemistry. 69 (6), 481–486.

Gawande, N. and Mungray, A.A., 2015. Superabsorbent polymer (SAP) hydrogels for protein enrichment. Separation & Purification Technology. 150, 86–94.

Ghazali, S., Jamar, S. and Noordin, N., 2017. Properties of Controlled. Release. Water-Retention Fertilizer Coated with Carbonaceous g-Poly (acrylic acid-co-acrylamide) Superabsorbent Polymer. International Journal of Chemical Engineering. 8 (2), 141–147.

Ghazavi, R., 2015. The application effects of natural zeolite on soil runoff, soil drainage and some chemical soil properties in arid land area. International Journal of Innovation and Applied Studies. 13(1), p.172-177.

Gregoire, B.G. and Clausen, J.C., 2011. Effect of a modular extensive green roof on storm water runoff and water quality. Ecological Engineering. 37(6), 963-969.

Groenewegen, P.P., van den Berg, A.E., de Vries, S. and Verheij, R.A., 2006. Vitamin G: Effects of green space on health, well-being, and social safety. BMC Public Health. 6, 149-158.

Guilherme, M.R., Reis, A.V. and Paulino, A.T., 2010. Pekin—based polymer hydrogel as a carrier for release of agricultural nutrients and removal of heavy metals from wastewater. Journal of Applied Polymer Science. 117 (6), 3146–3154.

Islam, M.S., Rahaman, M.S. and Yeum, J.H., 2015. Electro spun novel super-absorbent based on polysaccharide-polyvinyl alcohol-montmorillonite clay nanocomposites. Carbohydrate Polymers Journal. 115, 69–77.

Kangwansupamonkon, W., Jitbunpot, W. and Kiatkamjornwong, S., 2010. Photo catalytic efficiency of TiOJ poly [acrylamide-CO·(acrylic acid) composite for textile dye degradation. Polymer Degradation & Stability. 95 (9), 1894–1902.

Kiatkamjornwong, S., 2006. Graft copolymerization, characterization, and degradation of cassava Starch-g-acrylamide/Taconic acid superabsorbent. Carbohydrate Polymers Journal. 66 (2), 229–245.

Kowarik, I., 2011. Novel urban ecosystems,

biodiversity, and conservation. Environmental Pollution. 159, 1974–1983.

Lee, J.S., Kumar, R.N. and Rozman, H.D., 2004. Flow behavior of sage Starch-g-poly (acrylic acid) in distilled water and NaOH-effect of photo grafting. Carbohydrate Polymers Journal. 56 (3), 347–354.

Lee, J.S., Kumar, R.N. and Rozman, H.D., 2005. Pasting, swelling and solubility properties of UV initiated starch-graft-poly (AA). Food Chemistry. 91 (2), 203–211.

Li, W.C., and Yeung, K.K.A., 2014. A comprehensive study of green roof performance from environmental perspective. International Journal of Sustainable Building and Environment. 3, 127–134.

Lin, O.H., Kumar, R.N. and Rozman, H.D., 2005. Grafting of sodium carboxy methyl cellulose (CMC) with glycidyl methacrylate and development of UV curable coatings from CMC-g-GMA induced by cationic photo initiators. Carbohydrate Polymers Journal.59 (1), 57–69.

Liu, J.H., Wang, Q. and Wang, A.Q., 2007. Synthesis and characterization of Chitosan-g-poly (acrylic acid) /sodiun humate superabsorbent. Carbohydrate Polymer. 70 (2), 166–173.

Liu, K.K.Y. and Rowe, B., 2007. Green Roofs as Urban Ecosystems: Ecological Structures, Functions, and Services. BioScience. 57, 823–833.

Liua, W., Weib, W., Chenb, W., Deoa, R.C., Sia, J., Xia, H., Lia, B. and Feng, Q., 2019. The impacts of substrate and vegetation on storm water runoff quality from extensive green roofs. Journal of Hydrology. 576, 575-582.

Madre, F., Vergnes, A., Machon, N. and Clergeau, P., 2014. Green roofs as habitats for wild plant species in urban landscapes: First insights from a large-scale sampling. Landscape and Urban Planning. 122, 100–107.

Moran, A. C., Hunt, B. and Jennings, G., 2004. A North Carolina field study to evaluate green roof runoff quantity, runoff quality, and plant growth (Doctoral dissertation, North Carolina State University.).

Mentens, J., Raes, D. and Hermy, M., 2006. Green roofs as a tool for solving the rainwater runoff problem in the urbanized 21st century? Landscape and urban planning. 77(3), 217-226.

Oberndorfer, E., Lundholm, J., Bass, B., Coffman, R.R., Doshi, H., Dunnett, N., Gaffin, S., Köhler, M., Perring, M.P., Manning, P., Hobbs, R.J., Lugo, A.E., Ramalho, C.E. and Standish, R.J., 2013. Novel Urban Ecosystems and Ecosystem Services. In Novel Ecosystems, Hobbs, R.J., Higgs, E.S., Hall, C.M., Eds., John Wiley & Sons Ltd.: Hoboken, NJ, USA. 310–325.

Ouml, Zkahraman, B. and Acar, I., 2011. Removal of $Cu^{2+}$and pb^{2+}Ions using CMC based thermo responsive nan composite hydrogel. Acta Hydrochimica Et Hydrobiologica. 39 (7), 658–664.

Poë, S., Stovin, V. and Berretta, C., 2015. Parameters influencing the regeneration of a green roof's retention capacity via evapotranspiration. Journal of Hydrology. 523, 356–367.

Razzaghmanesh, M. and Beecham, S., 2014. The hydrological behavior of extensive and intensive green roofs in a dry climate. Science of the Total Environment. 499, 284-296.

