بررسی و مقایسه‌ی پتانسیل استحصال آب باران از سطوح عایق پشت بام‌ها در شرایط اقلیمی مختلف (مطالعه موردی: شهرهای مشهد و نور)

پریسا پهلوانی[۱] محمد تقی دستورانی[*۲] جواد طباطبایی یزدی[۳] مهدی وفاخواه[۴]

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد آبخیزداری، دانشگاه فردوسی مشهد، ایران

۲- استاد دانشگاه فردوسی مشهد، ایران

۳- استادیار سازمان تحقیقات آموزش و ترویج کشاورزی مشهد، ایران

۴- دانشیار دانشکده منابع طبیعی و علوم دریایی دانشگاه تربیت مدرس، نور، ایران

تاریخ دریافت: ۹۵/۰۷

تاریخ پذیرش: ۹۵/۰۸

چکیده

باران جزء پاکترین منابع آب موجود در طبیعت است، چنانچه رواناب حاصل از آن جمع‌آوری و مورد استفاده قرار بگیرد باعث صرفه‌جویی در مصرف آب و مدیریت بهتر در منابع آب کشور خواهد شد. از آنجا که سطح وسیعی از مساحت شهرها راپشت‌بام منازل مسکونی تشکیل می‌دهد، حجم آب استحصالی از سطح پشت‌بام منازل قابل توجه است و می‌تواند بخشی از نیاز آبی ساکنان را فراهم کند. در این تحقیق وقایع بارش و رواناب در شهر مشهد که دارای اقلیم خشک و نیمه خشک است و شهر نور که دارای اقلیم معتدل است، مورد اندازه‌گیری قرار گرفت. سطح مورد نظر برای جمع‌آوری آب باران سطوح عایق پشت‌بام در نظر گرفته شد. پس از آماده‌سازی پشت‌بام‌ها، منبع آب قرار داده شد و بعد از هر بارش میزان رواناب اندازه‌گیری شد. اطلاعات مربوط به بارش از نزدیک‌ترین ایستگاه سینوپتیک به منطقه دریافت شد. با استفاده از تجزیه و تحلیل‌های آماری لازم، مقادیر ضریب رواناب و حجم رواناب ناشی از بارندگی به ازای مقادیر متفاوت عمق و شدت بارندگی بعد از هر واقعه تعیین گردیده است. بر اساس نتایج این تحقیق ضریب رواناب در وقایع بارندگی منجر به رواناب به طور متوسط برای فصل پاییز در مشهد ۰/۶۶ و نور ۰/۷۵، برای فصل زمستان در مشهد ۰/۶۹ و نور ۰/۷۶ و برای فصل بهار در مشهد ۰/۶۲ و نور ۰/۶۹ می‌باشد. احتمال آستانه ظهور رواناب در شهر نور ۰/۳ میلی‌متر و در شهر مشهد ۰/۷ میلی‌متر است. ارتفاع کل بارش و رواناب در مشهد به ترتیب ۲۱۷/۵ و ۱۳۹/۹ میلی‌متر و در نور ۴۹۶/۸ و ۳۵۶/۱ میلی‌متر است. بیشترین مقدار متوسط رواناب تولید شده در شهر مشهد مربوط به فصل بهار و در شهر نور مربوط به فصل پاییز است.

واژه‌های کلیدی: آستانه ظهور رواناب، بارش، جمع‌آوری آب باران، شدت، ضریب رواناب

مقدمه

یکی از تهدیدات اصلی برای نوع بشر در طول این قرن کمبود آب خواهد بود (Prinz, 2000). سامانه استحصال آب باران از روش‌هایی است که به طور مستقیم باعث کاهش فشار بر منابع آب می‌شود. با توجه به شرایط اقلیمی هر منطقه و مصارف بیش از حد استاندارد در اکثر کلان شهرها می‌توان مشکل کم آبی را با جمع‌آوری آب باران تا حدی کاهش داد. استفاده از سطوح آبخیز پشت‌بام‌ها این امکان را فراهم می‌کند تا بخشی از نیاز غیر شرب ساکنان منازل مسکونی را تامین کند و هزینه‌های تامین آب برای آبیاری فضای سبز، سرویس‌های بهداشتی و مصارف مشابه آن را کاهش دهد (رشیدی مهرآبادی،۱۳۹۱). در این روش می‌توان بارندگی‌ها را به صورت مستقیم جمع‌آوری و ذخیره نمود و سپس به صورت‌های مختلفی به مصرف رساند.

