**مطالعات جغرافیایی مناطق خشک**

**دوره هفتم، شماره‌ی بیستم و هفتم، بهار ۱۳۹۶**

**دریافت مقاله: ۹۵/۰۵/۳۰ تأیید نهایی: ۹۵/۱۱/۲۵**

**صص ۱۱۳-۱۰۴**

# بررسی رابطه‌ی خصوصیات بارش و کیفیت رواناب‌های شهری در مناطق خشک (مطالعه‌ی موردی: حوضه‌ی شهری مقصود بیگ تهران)

**رضا قضاوی***، دانشیار آبخیزداری - دانشگاه کاشان

## چکیده

با افزایش جمعیت و کاهش سرانه‌ی آب شیرین در دسترس، جمع‌آوری و استفاده از رواناب‌های به‌عنوان یک منبع تأمین آب مطمئن و مناسب خصوصاً جهت توسعه‌ی فضای سبز شهری و به‌عنوان منبع غیر آشامیدنی موردتوجه مدیران شهری قرار گرفته است. ولی وجود منابع آلاینده‌ی غیرنقطه‌ای در مناطق شهری به‌عنوان چالش اصلی در جمع‌آوری و استفاده‌ی مجدد از رواناب‌ها مطرح است. در این تحقیق، به بررسی رابطه‌ی کیفیت رواناب‌های شهری با خصوصیات بارش و دبی در یکی از زیرحوضه‌های شهری استان تهران پرداخته شده است. جهت انجام این مطالعه، بر اساس آمار بارش و پارامترهای کیفی رواناب اندازه‌گیری‌شده در خروجی حوضه‌ی شهری مقصود بیگ تهران و هم‌چنین نمونه‌گیری لحظه‌ای انجام شده از رواناب خروجی آن در تعداد ۲۵ رخداد بارندگی، به بررسی رابطه‌ی کیفیت رواناب با خصوصیات بارش در مقیاس‌های سالانه، فصلی و تک‌بارش پرداخته شد. سپس، رابطه‌ی بین خصوصیات بارش و دبی با فاکتورهای کیفی آب، با استفاده از روش‌های آماری پیرسون و آنالیز تجزیه واریانس یک‌طرفه موردبررسی قرار گرفت. نتایج نشان داد که به‌طورکلی میزان املاح محلول در رواناب‌ها با افزایش میزان بارش کاهش میابد، و بین بارش و میزان هدایت الکتریکی و میزان املاح محلول رابطه‌ی معکوس معنی‌داری وجود دارد ($P<0,05$). در میان خصوصیات بارش، شدت بارش بیش‌ترین تأثیر را در تغییر فاکتورهای کیفی رواناب داشته است (با میزان ضریب همبستگی ۰/۵۶، ۰/۶۸ بین میزان بارش با هدایت الکتریکی و میزان املاح محلول). از لحاظ زمانی، بیش‌ترین تغییرات در مقیاس فصلی، در فصول بهار و زمستان است و از لحاظ تک‌بارش‌ها بیش‌ترین املاح در بارش‌های زیر ۱۰ میلی‌متر مشاهده شده است.

**واژگان کلیدی:** رواناب شهری، بارش، کیفیت رواناب، ضریب همبستگی پیرسون.

نویسنده‌ی مسئول: * Email: ghazavi@kashanu.ac.ir

**۱- مقدمه**

به عقیده‌ی بسیاری از کارشناسان، بحران آب یکی از چالش‌های بسیار مهم سال‌های آینده در کره‌ی زمین خواهد بود. با عنایت به این‌که کشور ایران در منطقه‌ی خشک و نیمه‌خشک واقع شده و میزان بارندگی آن از متوسط جهانی کم‌تر می‌باشد؛ مشکل کمبود آب به‌طور یقین حادتر بوده و ضروری است تا تدابیر لازم جهت پیشگیری از مشکلات فراروی آینده اندیشیده شود. مهار و استفاده‌ی حداکثری از منابع آب شیرین از دیرباز به‌عنوان یکی از مظاهر تمدن بشری به حساب می‌آمده است و بر اساس شواهد تاریخی تمدن‌های بزرگی همچون ایران در مدیریت منابع آبی پیشتاز و دارای سبک بوده‌اند(بولتر و دیویس[1]، ۲۰۰۰: ۵). پتانسیل تولید رواناب در مناطق شهری به دلیل نوع کاربری و سطوح نفوذناپذیر بسیار بالاست و در اکثر موارد با یک بارش نه‌چندان شدید، حجم قابل‌توجهی از رواناب‌ها ایجاد می‌شود که معمولاً خسارات قابل‌توجه مالی و جانی را برای مناطق شهری به همراه دارد(کنچ[2] و همکاران، ۲۰۱۶: ۲؛ قهرودی، ۱۳۹۰: ۲). یکی از زیربنایی‌ترین راه‌های سرمایه‌گذاری‌های کلان دولت در زمینه‌ی منابع آب، کنترل رواناب‌های شهری و تأمین آب موردنیاز در جهت توسعه‌ی درازمدت، مستمر و پایدار اقتصادی از طریق استفاده از این رواناب‌هاست که هم باعث کاهش خسارات حاصل از سیلاب‌های شهری شده، هم هزینه‌های انتقال را کاهش می‌دهد و هم منبع تأمین آب مطمئنی برای توسعه‌ی شهری است(ابطحی، ۱۳۸۷: ۷؛ آرگو[3] و همکاران، ۱۹۹۹: ۱۷۸).