Razzaghmanesh, M., Beecham, S. and Brien, C. J., 2014. Developing resilient green roofs in a dry climate. Science of the Total Environment. 490, 579-589.

Razzaghmanesh, M., Beecham, S. and Kazemi, F., 2015. The growth and survival of plants in urban green roofs in a dry climate. Science of the Total Environment. 476, 288-297.

Schroll, E., Lambrinos, J., Righetti, T. and Sandrock, D., 2011. The role of vegetation in regulating storm water runoff from green roofs in a winter rainfall climate. Ecological engineering. 37(4), 595-600.

Seki, Y., Altinisik, A. and Demirciolu, B., 2014. Carboxymethyl cellulose(CMC)- hydroxyethyl cellulose(HEC)based hydrogels: synthesis and characterization. Cellulose. 21 (3), 1689–1698.

Soulis, K.X., Ntoulas, N., Nektarios, P.A. and Kargas, G., 2017. Runoff reduction from extensive green roofs having different substrate depth and plant cover. Ecological Engineering. 102, 80–89.

Speak, A.F., Rothwell, J.J., Lindley, S.J. and Smith, C.L., 2013. Rainwater runoff retention on an aged intensive green roof. Science of the Total Environment. 461, 28-38.

Stovin, V., Vesuviano, G. and Kasmin, H., 2012. The hydrological performance of a green roof test bed under UK climatic conditions. Journal of Hydrology. 414, 148-161.

Stovin, V., Poë, S., De-Ville, S. and Berretta, C., 2015. The influence of substrate and vegetation configuration on green roof hydrological performance. Ecological Engineering. 85, 159–172.

Van Mechelen, C., Dutoit, T., Kattge, J. and Hermy, M., 2014. Plant trait analysis delivers an extensive list of potential green roof species for Mediterranean France. Ecological Engineering. 67, 48–59.

Young, T., Cameron, D.D., Sorrill, J., Edwards, T. and Phoenix, G.K., 2014. Importance of different components of green roof substrate on plant growth and physiological performance. Urban Forestry & Urban Greening. 13, 507–516.

Yang, W.Y., Li, D., Sun, T. and Ni, G.H., 2015. Saturation-excess and infiltration-excess runoff on green roofs. Ecological Engineering. 74, 327-336.

Environmental Sciences Vol.20 / No.3 / Autumn 2022

53-70

Original Article

Evaluation of the effect of super adsorbent and vegetation on green roof in a cold dry climate

Farhad Misaghi,[1*] Zeinab Bigdeli[2] and Mostafa Razzaghmanesh[3]

[1] Department of Water Science and Engineering, Faculty of Agriculture, University of Zanjan, Zanjan, Iran
[2] Department of Irrigation and Drainage, Faculty of Agriculture, University of Tabriz, Tabriz, Iran
[3] Department of Civil and Environmental Engineering, Colorado State University, USA

Received: 2021.07.25 Accepted: 2021.09.25

Misaghi, F., Bigdeli, Z. and Razzaghmanesh, M., 2022. Evaluation of the effect of super adsorbent and vegetation on green roof in cold dry climate. Environmental Sciences. 20(3): 53-70.

Introduction: Urbanization is increasing in the world and the world's urban population is becoming denser in cities. One of the effects of urbanization is the increase in the percentage of impervious surfaces in these areas. Today, many important cities in the world pay attention to the concept of sustainable development in order to reduce the effects of their city development on the quality and quantity of runoff and use modern green management technologies, including the best management methods and development methods with minimal side effects. A green roof is a multi-layered system that covers the roof and balcony of a building with vegetation and by absorbing and keeping part of the rain, and by influencing the processes of evaporation and transpiration, purification, the volume and intensity of the peak flow of runoff, the dimensions The drainage system reduces the downstream and improves the quality of air and water, preserves the beauty of the city and prevents the wastage of building energy.

Material and methods: This research was conducted as a field experiment in the Faculty of Agriculture of Zanjan University. The test period was from April to August of 2017. In this research, the effect of the use of super absorbent (zeolite) on the amount of water absorption and retention, the maximum and minimum volume of runoff, the volume of runoff, sediment and the start time of the runoff resulting from rainfall in the rain intensity of 35, 45, 55, 65 and 75 mm/h has been investigated on a green roof with a slope of 5%, in a cold dry climate.

[*]Corresponding Author: *Email Address*. Farhad_misaghi@znu.ac.ir
http://dx.doi.org/10.52547/envs.2021.1075
http://dorl.net/dor/20.1001.1.17351324.1401.20.3.4.7

Results and discussion: Based on this, with the increase in the intensity of rainfall, the volume of runoff also increases, and the volume of runoff in barren soil is more than the rest of the treatments, and its downward trend is soil containing 1% zeolite, soil containing 3% zeolite, and cultivated soil. Also, the volume of runoff increased with the increase in rainfall intensity and the highest value of runoff volume belongs to barren soil. The sediment measured in the runoff also increases with the increase in the intensity of precipitation in the treatments, except for the grass treatment.

Conclusion: Barren soil has a very high volume of runoff due to the sealing of its surface layers and clogging of pores. Adding zeolite to the soil significantly reduced the volume of runoff and retained more water than barren soil. The rate of erosion in soil with 1% zeolite was high and the rate of erosion was the lowest in grass. In barren soil, because the penetration of water is low, after a short period of time after the rain, the water flows as runoff, but zeolite has the property and characteristic that when added to the soil, the time for the start of runoff is lengthened by 3%.

Keywords: Green roof, Super absorbent, Runoff, Water retention.