[*] نویسنده مسئول: محمد تقی دستورانی dastorani@um.acir

Boers و Ben-Asher (1982)، مطالعات مختلف انجام شده در سال‌های ۱۹۷۰ تا ۱۹۸۰ در خصوص استحصال آب باران را مورد بررسی قرار داده‌اند. بر اساس این بررسی در زمین‌های طبیعی که سطوح آن‌ها صاف شده باشد، ضریب رواناب بین ۲۵ تا ۳۵ درصد، سطوح پوشیده با پارافین ۴۸ تا ۹۰ درصد و میانگین ۸۵ درصد و سطوح آسفالت از ۲۵ تا بیش از ۹۰ درصد و میانگین ۸۵ تا ۹۵ درصد خواهد بود. Matinez (۱۹۹۸) در مناطق نیمه خشک مدیترانه-ای اسپانیا نحوه‌ی تولید و عوامل موثر بر رواناب را در حوضه‌های کوچک، از دو گروه خاک با عکس العمل‌های هیدرولوژیکی متفاوت بررسی کرده‌اند. مطابق این بررسی، خاک‌های ریز بافت با نفوذپذیری کم و مواد آلی کم، ضریب رواناب بالاتر و آستانه شروع رواناب کمتری نسبت به خاک‌های درشت بافت با نفوذپذیری بیشتر و مواد آلی متوسط دارند. از طرف دیگر اثر ویژگی‌های بارش بر عکس العمل هیدرولوژیک خاک متفاوت می‌باشد. شدت بارش پارامتر عمده کنترل کننده رواناب در حوضه‌های با بافت خاک ریزدانه، نفوذپذیری کم و پوشش گیاهی تنک بود در حالی که در خاک‌های درشت بافت‌تر، نفوذپذیر و با پوشش گیاهی متراکم‌تر مجموع بارش با رواناب ارتباط بیشتری داشت. Ramier و همکاران (2004) نیز بر روی میزان نفوذ محیط متخلخل و آسفالت و همچنین ضریب رواناب با استفاده از لایسیمتر کار کرده‌اند. نتیجه این تحقیق برای محیط متخلخل نشان‌دهنده آن است که ۱۶ درصد بارندگی تبدیل به رواناب شده، ۵۸ درصد نفوذ کرده و ۲۶ درصد تبخیر شده است در حالی که برای آسفالت ۷۴ درصد بارندگی تبدیل به رواناب، ۲ درصد نفوذ و ۲۵ درصد تبخیر شده است. Dreelin و همکاران (2006) ضریب رواناب را برای دو نوع پارکینگ پوشیده شده با آسفالت و پوشیده شده از مصالح متخلخل مورد بررسی قرار داده‌اند. در این بررسی ۹ واقعه بارندگی مورد بررسی قرار گرفته که ضریب رواناب برای محیط متخلخل از ۰ تا ۲۶ درصد متغیر بوده است. در حالی که ضریب رواناب برای آسفالت از ۳۵ تا ۹۳ درصد تغییر کرده است. Schaad و همکاران (2009) روندیابی جریان ناشی از بارندگی را در یک حوزه‌ی شهری در ویریجینای غربی در آمریکا انجام داده‌اند. برآورد رواناب بر اساس روش SCS انجام شده است. برای استحصال آب و ذخیره رواناب نیز برکه‌هایی طراحی شده که در این تحقیق تاثیر آن‌ها در کاهش پیک سیلاب شهری مورد بررسی قرار گرفته است. Montalto & Rostad (2012) پژوهشی را در مورد جمع‌آوری آب باران با استفاده از رواناب پشت‌بام‌های شهری برای فلش تانک‌های توالت مناطق مسکونی انجام دادند. این پژوهش با استفاده از آمار بارندگی منطقه، مساحت کل بام‌ها، جمعیت و میزان تقاضا برای چهار شهر آمریکا انجام شد. نتایج حاصل از تجزیه و تحلیل‌های آماری نشان داد که این روش می‌تواند ۵۰ تا ۹۴ درصد در کاهش میزان مصرف آب شرب کمک کند که خود بستگی به الگوی بارش در منطقه، مساحت سقف و میزان تقاضا دارد. Imteaz و همکاران (2012) پتانسیل استحصال آب را بر اساس یک مدل بیلان روزانه برای جنوب غربی نیجریه مورد مطالعه قرار داده‌اند. حجم رواناب بر اساس بارندگی روزانه و سطوح نفوذناپذیر و ضریب رواناب که در اینجا ۸۵ درصد فرض شده، برآورد گردیده است.

طهماسبی و همکاران (۱۳۸۵)، کاربرد مدل AWBM در برآورد رواناب جهت طراحی سامانه‌های کوچک مقیاس سطوح آبگیر باران را مورد ارزیابی قرار داده‌اند. در این تحقیق مدل AWBM که مدلی برای شبیه‌سازی بارش- رواناب می‌باشد، جهت تعیین مساحت سطوح آبگیر باران روی شیب‌های مختلف اراضی و با مقادیر متفاوت تراکم گیاهی استفاده شده است. نتایج به دست آمده نشان داد که به رغم خطای فاحش مدل AWBM در برآورد رواناب ماهانه، دقت این مدل در برآورد مقدار رواناب سالانه (با دقت حدود ۹۵ درصد) قابل قبول می‌باشد. سعدالدین و همکاران (۱۳۸۷) به ارزیابی کمیت و کیفیت آب باران قابل جمع‌آوری از سطوح بام ساختمان‌ها در پردیس‌های دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان پرداختند. تجزیه و تحلیل بیلان آب در پردیس‌های دانشگاه نشان داد که جمع‌آوری و استفاده از آب باران به طور قابل ملاحظه‌ای حتی در ماه‌های خشک سال می‌تواند از فشار مصرف منبع آب شیرین شهری بکاهد. نتایج بررسی پارامترهای کیفیت شیمیایی و میکروبی لزوم توجه دقیق‌تر به آلودگی‌های احتمالی آب در صورت استفاده شرب را نشان می‌دهد. عباسی و همکاران (۱۳۹۰) به بررسی تاثیر پارامتر آستانه شروع رواناب بر روی سطوح آبگیر شهری در شهر مشهد پرداختند. نتایج این بررسی نشان داد که آستانه بارش برای شروع رواناب ۲/۲

میلی‌متر با شدت بیشتر از ۸ میلی‌متر بر ساعت می‌باشد. عباسی و همکاران (۱۳۹۲) به بررسی پتانسیل استحصال آب باران در حوزه‌های آبخیز شهری پرداختند. در این پژوهش که در شهر مشهد انجام شد، سطح مورد نظر برای جمع-آوری و ذخیره‌سازی آب باران، محوطه پارکینگ و آسفالت خیابان‌های محدوده‌ی مورد مطالعه در نظر گرفته شد. نتایج نشان داد که ضریب رواناب در وقایع منجر به بارندگی به طور متوسط برای فصل بهار ۰/۵۲، برای فصل پاییز ۰/۵۹و برای فصل زمستان ۰/۶۰ می‌باشد. عابدزاده و همکاران (۱۳۹۳) پژوهشی را تحت عنوان مقایسه تامین آب مورد نیاز فضای سبز خانگی با آب استحصالی باران در اقلیم‌های مختلف انجام دادند. در این تحقیق دو منطقه در دو اقلیم متفاوت برای مطالعه کارایی روش ذخیره آب بارش به وسیله سقف‌های حلبی انتخاب شدند. نتایج نشان داد مقدار آب استحصال شده از پشت بام نمی‌تواند به طور کامل نیاز آبی گیاه را در قطعه زمین جنب خانه تامین کند و استفاده از این روش در شهر ساحلی رامسر نتیجه بهتری را می‌دهد و در بیرجند با توجه به کمبود بارش مقرون به صرفه نیست. عطارزاده حسینی و همکاران (۱۳۹۳) به بررسی تاثیر ضریب رواناب بر استحصال آب باران از سطوح پشت‌بام پرداختند. این مطالعه در حوزه مسکن مهر تربت جام صورت گرفت و سطح پشت‌بام ها با عایق ایزوگام پوشانده شد. مقدار ضریب رواناب در عایق‌های پشت‌بام ۰/۹ برآورد شد. بارش کل منطقه و محاسبه سطوح پشت‌بام‌ها نتایج نشان داد که مقدار آب استحصال شده برای کل شهر۷۷۵۳۰۳ متر مکعب است.