آبخیزهای شهری در وسعت‌های کوچک و بزرگ رفتار هیدرولوژیکی و هیدرولیکی کاملاً متفاوتی با حوضه‌های طبیعی از خود بروز می‌دهند(غفوری[4] و همکاران ۲۰۰۳: ۸؛ زائو[5] و همکاران، ۲۰۰۷: ۴۶۷). تا حدود دو دهه‌ی قبل مهندسان، رواناب‌های شهری را فقط از جنبه‌های کنترل سیلاب و انتقال هر چه سریع‌تر آن‌ها به خارج از شهر موردتوجه قرار می‌دادند. امروزه با توجه به کمبود منابع آب شیرین و تأثیر فعالیت‌های انسانی بر کیفیت آب و قوانین زیست‌محیطی و مسائلی که در ارتباط با آلودگی آب به وجود آمده است، لزوم توجه به کیفیت منابع آب اهمیت زیادی پیدا کرده است(آدام[6]، ۲۰۰۰: ۱۲؛ آلی[7]، ۱۹۸۱: ۱۶۵۸). درواقع، توجه به کیفیت رواناب‌های شهری از زمانی آغاز شد که اثرات منفی آن‌ها بر رودخانه‌ها، دریاچه‌ها و دیگر آب‌های پذیرنده مشخص شدند(کول[8] و همکاران، ۱۹۴۸: ۸۹۹؛ رویت[9] و همکاران، ۲۰۱۴: ۵۵۴). در ایران نیز در دو دهه‌ی اخیر به امر کنترل آلودگی فاضلاب‌های شهری و صنعتی از طریق ایجاد شبکه‌های جمع‌آوری و تصفیه‌خانه‌های فاضلاب توجه وافر شده است، لیکن در زمینه‌ی کنترل آلودگی رواناب‌های شهری هیچ‌گونه اقدام اساسی تاکنون به عمل نیامده است. با مطالعه‌ی کیفیت رواناب شهری می‌توان به اهداف مختلفی همچون پیش‌بینی غلظت و بار آلودگی رواناب‌ها و ارزیابی اثرات گزینه‌های پیشنهادی کنترل آلودگی و اعمال بهترین شیوه‌های مدیریتی نائل آمد(یونگوی[10] و همکاران، ۲۰۱۶: ۲).

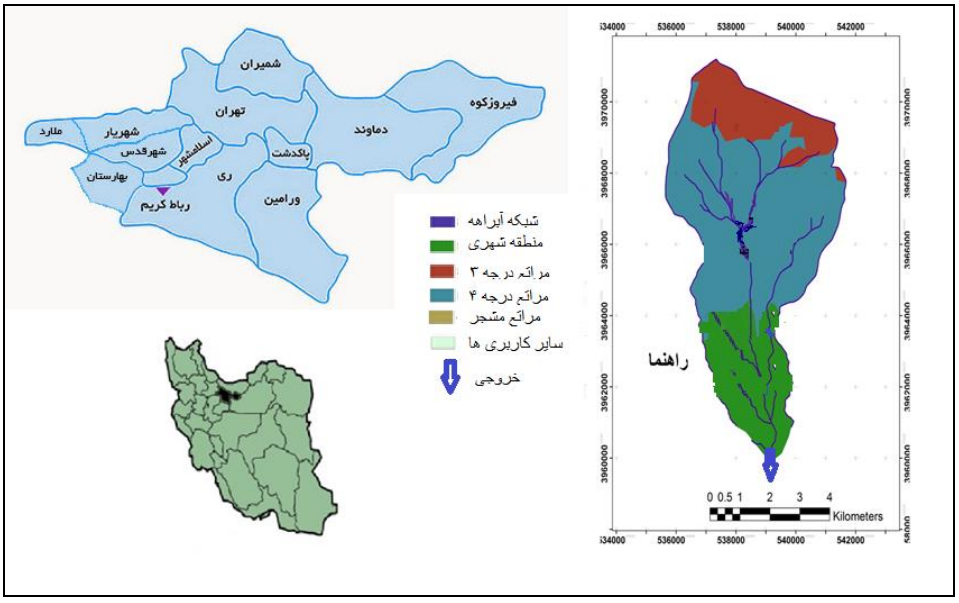
اولین رواناب‌های ناشی از بارندگی به‌عنوان منابع مهم آلودگی که اثرات زیادی در بدتر کردن کیفیت آب در حوضه‌های شهری دارد، شناخته شده است(برودی[11]، ۲۰۱۱: ۲۴۰؛ ژنکو[12] و همکاران، ۲۰۰۵: ۶۱). در طول روزهای خشک بین دو بارندگی، آلودگی‌ها روی سطوح حوضه‌های شهری به طرق مختلفی تجمع پیدا می‌کنند و هنگامی‌که

1- Bulter
2- Kenneth
3- Argue
4- Ghafouri
5- Zhao
6- Adams
7- Alley
8- Cole
9- Revitt
10- Yongwei
11- Brodie
12- Gencco