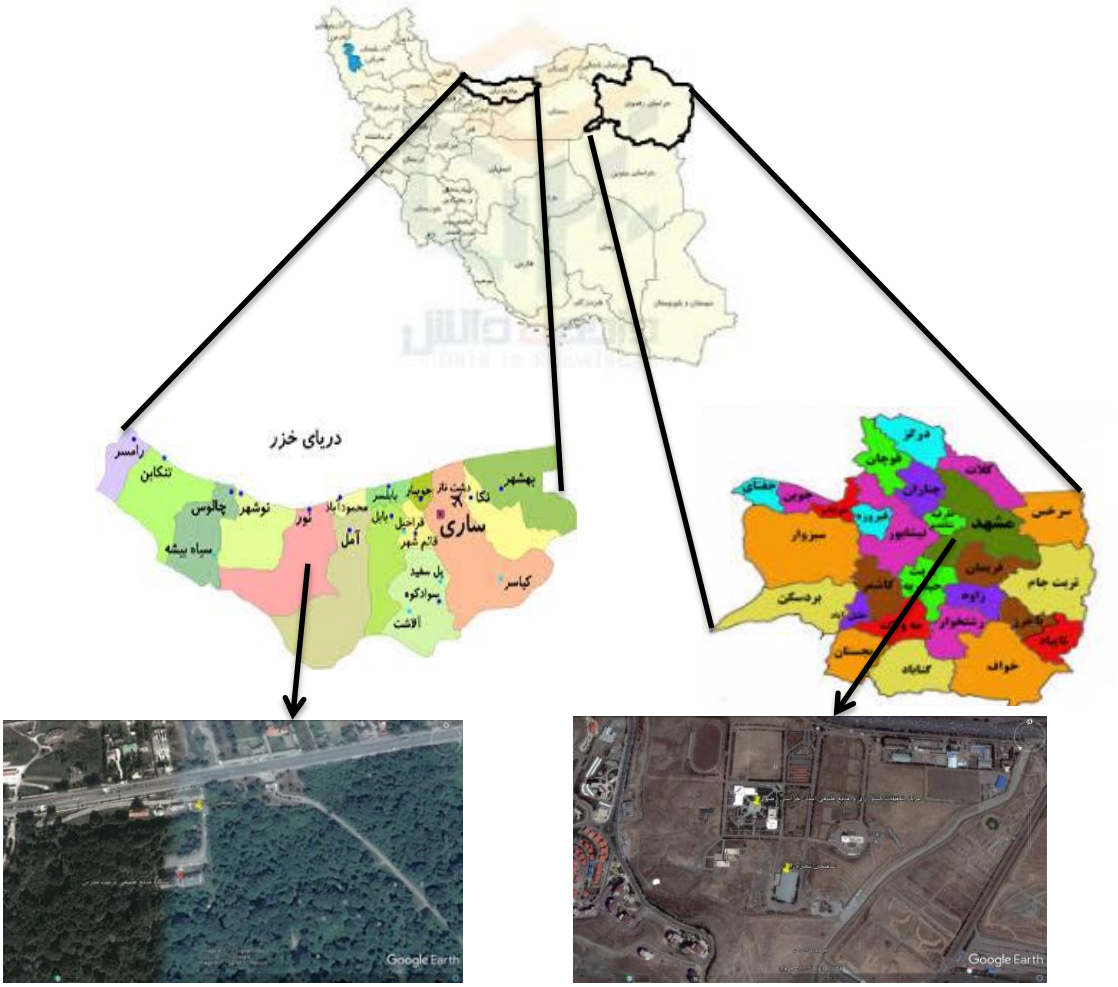
هدف از تحقیق حاضر بررسی بارش‌هایی است که از پاییز ۱۳۹۴ تا پایان بهار ۱۳۹۵ در دو شهر مشهد و نور منجر به ایجاد رواناب شده است. با بررسی ضریب رواناب و آستانه شروع جریان در شرایط اقلیمی مختلف می‌توانیم پتانسیل استحصال آب باران را در حوزه‌های آبخیز شهری بررسی و مقایسه کنیم. همچنین با بررسی این تحقیق می‌توانیم از پتانسیل توزیع رواناب فصلی جهت جمع‌آوری و ذخیره آب برای فصول کم‌آب استفاده کنیم.

مواد و روش‌ها

مناطق مورد مطالعه و تجهیزات

پروژه‌ی مورد نظر در دو اقلیم مختلف انجام شد. سایت اول در شهر مشهد که دارای اقلیم سرد و خشک است و در محل ساختمان شماره ۲ مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی خراسان رضوی اجرا گردید. سایت دوم در شهر نور استان مازندران که دارای اقلیم معتدل و مرطوب است و در محل سایت رایانه دانشکده منابع طبیعی و علوم دریایی دانشگاه تربیت مدرس در این شهر اجرا گردید. در هر دو سایت سطح مورد نظر برای جمع‌آوری آب باران، سطوح عایق پشت‌بام (از جنس ایزوگام) انتخاب شد. مساحت سطح پشت‌بام در شهر مشهد ۱۱۰ متر مربع و در شهر نور ۱۰۵ متر مربع است. رواناب حاصل از بارش به صورت ثقلی از طریق لوله آب پشت‌بام (ناودان‌ها) به مخزن ذخیره آب انتقال می-یابد. نمونه‌برداری از آبان ماه ۱۳۹۴ تا تیر ماه ۱۳۹۵ انجام شد. پس از بررسی وضعیت عرصه، محل احداث مخزن به نحوی انتخاب گردید که امکان انتقال آب جمع‌آوری شده به صورت ثقلی به مخزن وجود داشته باشد. مخازن استفاده شده از جنس پلاستیک (پلی پروپیلن) با ظرفیت ۵۰۰ لیتر بوده است.

اطلاعات مربوط به بارش از نزدیک‌ترین ایستگاه‌های سینوپتیک به محل اجرای پروژه دریافت شد. پس از هر بارش میزان آب جمع‌آوری شده در منبع اندازه‌گیری شد و منبع تخلیه گردید تا برای بارش بعدی آماده باشد. شکل (۱) موقعیت محل اجرای این طرح را نشان می‌دهد.

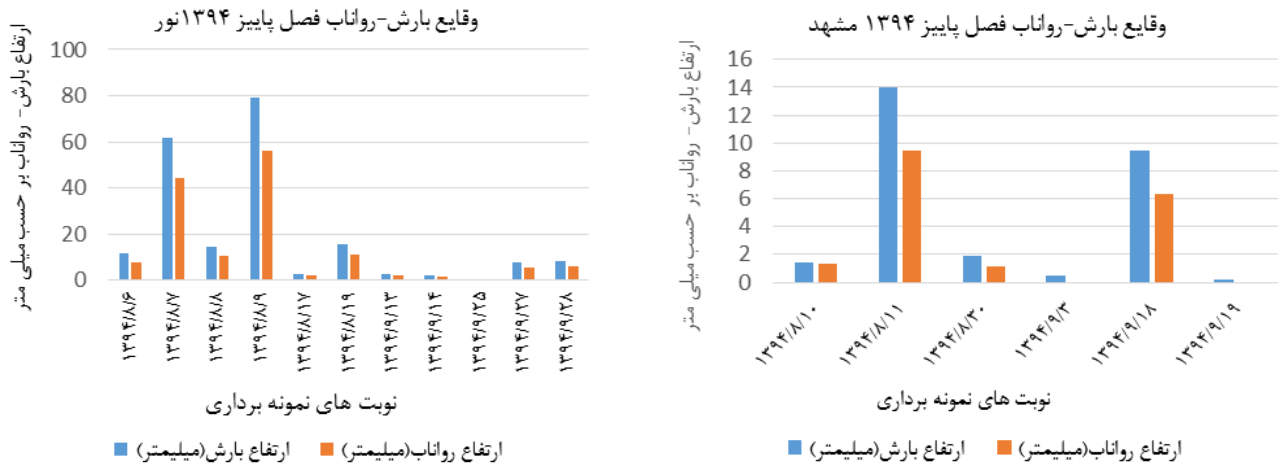


شکل (۱): موقعیت محل اجرای طرح

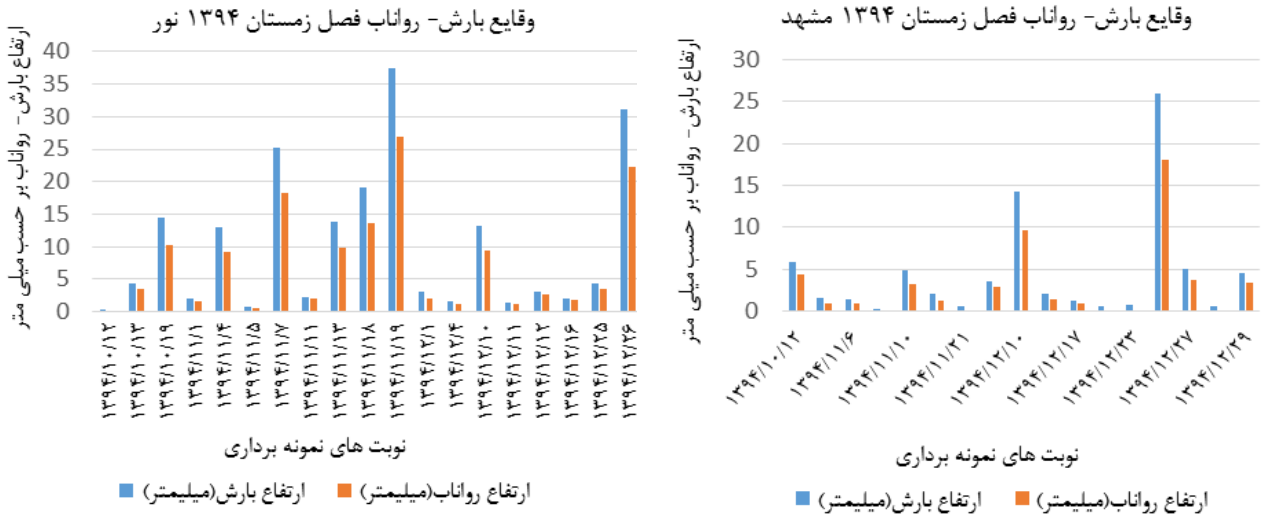
نتایج و بحث

بررسی وقایع بارش- رواناب در دوره مورد مطالعه

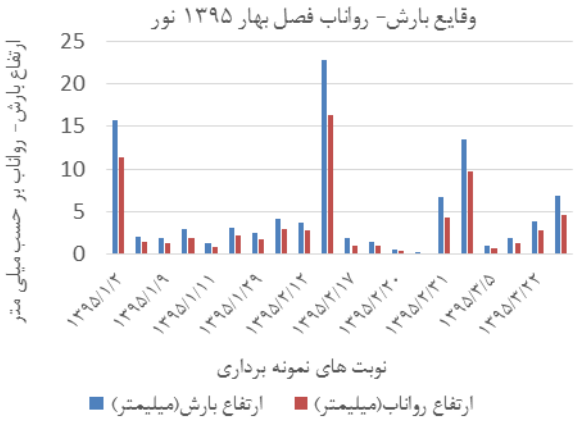
از مجموع ۵۰ رگبار ثبت شده در نور ۴۸ واقعه، و از مجموع ۴۷ رگبار ثبت شده در مشهد ۳۱ واقعه منجر به وقوع رواناب گردیده است. نمودار بارش-رواناب در وقایع مختلف در شکل‌های (۲) تا (۴) نشان داده شده است. بیشترین نسبت بارش‌های منجر به رواناب به کل بارش‌های اتفاق افتاده در شهر مشهد فصول زمستان و پاییز و در شهر نور فصول زمستان و بهار است. ارتفاع کل بارش و رواناب در مشهد به ترتیب ۲۱۷/۵ و ۱۳۹/۹ میلی‌متر و در نور ۴۹۶/۸ و ۳۵۶/۱ میلی‌متر است. در مشهد بالاترین ارتفاع بارش و رواناب مربوط به فصل بهار و در شهر نور مربوط به فصل پاییز است.