بارندگی می‌شود، شسته شده، به‌سرعت وارد سیستم زهکشی شهری می‌شوند و از آنجا به منابع آب‌های سطحی می‌پیوندند(هوبر[13] و همکاران، ۲۰۱۶: ۸۹۶). پس از بارندگی، شدت تجمع آلودگی در ساعات اولیه ایجاد رواناب‌ها سریع و سپس این میزان آلودگی کاهش می‌یابد(اگوداواتا[14]، ۲۰۰۷). ازنظر فصلی نیز در مناطقی که بارندگی‌ها دارای پراکنش نامناسبی است، حداکثر آلودگی‌ها در پایان فصل خشک وجود دارد(تیافنهالر[15] و همکاران، ۲۰۰۲: ۱۵۶۳). آدامز و پایا[16] (۲۰۰۰) با نمونه‌گیری از رواناب خروجی یک حوضه‌ی شهری طی ۵۲ رخداد بارندگی و رسم منحنی‌های آبنگار و آلودگی نگار نشان دادند که همواره منحنی آلودگی نگار سیر نزولی و منحنی آبنگار ابتدا سیر صعودی و سپس سیر نزولی داشته و منحنی آلودگی نگار زودتر از آبنگار به مقدار اوج خود رسیده است؛ به‌عبارت‌دیگر، بار آلودگی بخش ابتدایی رواناب بیش‌ترین می‌باشد و به‌تدریج کاهش می‌یابد. اگرچه تاکنون مسئله‌ی استفاده از رواناب شهری در طراحی فضاهای شهری موردنظر قرار نمی‌گرفت، ولی در دهه‌ی اخیر مسئله‌ی طراحی‌های خاص با مسئله‌ی کمبود منابع آب در سطوح تحقیقاتی مدنظر قرار گرفته و در این طراحی‌ها به مسئله‌ی استفاده از آب باران و رواناب در مناطق شهری توجه شده است. هدف از انجام این مطالعه، بررسی رابطه‌ی کیفیت رواناب شهری با خصوصیات بارش و دبی در بخشی از یک حوضه‌ی آبخیز شهری است.

## ۲- منطقه‌ی موردمطالعه

برای انجام این تحقیق، از داده‌های ثبت‌شده بارش، دبی و کیفیت آب اندازه‌گیری شده در ایستگاه هیدرومتری مقصود بیک (بین عرض‌های ″۴۹ ′۴۵ °۳۵ تا ″۱۱ ′۵۷ °۳۵ و طول‌های ″۵۳ ′۰۹ °۵۱ تا ″۲۹ ′۲۲ °۵۱) واقع در خروجی آبخیز شهری دربند استفاده شده است (شکل ۱). رژیم بارندگی منطقه‌ی مدیترانه‌ای (با یک بیشینه‌ی اصلی در اواخر زمستان و اوایل بهار و یک بیشینه‌ی فرعی در فصل پاییز و دارای یک فصل نسبتاً طولانی و خشک در تابستان) بوده و فصل مرطوب بر دوره‌ی سرد سال و فصل خشک بر دوره‌ی گرم سال متمرکز است. میزان و تغییرات دبی حوضه در فصول مختلف سال بسیار متغیر بوده و حداکثر دبی در فصل بهار و حداقل آن در فصل تابستان اتفاق می‌افتد.




شکل ۱: موقعیت حوضه‌ی شهری موردمطالعه

13- Hubber
14- Egodawatta
15- Tiefenthaler
16- Adams & Paya

## ۳- مواد و روش‌ها

برای استخراج آمار بارش، آمار مربوط به میانگین ماهانه، میانگین فصلی و میانگین سالانه بارش و هم‌چنین شدت، مدت و میزان بارش مربوط به ۲۵ رخداد بارش در پایه‌های زمانی ۱۵ دقیقه‌ای استخراج شد. سپس اطلاعات فاکتورهای کیفیت آب در زمان‌های قبل و بعد از هر بارش برای ۲۵ رخداد موردمطالعه‌ی استخراج و پارامترهای کیفیت آب و تغییرات آن در بازه‌های زمانی قبل و بعد از بارش مورد تجزیه‌وتحلیل قرار گرفت. برای هر بارش، کیفیت رواناب درزمانی برابر با زمان تمرکز حوضه‌ی قبل و بعد از بارش موردبررسی قرار گرفت مگر این‌که فاصله‌ی ۲ بارش کم‌تر از زمان تمرکز حوضه بوده باشد که در این صورت نیز کیفیت رواناب بر اساس آخرین بارش حادث شده و از لحاظ زمان تمرکز حوضه محاسبه گردید. در ضمن میانگین ماهانه، فصلی و سالانه پارامترهای کیفیت آب و دبی برای دوره‌ی موردمطالعه استخراج گردید و روابط بین خصوصیات بارش، دبی و پارامترهای کیفیت آب مورد تجزیه‌وتحلیل آماری قرار گرفت. قبل از مقایسه آماری پارامترهای موردمطالعه‌ی، کلیه آمار ازلحاظ کیفی مورد ارزیابی و اصلاح قرار گرفت و نسبت به حذف و یا اصلاح آمار مشکوک بر اساس روش‌های آماری مرسوم در هیدرولوژی اقدام گردید.

## ۴- بحث و نتایج

در این مطالعه، تغییرات کیفیت رواناب در مقیاس زمانی سالانه، ماهانه، فصلی و هم‌چنین در مقیاس یک واقعه‌ی بارش موردبررسی قرار گرفت.