شکل (۲): نمودار بارش- رواناب وقایع بارش فصل پاییز ۱۳۹۴ شهرهای مشهد و نور



شکل (۳): نمودار بارش- رواناب وقایع بارش فصل زمستان ۱۳۹۴ شهرهای مشهد و نور



شکل(۴): نمودار بارش- رواناب وقایع بارش فصل بهار ۱۳۹۵ شهرهای مشهد و نور

تعیین مقدار ضریب رواناب فصلی

با توجه به اطلاعات حجم بارش و رواناب، ضریب رواناب در دوره‌های فصلی مورد بررسی قرار گرفت. جداول (۱) تا (۳) ویژگی‌های بارش و ضریب رواناب را برای هر واقعه بارش در فصل‌های پاییز، زمستان و بهار در دو شهر نور و مشهد نشان می‌دهد.

جدول (۱): ویژگی‌های بارش کل و ضریب رواناب مربوط به هر واقعه در فصل پاییز ۱۳۹۴ شهرهای مشهد و نور

فصل پاییز ۱۳۹۴ مشهد				فصل پاییز۱۳۹۴ نور			
تاریخ	مقدار بارندگی (mm)	شدت بارندگی (mm/l)	ضریب رواناب	تاریخ	مقدار بارندگی (mm)	شدت بارندگی (mm/l)	ضریب رواناب
۱۳۹۴/۸/۱۰	۱/۴	۵/۶	۰/۷۴	۱۳۹۴/۸/۶	۱۱/۶	۷/۷	۰/۷۲
۱۳۹۴/۸/۱۱	۱۴	۲/۲۷	۰/۶۸	۱۳۹۴/۸/۷	۶۱/۷	۵/۱	۰/۷۱
۱۳۹۴/۸/۳۰	۱/۹	۰/۸۴	۰/۵۸	۱۳۹۴/۸/۸	۱۴/۵	۴/۸	۰/۷۱
۱۳۹۴/۹/۳	۰/۵	۰/۰۶	۰	۱۳۹۴/۸/۹	۷۹	۶/۸	۰/۷۱
۱۳۹۴/۹/۱۸	۹/۵	۱/۰۲	۰/۶۶	۱۳۹۴/۸/۱۷	۲/۸	۳/۷	۰/۷۸
۱۳۹۴/۹/۱۹	۰/۲	۰/۲۶	۰	۱۳۹۴/۸/۱۹	۱۵/۵	۳/۱	۰/۷۱
				۱۳۹۴/۹/۱۳	۲/۷	۲/۷	۰/۸۹
				۱۳۹۴/۹/۱۴	۱/۹	۳/۸	۰/۸۷
				۱۳۹۴/۹/۲۵	۰/۳	۰/۱۲	۰
				۱۳۹۴/۹/۲۷	۷/۸	۶/۲۴	۰/۷۲
				۱۳۹۴/۹/۲۸	۸/۴	۴/۲	۰/۷۲

جدول (۲): ویژگی‌های بارش کل و ضریب رواناب مربوط به هر واقعه در فصل زمستان ۱۳۹۴ شهرهای مشهد و نور

فصل زمستان ۱۳۹۴ مشهد				فصل زمستان ۱۳۹۴ نور			
تاریخ	مقدار بارندگی (mm)	شدت بارندگی (mm/l)	ضریب رواناب	تاریخ	مقدار بارندگی (mm)	شدت بارندگی (mm/l)	ضریب رواناب
۱۳۹۴/۱۰/۱۲	۵/۹	۱/۵۷	۰/۷۵	۱۳۹۴/۱۰/۱۲	۰/۴	۰/۱۷	۰/۷۱
۱۳۹۴/۱۰/۲۰	۱/۶	۰/۶۲	۰/۶۰	۱۳۹۴/۱۰/۱۳	۴/۳	۴/۳	۰/۸۳
۱۳۹۴/۱۱/۶	۱/۴	۱/۴	۰/۶۹	۱۳۹۴/۱۰/۱۹	۱۴/۴	۲/۲	۰/۷۱
۱۳۹۴/۱۱/۸	۰/۱	۰/۲	۰	۱۳۹۴/۱۱/۱	۲	۰/۶	۰/۸۰
۱۳۹۴/۱۱/۱۰	۴/۹	۰/۳۲	۰/۶۵	۱۳۹۴/۱۱/۴	۱۲/۹	۲/۵	۰/۷۲
۱۳۹۴/۱۱/۲۰	۲	۰/۲۸	۰/۶۱	۱۳۹۴/۱۱/۵	۰/۸	۰/۸	۰/۷۷
۱۳۹۴/۱۱/۲۱	۰/۶	۰/۴	۰	۱۳۹۴/۱۱/۷	۲۵/۳	۴	۰/۷۱
۱۳۹۴/۱۲/۱۰	۳/۵	۲/۳۳	۰/۸۱	۱۳۹۴/۱۱/۱۱	۲/۲	۸/۸	۰/۹۳
۱۳۹۴/۱۲/۱۰	۱۴/۲	۱/۶۲	۰/۶۸	۱۳۹۴/۱۱/۱۳	۱۳/۸	۲/۷	۰/۷۱
۱۳۹۴/۱۲/۱۱	۲	۱	۰/۷۱	۱۳۹۴/۱۱/۱۸	۱۹/۲	۲	۰/۷۱
۱۳۹۴/۱۲/۱۷	۱/۲	۲/۴	۰/۷۰	۳۹۴/۱۱/۱۹	۳۷/۵	۳/۴	۰/۷۱
۱۳۹۴/۱۲/۱۸	۰/۵	۰/۱۶	۰	۱۳۹۴/۱۲/۱	۳	۲	۰/۷۳
۱۳۹۴/۱۲/۲۳	۰/۷	۰/۳۵	۰	۳۹۴/۱۲/۴	۱/۷	۵/۶	۰/۷۹
۱۳۹۴/۱۲/۲۳	۲۶	۳/۲۵	۰/۶۹	۱۳۹۴/۱۲/۱۰	۱۳/۲	۱/۸	۰/۷۱
۱۳۹۴/۱۲/۲۷	۵	۱/۲۵	۰/۷۵	۱۳۹۴/۱۲/۱۱	۱/۵	۲	۰/۸۲
۱۳۹۴/۱۲/۲۸	۰/۵	۰/۵	۰	۱۳۹۴/۱۲/۱۲	۳/۲	۲	۰/۸۳
۱۳۹۴/۱۲/۲۹	۴/۵	۱/۲۸	۰/۷۴	۱۳۹۴/۱۲/۱۶	۲/۱	۲/۴	۰/۸۶
				۱۳۹۴/۱۲/۲۵	۴/۴	۱/۳	۰/۸۱
				۱۳۹۴/۱۲/۲۶	۳۱/۱	۳/۸	۰/۷۱