### ۴-۱- رابطه‌ی بین متوسط بارش و دبی سالانه و کیفیت رواناب

جهت بررسی رابطه‌ی بین بارش و دبی متوسط سالانه با کیفیت رواناب در مقیاس سالانه ابتدا با توجه به آمار وزارت نیرو و سازمان هواشناسی مقادیر متوسط دبی و بارش در ایستگاه مقصود بیک دربند در یک دوره‌ی آماری ۳۵ ساله محاسبه شد. هم‌چنین مقادیر فاکتورهای کلسیم، منیزیم، سدیم، کلر، بیکربنات، سولفات، هدایت الکتریکی، اسیدیته و مجموع املاح محلول اندازه‌گیری شده در ایستگاه هیدرومتری استخراج و میانگین سالانه آن محاسبه شد. نتایج آنالیز آماری (جدول ۱) نشان داد که بین میزان بارش و دبی متوسط سالانه رابطه‌ی معنی‌داری وجود دارد ($P<0.01$). از بین آنیون‌ها و کاتیون‌های اندازه‌گیری شده، بین میزان سدیم، هدایت الکتریکی و مجموع املاح محلول با دبی متوسط سالانه و بارش رابطه‌ی معنی‌دار آماری معکوس وجود دارد ($P<0.05$) ولی بین سایر عناصر با دبی متوسط و بارش رابطه‌ی معنی‌داری مشاهده نشد ($P<0.05$). هم‌چنین بین میزان املاح محلول و هدایت الکتریکی تفاوت معنی‌داری مشاهده گردید. بین هدایت الکتریکی و همه‌ی کاتیون‌ها و آنیون‌ها به‌جز بی‌کربنات رابطه‌ی معنی‌داری مشاهده گردید ($P<0.01$).

جدول ۱: نتایج آنالیز آماری همبستگی دبی متوسط سالانه، متوسط بارش سالانه و پارامترهای کیفی رواناب

| | | Debi | Precipitation | TDS | Na | Ca | So4 | Hco3 | pH | EC | Mg | Cl |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Debi | Pearson Correlation | 1 | | | | | | | | | | |
| | Sig. (2-tailed) | 0 | | | | | | | | | | |
| Precipitation | Pearson Correlation | .766** | 1 | | | | | | | | | |
| | Sig. (2-tailed) | 0 | | | | | | | | | | |
| TDS | Pearson Correlation | -0.695* | -0. 66* | 1 | | | | | | | | |
| | Sig. (2-tailed) | 0.034 | 0.042 | | | | | | | | | |
| Na | Pearson Correlation | .445* | -0.261 | .512* | 1 | | | | | | | |
| | Sig. (2-tailed) | 0.038 | 0.241 | 0.015 | | | | | | | | |
| Ca | Pearson Correlation | -0.148 | -0.055 | .880** | .551** | 1 | | | | | | |
| | Sig. (2-tailed) | 0.511 | 0.809 | 0 | 0.008 | | | | | | | |
| So4 | Pearson Correlation | -0.282 | -0.126 | .513* | .484* | .576** | 1 | | | | | |
| | Sig. (2-tailed) | 0.204 | 0.575 | 0.015 | 0.022 | 0.005 | | | | | | |
| Hco3 | Pearson Correlation | -0.183 | -0.014 | .894** | .520* | .829** | .733** | 1 | | | | |
| | Sig. (2-tailed) | 0.414 | 0.95 | 0 | 0.013 | 0 | 0 | | | | | |
| pH | Pearson Correlation | 0.071 | 0.143 | 0.047 | -0.029 | 0.029 | 0.014 | 0.007 | 1 | | | |
| | Sig. (2-tailed) | 0.753 | 0.526 | 0.834 | 0.898 | 0.898 | 0.949 | 0.975 | | | | |
| EC | Pearson Correlation | -0.567* | -0. 64* | .913** | .542** | .865** | .614** | .875** | 0.042 | 1 | | |
| | Sig. (2-tailed) | 0.046 | 0.047 | 0 | 0.009 | 0 | 0.002 | 0 | 0.854 | | | |
| Mg | Pearson Correlation | -0.417 | -0.379 | 0.383 | 0.375 | 0.408 | .646** | .609** | -0.308 | .487* | 1 | |
| | Sig. (2-tailed) | 0.053 | 0.082 | 0.078 | 0.086 | 0.059 | 0.001 | 0.003 | 0.163 | 0.021 | | |
| Cl | Pearson Correlation | -0.162 | -0.024 | .856** | .582** | .804** | .700** | .934** | -0.046 | .918** | .607** | 1 |
| | Sig. (2-tailed) | 0.472 | 0.917 | 0 | 0.004 | 0 | 0 | 0 | 0.839 | 0 | 0.003 | |

* Correlation is significant at the 0.05 level ** Correlation is significant at the 0.01 level

## ۴-۲- رابطه‌ی بین دبی لحظه‌ای و فاکتورهای کیفیت آب

جهت بررسی رابطه‌ی بین دبی حداکثر لحظه‌ای و کیفت رواناب ابتدا با توجه به آمار وزارت نیرو مقادیر دبی حداکثر لحظه‌ای سالانه در طول دوره‌ی آماری در یک دوره‌ی آماری ۳۵ ساله محاسبه شد. هم‌چنین مقادیر فاکتورهای تعیین‌کننده کیفیت آب در همین بازه زمانی استخراج گردید. نتایج آنالیز آماری (جدول ۲) نشان داد که بین میزان

هدایت الکتریکی، میزان فسفات و کلر با دبی حداکثر لحظه‌ای رابطه‌ی معنی‌دار آماری وجود دارد ولی بین سایر عناصر و دبی حداکثر لحظه‌ای رابطه‌ی معنی‌داری مشاهده نشد ($P<0.05$).