جدول (۳): ویژگی‌های بارش کل و ضریب رواناب مربوط به هر واقعه در فصل بهار ۱۳۹۵ شهرهای مشهد و نور

فصل بهار ۱۳۹۵ مشهد				فصل بهار ۱۳۹۵ نور			
تاریخ	مقدار بارندگی (mm)	شدت بارندگی (mm/l)	ضریب رواناب	تاریخ	مقدار بارندگی (mm)	شدت بارندگی (mm/l)	ضریب رواناب
۱۳۹۵/۱/۱	۰/۶	۰/۳	۰	۱۳۹۵/۱/۲	۱۵/۸	۳/۷	۰/۷۱
۱۳۹۵/۱/۲	۰/۵	۰/۵	۰	۱۳۹۵/۱/۳	۲	۲/۶	۰/۷۰
۱۳۹۵/۱/۳	۲/۵	۰/۵	۰/۶۰	۱۳۹۵/۱/۹	۱/۹	۱/۹	۰/۷۰
۱۳۹۵/۱/۱۱	۳/۹	۰/۷۸	۰/۶۳	۱۳۹۵/۱/۱۰	۲/۹	۳/۶	۰/۶۷
۱۳۹۵/۱/۱۲	۲۸/۳	۱/۵۵	۰/۶۹	۱۳۹۵/۱/۱۱	۱/۲	۲/۴	۰/۶۹
۱۳۹۵/۱/۱۳	۶/۶	۰/۶۲	۰/۶۵	۱۳۹۵/۱/۱۲	۳/۱	۳/۱	۰/۷۲
۱۳۹۵/۱/۱۷	۰/۳	۰/۱۲	۰	۱۳۹۵/۱/۲۹	۲/۵	۲	۰/۷۱
۱۳۹۵/۱/۲۰	۶/۷	۳/۳۵	۰/۶۶	۱۳۹۵/۲/۴	۴/۱	۲/۳	۰/۷۲
۱۳۹۵/۱/۲۲	۳	۰/۵۷	۰/۵۷	۱۳۹۵/۲/۱۲	۳/۶	۴/۸	۰/۷
۱۳۹۵/۱/۲۶	۰/۷	۰/۲۱	۰	۱۳۹۵/۲/۱۴	۲۲/۹	۶/۵	۰/۷۱
۱۳۹۵/۱/۲۸	۸/۷	۳/۸۶	۰/۶۶	۱۳۹۵/۲/۱۷	۱/۸	۰/۹	۰/۶۰
۱۳۹۵/۱/۲۸	۴/۴	۳/۵۲	۰/۷۰	۱۳۹۵/۲/۱۸	۱/۴	۰/۹	۰/۶۹
۱۳۹۵/۱/۲۹	۶/۹	۲/۷۶	۰/۶۳	۱۳۹۵/۲/۲۰	۰/۵	۰/۵	۰/۶۶
۱۳۹۵/۱/۳۱	۱۲/۵	۱/۱۹	۰/۶۸	۱۳۹۵/۲/۲۲	۰/۲	۰/۱	۰
۱۳۹۵/۲/۱۳	۶/۵	۰/۵۶	۰/۵۴	۱۳۹۵/۲/۳۱	۶/۷	۲/۱۶	۰/۶۴
۱۳۹۵/۲/۱۳	۰/۶	۰/۳	۰	۱۳۹۵/۳/۱	۱۳/۵	۳/۸	۰/۷۱
۱۳۹۵/۲/۲۲	۶/۹	۱/۰۲	۰/۵۴	۱۳۹۵/۳/۵	۱	۰/۶	۰/۶
۱۳۹۵/۲/۲۳	۳/۴	۶/۸	۰/۶۲	۱۳۹۵/۳/۱۷	۱/۸	۲/۴	۰/۷۰
۱۳۹۵/۲/۲۹	۸/۵	۱۷	۰/۶۶	۱۳۹۵/۳/۲۲	۳/۸	۲	۰/۷۳
۱۳۹۵/۲/۳۱	۱/۹	۰/۹۵	۰/۴۷	۱۳۹۵/۳/۲۴	۶/۹	۲/۵	۰/۶۷
۱۳۹۵/۳/۲	۰/۵	۰/۵	۰				
۱۳۹۵/۳/۵	۰/۴	۰/۴	۰				
۱۳۹۵/۳/۱۲	۰/۶	۰/۴	۰				
۱۳۹۵/۳/۲۴	۰/۵	۰/۲۵	۰				

جدول (۴): متوسط ضریب رواناب فصلی در دوره طرح

	پاییز		زمستان		بهار	
	R_2*	R_1*	R_2	R_1	R_2	R_1
مشهد	۰/۶۶	۰/۴۴	۰/۷۰	۰/۴۹	۰/۶۲	۰/۳۸
نور	۰/۷۵	۰/۶۸	۰/۷۶	۰/۷۶	۰/۶۹	۰/۶۵

R_1^* متوسط ضریب رواناب مربوط به کل بارش‌ها و R_2^* متوسط ضریب رواناب مربوط به بارش‌هایی که رواناب ایجاد کرده‌اند.

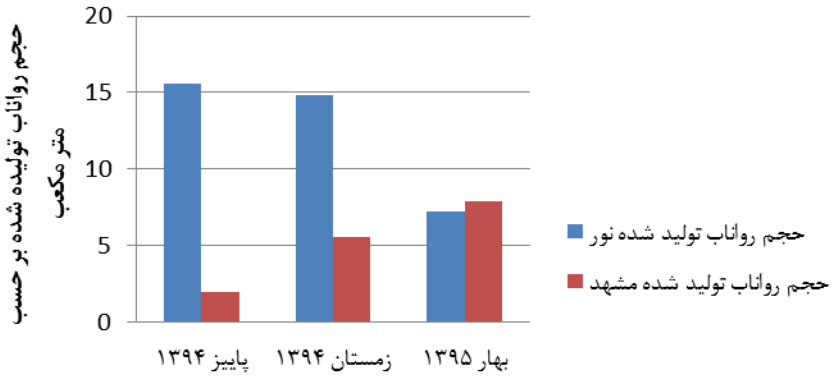
بیشترین مقدار ضریب رواناب در شهر مشهد ۰/۸۱ مربوط به فصل زمستان با مقدار بارش ۳/۵ میلی‌متر و در شهر نور ۰/۹۳ مربوط به فصل زمستان با مقدار بارش ۲/۲ میلی‌متر است. با توجه به جدول (۴) بیشترین مقدار متوسط ضریب رواناب فصول پاییز، زمستان و بهار مربوط به شهر نور است. همچنین بیشترین مقدار متوسط ضریب رواناب (مربوط به کل بارش‌ها و بارش‌هایی که منجر به رواناب شده‌اند) در شهر مشهد و نور به ترتیب فصول زمستان، پاییز و بهار می‌باشد.