جدول ۲: رابطه‌ی بین دبی حداکثر لحظه‌ای سالانه و پارامترهای کیفی رواناب

| پارامترهای کیفی | pH | EC | Na | Ca | So4 | Hco3 | Mg | Cl | TDS |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| دبی حداکثر لحظه‌ای | ns<br>۰/۱۵۴<br>- | **<br>/۵۲۲<br>-۰ | ns<br>-۰/۴۲ | ns<br>-۰/۱۷۸ | *<br>-۰/۵۴۷ | ns<br>-۰/۲۴۱ | ns<br>-۰/۳۲۶ | *<br>-۰/۵۸۴ | *<br>-۰/۴۹۷ |

## ۴-۳- رابطه‌ی بین دبی و کیفیت رواناب در مقیاس فصلی

جدول ۳ تغییرات نسبی دبی و پارامترهای کیفی آب را به‌طور میانگین در طول دوره‌ی آماری موردمطالعه نشان می‌دهد. نتایج حاصل از آنالیز آماری نشان می‌دهد که به‌غیراز pH بین دبی فصلی و همه‌ی پارامترها کیفی رواناب در فصول مختلف اختلاف معنی‌داری وجود دارد. حداکثر دبی متوسط فصلی در بهار و حداقل آن در تابستان حادث شده است. حداکثر و حداقل میزان متوسط املاح محلول و هدایت الکتریکی به ترتیب در فصول زمستان و تابستان مشاهده شده است. میزان سایر آنیون‌ها و کاتیون‌ها نیز در فصل بهار حداقل بوده است ولی در میزان حداکثر املاح نظم خاصی مشاهده نشده است، ولی به‌طور میانگین میزان املاح در تابستان بیش‌تر از سایر فصول بوده است.

جدول ۳: تغییرات فصلی دبی و پارامترهای کیفی آب به‌طور میانگین در طول دوره‌ی آماری

| فصل | TDS | Na | Ca | $So_4$ | $Hco_3$ | pH | Ec | Mg | Cl | دبی متوسط فصلی |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| بهار | $274.71^a$ | $15.63^a$ | $2.95^a$ | $1.02^a$ | $2.54^a$ | $7.71^a$ | $418.8^a$ | $0.75^a$ | $0.73^a$ | 1.24 |
| تابستان | $416.2^b$ | $21.38^b$ | $4.27^b$ | $1.73^b$ | $3.54^b$ | $7.86^a$ | $687.9^b$ | $1.21^b$ | $1.4^b$ | 0.17 |
| پاییز | $427.6^b$ | $18.12b^c$ | $4.56^b$ | $1.92^b$ | $3.65^b$ | $7.73^a$ | $686^b$ | $1.3^c$ | $1.43^b$ | 0.27 |
| زمستان | $350.9^c$ | $19.07^c$ | $3.6^a$ | $1.6^b$ | $2.96^a$ | $7.75^a$ | $780.3^c$ | $0.92^b$ | $1.21^b$ | 0.68 |

در هر ستون حروف متفاوت نشان‌دهنده‌ی تفاوت معنی‌دار در سطح پنج درصد

## ۴-۴- بررسی روابط دبی و کیفیت رواناب در مقیاس هر بارندگی

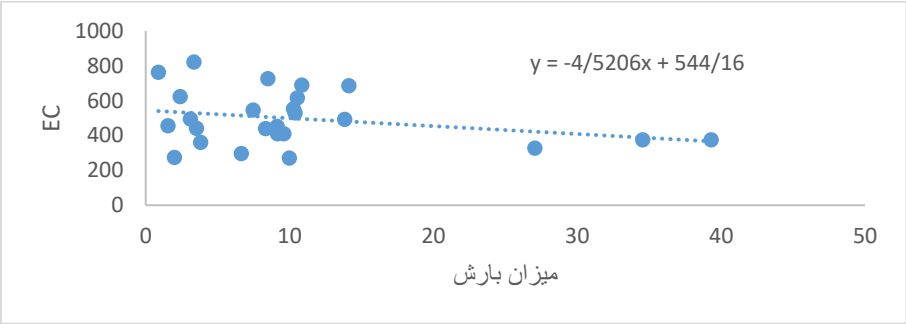
جهت بررسی روابط دبی و کیفیت آب در مقیاس هر بارندگی، ابتدا ۲۵ بارش شاخص انتخاب شد و هم‌زمان با آن میزان میانگین دبی در یک بازه‌ی زمانی معادل زمان تمرکز حوضه‌ی موردمطالعه‌ی و هم‌چنین میانگین مقادیر فاکتورهای موردنظر کیفیت آب متناظر با همان بارش استخراج گردید (جدول ۴). بر اساس نتایج حاصل بین پارامترهای هدایت الکتریکی، مجموع املاح محلول و سدیم با میزان بارش رابطه‌ی معنی‌داری وجود دارد، ولی برای سایر پارامترهای موردمطالعه تأثیر معنی‌داری مشاهده نشد ($P<0.05$).