تعیین آستانه شروع رواناب

با توجه به اشکال (۲) تا (۴) کمترین مقدار بارندگی در شهر مشهد و نور که منجر به وقوع رواناب نشده است به ترتیب ۰/۱ و ۰/۲ میلی‌متر است. به عبارتی بارندگی‌هایی که کمتر از این مقدار هستند منجر به وقوع رواناب نمی‌شود. همچنین بیشترین مقدار بارندگی در شهر مشهد و نور که منجر به وقوع رواناب نشده است به ترتیب ۰/۷ و ۰/۳ میلی-متر است. بنابراین احتمال آستانه ظهور رواناب در شهر نور ۰/۳ میلی‌متر و در شهر مشهد ۰/۷ میلی‌متر است. به عبارتی بارندگی‌هایی که بیشتر از این حد هستند منجر به تولید رواناب می‌شوند.

مقایسه حجم رواناب تولید شده

نتایج بررسی حجم رواناب تولید شده از سطوح عایق پشت‌بام‌های شهرهای مشهد و نور به تفکیک فصول سال آبی ۹۵-۱۳۹۴ در شکل (۵) نشان داده شده است. در دوره زمانی مورد مطالعه، بیشترین رواناب جاری شده در شهر مشهد مربوط به فصل بهار و در شهر نور مربوط به فصل پاییز است.



شکل (۵): حجم رواناب تولید شده از سطوح عایق پشت‌بام شهرهای مشهد و نور

امروزه تامین آب در کشورهای در حال توسعه از جمله ایران، یک مساله حیاتی به شمار می‌رود. افت سطح آب‌های زیر زمینی و آلودگی آن‌ها، افزایش میزان تقاضا برای منابع آب و بالا بودن هزینه‌های انتقال آب اهمیت جایگزینی منابع جدیدی مانند استحصال آب باران را به خوبی برای ما روشن می‌کند. در این تحقیق مقایسه و تحلیل نتایج وقایع بارش و رواناب در دوره زمانی مورد مطالعه یعنی فصول بارندگی مربوط به سال آبی ۹۵-۱۳۹۴ نشان داد که در شهر مشهد ۶۵ درصد و در شهر نور ۹۶ درصد از بارندگی‌ها منجر به تولید رواناب گردیده است. ارتفاع کل بارش و رواناب در مشهد به ترتیب ۲۱۷/۵ و ۱۳۹/۹ میلی‌متر و در نور ۴۹۶/۸ و ۳۵۶/۱ میلی‌متر است. ضریب رواناب در وقایع منجر به رواناب به طور متوسط برای فصل پاییز در شهر مشهد ۰/۶۶ و نور ۰/۷۵، برای فصل زمستان در شهر مشهد ۰/۶۹ و نور ۰/۷۶ و برای فصل بهار در شهر مشهد ۰/۶۲ و نور ۰/۶۹ می‌باشد. به عبارتی بیشترین مقدار متوسط ضریب رواناب برای هر سه فصل مربوط به شهر نور است. در حالی که Boers و Ben-Asher (1982) ضریب رواناب را برای آسفالت به طور میانگین ۸۵ تا ۹۵ درصد، Ramier و همکاران (2004) ضریب رواناب را برای سطوح عایق ۷۴ درصد، Imteaz و همکاران (2012) ضریب رواناب را برای سطوح عایق ایزوگام ۸۵ درصد و عطارزاده حسینی و همکاران (۱۳۹۳) ضریب رواناب را برای سطوح عایق ایزوگام ۰/۹۰ بیان کرده‌اند که بیش از مقادیری است که در تحقیق حاضر به دست آمده است. این تفاوت می‌تواند ناشی از تفاوت رژیم بارندگی و نوع عایق پشت بام و مسائلی از این قبیل باشد. نتایج نشان داد که احتمال آستانه ظهور رواناب در شهر نور ۰/۳ میلی‌متر و در شهر مشهد ۰/۷ میلی‌متر است. بیشترین مقدار متوسط رواناب تولید شده در شهر مشهد مربوط به فصل بهار و در شهر نور مربوط به فصل پاییز است.

نتیجه‌گیری

نتایج حاصل از این پژوهش نشان داد که حجم آب قابل استحصال از سطوح عایق پشت‌بام‌ها به خصوص در مناطق مرطوب و پر باران همانند شهر ساحلی نور قابل توجه است و چنانچه این نتایج به کل سطوح عایق پشت‌بام شهری تعمیم داده شود، راه حل عملی در کاهش بحران فزاینده‌ی تامین آب برای شهروندان می‌باشد. با توجه به کمبود آب شیرین و مشکلات ناشی از آن، جمع‌آوری آب باران از سطح بام ساختمان‌ها را می‌توان یکی از راه‌حل‌های کاهش این مشکل دانست به طوری که این سامانه را می‌توان سامانه سازگار در مناطق پر باران (به لحاظ جلوگیری از هدررفت) و نیز در مناطق نیمه خشک و خشک (به لحاظ ذخیره آب) تلقی نمود (دستورانی، ۱۳۸۹). با توجه به توزیع فصلی پتانسیل رواناب تولید شده و ذخیره آن در مخزن می‌توان از آن در کل طول سال یا در فصول کم‌آب برای آبیاری فضای سبز، سرویس‌های بهداشتی و مصارف مشابه استفاده کرد.