جدول ۴: نتایج آنالیز آماری همبستگی ۲۵ واقعه بارش و پارامترهای کیفی رواناب

| | | CL | Mg | EC | PH | HCO3 | SO4 | CA | NA | TDS | Precipitation |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| CL | Pearson Correlation | 1 | | | | | | | | | |
| MG | Pearson Correlation | .375 | 1 | | | | | | | | |
| | Sig. (2-tailed) | .065 | | | | | | | | | |
| EC | Pearson Correlation | **.518**$^{**}$ | .339 | 1 | | | | | | | |
| | Sig. (2-tailed) | .008 | .097 | | | | | | | | |
| PH | Pearson Correlation | .101 | -.071 | .204 | 1 | | | | | | |
| | Sig. (2-tailed) | .630 | .737 | .328 | | | | | | | |
| HCO3 | Pearson Correlation | **.756**$^{**}$ | **.485**$^{*}$ | **.580**$^{**}$ | .005 | 1 | | | | | |
| | Sig. (2-tailed) | .000 | .014 | .002 | .981 | | | | | | |
| SO4 | Pearson Correlation | **.654**$^{**}$ | .102 | .364 | .044 | **.542**$^{**}$ | 1 | | | | |
| | Sig. (2-tailed) | .000 | .629 | .074 | .833 | .005 | | | | | |
| CA | Pearson Correlation | **.779**$^{**}$ | .224 | .490$^{*}$ | -.008 | **.867**$^{**}$ | **.775**$^{**}$ | 1 | | | |
| | Sig. (2-tailed) | .000 | .281 | .013 | .969 | .000 | .000 | | | | |
| NA | Pearson Correlation | **.704**$^{**}$ | .329 | .155 | .058 | .344 | **.452**$^{*}$ | **.423**$^{*}$ | 1 | | |
| | Sig. (2-tailed) | .000 | .109 | .460 | .781 | .093 | .023 | .035 | | | |
| TDS | Pearson Correlation | .253 | .272 | **.912**$^{**}$ | .254 | .335 | .199 | .224 | .013 | 1 | |
| | Sig. (2-tailed) | .222 | .188 | .000 | .220 | .102 | .341 | .283 | .949 | | |
| Precipitation | Pearson Correlation | -**.601*** | -.315 | -**.655*** | -.349 | -.071 | -.184 | -.084 | -**.553*** | -**.694*** | 1 |
| | Sig. (2-tailed) | .042 | .125 | .042 | .087 | .736 | .380 | .690 | .041 | .035 | |

* Correlation is significant at the 0.05 level ** Correlation is significant at the 0.01 level

شکل (۱) تغییرات هدایت الکتریکی در بارش‌های مختلف را نشان می‌دهد. بر اساس نتایج، با افزایش میزان بارش در هر بارندگی، میزان هدایت الکتریکی کاهش یافته است؛ به‌طوری‌که حداکثر میزان هدایت الکتریکی در بارش‌های زیر ۱۰ میلی‌متر مشاهده شده است و با افزایش میزان بارش میزان هدایت الکتریکی نیز به‌طور محسوسی کاهش یافته است.




شکل ۱: تغییرات هدایت الکتریکی رواناب در مقابل تغییرات میزان بارش

### ۴-۵- بررسی رابطه‌ی بین شدت بارش و پارامترهای کیفی رواناب

به‌منظور بررسی تغییرات پارامترهای کیفی رواناب در شدت‌های مختلف بارش، آمار مربوط به ۲۲ واقعه‌ی بارش موردمطالعه قرار گرفت و پارامترهای کیفی اندازه‌گیری شده پس از هر واقعه در زمانی برابر با زمان تمرکز حوضه پس از وقوع بارش مورد تجزیه‌وتحلیل آماری قرار گرفت (جدول ۵).

جدول ۵: آنالیز آماری تغییرات پارامترهای کیفی رواناب در شدت‌های مختلف بارش

| | CL | Mg | EC | pH | HCO3 | SO4 | Ca | Na | TDS |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Pearson Correlation | 0,11 | 0 | 0,56 | 0,02 | 0,18 | -.090 | -0,07 | 0,010 | 0,68 |
| Sig. (2-tailed) | ۰0,29 | 0,006** | 0,002** | 0,452 | 0,182 | 0,332 | 0,332 | 0,492 | .000** |

بر اساس نتایج حاصل، اگرچه همبستگی معنی‌داری بین هم پارامتر شدت بارش و همه پارامترهای کیفی مشاهده نشد، ولی همبستگی معنی‌داری بین شدت بارش و پارامترهای هدایت الکتریکی ($P<0.05$)، مجموع املاح محلول ($P<0.01$) و منیزیم ($P<0.05$) مشاهده شد (جدول ۵).

### ۵- نتیجه‌گیری

به‌طورمعمول در گذشته بازیافت رواناب به مناطق مرطوب و به جمع‌آوری رواناب پشت‌بام‌ها محدود می‌شده است و حدود اعتماد به سیستم جمع‌آوری رواناب در مناطق خشک و نیمه‌خشک پایین بوده است. در حال حاضر با کمبود آب، رواناب شهری هرچند به میزان کم و غیرمکرر، به‌عنوان یکی از منابع در دسترس است که می‌تواند در مقیاس‌های متفاوتی از خانه تا زیرحوضه و یا کل حوضه‌ی آبخیز شهری مورداستفاده قرار گیرد، ولی دراین‌بین، موضوع کیفیت رواناب‌های شهری حائز اهمیت بسیار است. تخریب حوضه‌ی آبخیز بالادست نواحی شهری به‌صورت‌های مختلف ازجمله تخریب پوشش گیاهی و جاده‌سازی، هم‌چنین گسترش بی‌رویه‌ی اراضی شهری و صنعتی، سبب کاهش نفوذ و تبخیر و افزایش روان آب می‌شود (چس من[17] و همکاران، ۲۰۰۹). از سوی دیگر رژیم بارش غالب در کشور به‌صورت رگبارهای شدید و کوتاه‌مدت بهاره و بعضاً تابستانه است که فرصت نفوذ باران به داخل خاک را کاهش می‌دهد و درنتیجه، بخش قابل‌توجهی از بارش به رواناب‌های سطحی تبدیل می‌شود. ازاین‌رو، رودخانه‌ها و مسیل‌های حوضه‌های آبخیز شهری از درجه‌ی ریسک زیادی برای سیل‌خیزی و خسارات ناشی از آن برخوردارند و دست‌یابی به توسعه‌ی پایدار شهری نیازمند طراحی مدل‌های مناسب مدیریت و حفاظت رودخانه‌ها و مسیل‌ها در حوضه‌های آبخیز شهری است (شولر[18] و همکاران، ۱۹۸۷). در این تحقیق، اثرات تغییرات دبی و بارش بر کیفیت رواناب در حوضه‌ی آبخیز شهری موردمطالعه قرار گرفت.