منابع

۱. دستورانی، م.ت. (۱۳۸۹). بررسی روش‌های جدید و پایدار برای تامین آب برای توسعه فضای سبز، سومین همایش ملی سبز و منظر شهری، جزیره کیش، اسفند ۱۳۸۹، صفحات ۲۷۱-۲۶۰.

۲. رشیدی مهرآبادی، م.ح. (۱۳۹۱). استحصال آب باران در مناطق مسکونی. انتشارات جهاد دانشگاهی. ۱۸۸صفحه.

۳. سعدالدین، ا.، م. بای، ا. نعیمی، ن. بیرودیان، د. کریمی و ن. جندقی (۱۳۸۷). ارزیابی کمیت و کیفیت آب باران قابل جمع‌آوری از سطوح بام ساختمان‌ها در پردیس‌های دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان. گزارش طرح پژوهشی انجام شده در دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان.

۴. طهماسبی، ر.، ف. شریفی، ف. کاوه و ا. توسلی (۱۳۸۵). ارزیابی کاربرد مدل AWBM در برآورد رواناب جهت طراحی سامانه‌های کوچک مقیاس سطوح آبگیر باران، پژوهش و سازندگی شماره ۱۹، صفحات۱۶۱-۱۷۰.

۵. عابدزاده، س.، ع. خاشعی سیوکی و ا. آب‌پرور (۱۳۹۳). مقایسه تامین آب مورد نیاز فضای سبز خانگی با آب استحصالی باران در اقلیم‌های مختلف، سومین همایش بین المللی سامانه‌های سطوح آبگیر باران. دانشگاه بیرجند. بهمن ماه ۹۳.

۶. عباسی، ع. ا.، ج. طباطبایی یزدی و ح. توکلی (۱۳۹۲). بررسی پتانسیل استحصال آب باران در حوزه‌های آبخیز شهری (مطالعه موردی: شهر مشهد)، فصلنامه علمی ترویجی سامانه‌های سطوح آبگیر باران، سال دوم، شماره ۲، صفحات ۲۴-۱۷

۷. عباسی، ع. ا.، ج. طباطبایی یزدی و ر. غفوریان (۱۳۹۰). بررسی رابطه بارش و آستانه ایجاد رواناب در سطوح آبگیر شهری، مجموعه مقالات هفتمین همایش ملی علوم و مهندسی آبخیزداری، دانشگاه صنعتی اصفهان، ۷ تا ۸ اردیبهشت، اصفهان.

۸. عطارزاده حسینی، و.، م. ر. خالقی و ج. طباطبایی یزدی (۱۳۹۳). بررسی تاثیر ضریب رواناب بر استحصال آب باران از سطوح پشت بام در حوزه مسکن مهر تربت جام، سومین همایش بین المللی سامانه‌های سطوح آبگیر باران. دانشگاه بیرجند. بهمن ماه ۹۳.

9. Boers Th.M. and Ben-Asher J. *(1982). "A Review of Rainwater Harvesting".* Agricultural Water Management, *No. 5, 145-158.*
10. Dreelin E. A., Fowler L., Carroll C. R. *(2006). "A test of porous pavement effectiveness on clay soils during natural storm events"*. Water Research, No. *40, 799_805*.
11. Imteaz M. A., Adeboy O.B., Rayburg S. and Shanableh A. *(2012). Rainwater harvesting potential for southwest Nigeria using daily water balance Model*. Resources Conservation and Recycling, *62, 51-55.*

12. Matinez M. *(1998). Factors Influencing Surface Runoff Generation in a Mediteranean Semi-arid Environment*. Chicamp Watershed Spain. *12(5): 741-745.*
13. Prinz D. *(2000). Global and European Water Challenges in the 21 st Century. Keynote Speech. Proceedings*. 3rd Inter-Regional Conference on Environment-Water "Water Resources Management in the 21 st Century", 1-3 June, Budapest/Hungary, *P.247-254.*
14. Ramier D., Berthier E. and Andrieu H. *(2004). An urban lysimeter to assess runoff. Losses on asphalt concrete plates*. Physics and Chemistry of the Earth, No. *29, 839-847.*
15. Rostad N. and Montalto F. *(2012). Rainwater harvesting: using urban roof runoff for residential toilet flushing*. Published by Woodhead Publishing Limited.
16. Schaad D. E., Farly J. and Haynes C. *(2009). Design and routing of storm flows in an urbanized watershed without surface streams.* Journal of Hydrology *375, 334-335.*

Evaluation and comparison of rainwater harvesting potential from roof catchments in different climatic conditions (Case Study: Mashhad and Noor in Iran)

P. Pahlevani[1], M.T. Dastorani[2]*, J. Tabatabaee_yazdi[3] and M. Vafakhah[4]
Email**:** dastorani@um.ac.ir

Received: 2016/10
Accepted: 2016/11

Abstract

Rainfall is a source of water with the best quality in the nature. Therefore, harvesting and using of the runoff resulted from rainfall, can help better management of water resources in our country. As a considerable part of urbanized areas are building roofs, quantity of water harvested from roof catchments will be considerable and can prepare a part of water required for the residents. In this study, rainfall and runoff events were measured in cities of Mashhad (with arid and semi-arid climatic condition) and Noor (with sub-humid and humid climatic condition). The surfaces selected to collect rainwater were two roof catchments (one in each city) with almost the same conditions. After preparing the rooftops, the required storages and the related equipments were established and the amount of runoff was measured after each rainfall event for whole the rainy seasons of the year. Information of precipitation events was received from the closest meteorological synoptic stations. Using appropriate statistical analysis, the volume of runoff as well as runoff coefficient for different levels of rainfall depth and intensity was determined after each event. The results of this research show that average runoff coefficient for the fall season in Mashhad is 0.66 and is 0.75 in Noor, for the winter it is 0.69 and 0.76 respectively in Mashhad and Noor, and for the spring season, the average runoff coefficient was measured 0.62 in Mashhad and 0.69 in Noor. The threshold values (minimum values) of rainfall for runoff generation 0.3 mm in Noor and 0.7 mm in Mashhad. The total depth of rainfall and runoff for the measured period in Mashhad were 217.5 and 139.9 mm, respectively, and in the Noor they were 496.8 and 356.1 mm. The highest amount of seasonal runoff generated in Mashhad belongs to the spring but in Noor it has been occurred in autumn season.

Keywords: Run off generation threshold, Precipitation, Rainwater harvesting, Intensity, Run off coefficient