به دلیل کمبود بارش در مناطق خشک و نیمه‌خشک، اصولاً بارش‌های با شدت و مقدار کم حادث می‌شود و حاوی میزان زیادی از آلودگی‌ها است؛ بنابراین استفاده مجدد از این بارش‌ها و یا حتی تغذیه‌ی مستقیم سفره‌های آب زیرزمینی به‌وسیله‌ی این بارش‌ها می‌تواند اثرات نامطلوب زیست‌محیطی را به همراه داشته باشد. از طرفی، اندازه‌گیری لحظه‌ای میزان آلاینده‌ها در زمان وقوع بارش و در سطح وسیع امکان‌پذیر نیست؛ لذا شناخت روابط بین میزان و شدت بارش‌ها با میزان آلودگی رواناب‌های سطحی عاملی است که می‌تواند در تعیین آستانه‌ی میزان رواناب‌های دارای کیفیت مناسب مؤثر باشد. همان‌طور که در قسمت نتایج نشان داده شد، روند تغییرات میزان همه عناصر کیفی از روند

17- Chessman
18- Schueler

تغییرات میزان بارش پیروی می‌کند و با افزایش میزان بارش میانگین همه عناصر در رواناب‌ها کاهش یافته است. این کاهش می‌تواند نتیجه‌ی تخلیه‌ی آلودگی‌ها در ابتدای بارش و کاهش آن در بارش‌های طولانی‌مدت باشد. یانگوی[۱۹] و همکاران (۲۰۱۶) نیز همبستگی معنی‌داری بین مجموع املاح محلول و عمق بارش در دوره‌ی بازگشت‌های مختلف برای منطقه‌ی نیمه‌مرطوب بیجینگ[۲۰] در کشور چین گزارش کرده است. گزوبین[۲۱] (۲۰۱۲) نیز در مطالعه‌ای تحت عنوان دینامیک رفتار پارامترهای کیفی رواناب‌های شهری در جنوب تگزاس که یک منطقه‌ی نیمه‌خشک است، نشان داد که رابطه‌ی معنی‌داری بین خصوصیات بارش و میزان املاح محلول وجود دارد و حداکثر بار محلول در لحظات اولیه‌ی بارش حادث می‌شود و با گذشت زمان از میزان بار آلودگی‌ها کاسته می‌شود.

باید توجه داشت که ازآنجاکه مردم مستقیماً با گیاهان و خاک پارک‌ها و فضاهای سبز در تماس هستند، عدم وجود آلودگی‌های میکروبی نیز در استفاده از منابع آب جهت آبیاری فضای سبز حائز اهمیت است. اگرچه مطالعات نشان داده است که در شهرهایی که دارای سیستم فاضلاب شهری هستند، میزان آلودگی میکروبی رواناب‌ها در حد استانداردهای قابل‌قبول است و حتی از فیلترهای گیاهی و زیستی می‌توان جهت حذف آلودگی‌های احتمالی استفاده کرد(احمدی، ۱۳۹۳: ۱۲۴)، بااین‌حال، مطالعه‌ی بار میکروبی رواناب‌ها نیز باید در مطالعات مربوط به استفاده از رواناب‌های شهری موردتوجه قرار گیرد.

در این مطالعه ازنظر آماری، تأثیر بارش بر بعضی از عناصر معنی‌دار نشان داده نشد. از طرفی حداکثر میزان عناصر کیفی آب در بارش‌های با میزان و شدت کم مشاهده شده است، به‌طوری‌که حداکثر تمرکز این عناصر در بارش‌های کم‌تر از ۱۰ میلی‌متر اتفاق افتاده است. این نتایج با نتایج کنت۲۲ و همکاران (۲۰۱۶) هم‌خوانی دارد. یکی از راه-کارهای استفاده از رواناب‌های سطحی این است که یا بارش‌های با بار آلودگی بالا را تصفیه نمود و یا این‌که بارش‌های با آلودگی زیاد را بازیافت نکرد و پس‌ازاین‌که بار آلاینده‌ها کاهش یافت نسبت به بازیافت آن اقدام نمود. در میان خصوصیات بارش، شدت بارش بیش‌ترین همبستگی را با پارمترهای هدایت الکتریکی و مجموع املاح محلول به‌عنوان مهم‌ترین شاخص‌های تعیین‌کننده‌ی کیفیت رواناب داشته است (ضریب همبستگی ۵۶ /۰، ۰/۶۸). با افزایش شدت بارش، قطرات باران با سرعت بیش‌تر و در نتیجه، قدرت بیش‌تری با سطح خاک برخورد می‌نمایند که نتیجه‌ی آن افزایش میزان فرسایش بوده که درنهایت خود را به آبراهه‌ها رسانده و به رواناب شهری وارد می‌شوند. این نتایج با نتایج تحقیق ابطحی (۱۳۸۷) در بحث بررسی روند تغییرات کیفی آب رودخانه‌ی زاینده‌رود و شناسایی و عوامل مؤثر بر آن و نتایج ران۲۳ و همکاران (۲۰۱۲) در بررسی تأثیر خصوصیات بارش بر خصوصیات رواناب مطابقت دارد.

## ۶- منابع


۱. ابطحی، آذین، نجفی، پیام (۱۳۸۷). ارزیابی مشخصه‌های کیفی رودخانه‌ی زاینده‌رود در استان اصفهان، یازدهمین همایش ملی بهداشت محیط زاهدان.

۲. طاهری، احمد (۱۳۹۳). مدل‌سازی کاهش آلودگی میکروبی سیلاب شهری یاسوج با استفاده از فیلترهای زیستی. پایان‌نامه‌ی کارشناسی ارشد. دانشگاه یاسوج. ص ۱۲۴.

۳. قهرودی تالی، منیژه (۱۳۹۰). ارزیابی موقعیت مکانی شبکه‌ی مسیل‌های تهران. فصلنامه‌ی جغرافیای طبیعی، دوره ۴، شماره ۱۳، صص ۷۰-۵۹.

4. Adams Barry, J; Papa, F., (2000). Urban Storm Water Management Planning With Analytical Probabilistic Models. John Wiley & Sons, Inc., 605 Third Avenue, New York.376p.


19- Yongwei
20- Beijing
21- Xubin Pan
22- Kenneth
23- Ran

5. Alley William, M and P. E Smith., (1981). Estimation of Accumulation Parameters for Urban Runoff Quality Modeling ,Water Resources Research,17, 6, pp. 1657-1664.
6. Argue J.R. and D Pezzaniti., (1999).Catchment "greening" using stormwater in Adelaide, South Australia', Water Science and Technology, 39, 177-183.
7. Brodie, I.M; Egodawatta, P., (2011). Relationships between rainfall intensity, duration and suspended particle washoff from an urban road surface. Hydrol. Res. 42, 239–249.
8. Butler, D. and Davies, J.W., (2000). Urban drainage. E & FN Spon, London.
9. Chessman, B., S., Townsend., (2009). Differing effects of catchment land use on water chemistry explain contrasting behavior of a diatom index in tropical northern and temperate southern Australia.
10. Cole, R.H., Frederick, R.E., Healy, R.P., Rolan, R.G.,(1984). Preliminary findings of the priority pollutant monitoring project of the nationwide urban runoff program. J. Water Pollut. Control Fed. 56, 898–908.
11. Egodawatta, P., Thomas, E., Goonetilleke, A., (2007) .Mathematical interpretation of pollutant wash-off from urban road surfaces using simulated rainfall. Water Res., 41, 3025–3031.
12. Ghafouri, M., Heng, S. and Baskaran, K., (2003). Scale Effects on Reuse of Stormwater in Semi-Arid Zones of Australia, Ozwater Convention and Exhibition: Innovations in Water. AWA 20th Convention, Australian Water Association, Australia.pp:1-9.
13. Gnecco, I., Berretta, C., Lanza, L. G., & La Barbera, P. (2005). Storm water pollution in the urban environment of Genoa, Italy. Atmospheric research, 77(1-4), 60-73.
14. Huber, M., Welker, A., Helmreich, B., (2016). Critical review of heavy metal pollution of traffic area runoff:Occurrence, influencing factors, and partitioning. Sci. Total Environ. 541, 895–919.
15. Kenneth C. Schiff Liesl, L., Tiefenthaler Steven, M., Bay and Greenstein, D., (2016). Effects of Rainfall Intensity and Duration on the First Flush from Parking Lots. Water,8, 320; doi:10.3390/w8080320.
16. Ran, Q.H.;, Su, D.Y., Li, P., He, Z.G., (2012). Experimental study of the impact of rainfall characteristics on runoff generation and soil erosion. J. Hydrol. 424–425, 99–111.
17. Revitt, D.M., Lundy, L., Coulon, F., Fairley, M., (2014). The sources, impact and management of car park runoff pollution: A review. J. Environ. Manag. 146, 552–567.
18. Schueler, T.R., (1987). Controlling Urban Runoff: A Practical Manual for Planning and Designing Urban BMPs. Publication no. 87703. Metropolitan Washington Council of Governments.
19. Tiefenthaler, L.L., Schiff, K., Leecaster, M.K., (2002). Temporal variability patterns of stormwater concentrations in urban stormwater runoff. Water Res. 36, 1556–1564.
20. Yongwei, G., Xiaoying, L., Xiaoning, L., Junqi, L., Xing, F (2016). Influence of Rainfall Characteristics on Total Suspended Solids in Urban Runoff:A Case Study in Beijing, China. Water, 8:1-23; doi:10.3390/w8070278.
21. Zhao, J.W., Shan, B.Q.,Yin, C.Q., (2007). Pollutant loads of surface runoff inWuhan City Zoo, an urban tourist area.J. Environ. Sci. 19, 464–468.
22. Pan, X., Zhang, J., Fang, WT. et al. Front. Environ. Sci. Eng. (2012) 6: 825. https://doi.org/10.1007/s11783-012-0465-0.