

۱۰۰ سال و حتی بیشتر را نیز کنترل کند. همچنین آنالیز سود و هزینه پروژه نشان داد هزینه‌ها در وضعیت کنونی ۱/۵۵ برابر (معادل ۴/۰۱۱/۸۹۲/۸۴۰ ریال در سال) بیش از زمان استفاده از سیستم استحصال رواناب می‌باشد.

واژه‌های کلیدی: هیدرولوژی شهری، استحصال رواناب، فضای سبز، بند خاکی، آنالیز اقتصادی

#### مقدمه

رشد و توسعه سریع شهرنشینی در بسیاری از کشورها از اواسط قرن بیستم آغاز شد [۷]. این توسعه منجر به جایگزینی اراضی طبیعی با مناطق مسکونی و افزایش سطوح غیرقابل نفوذ گردیده است. بارزترین تأثیر این تغییر کاربری افزایش حجم و دبی پیک جریان در مناطق شهری می‌باشد [۱۷، ۲۲]. بطوریکه این افزایش حجم مشکلاتی همچون آب‌گرفتگی معابر را در نواحی پایین‌دست منجر شده است [۱۵]. علاوه بر این، مطالعات متعدد نشان داده است که کیفیت رواناب‌های شهری نیز متناسب با توسعه شهرها کاهش یافته است [۲۱]. بطوریکه با افزایش بار آلودگی و انتقال آن در شهرها سلامتی انسان و محیط‌زیست به خطر افتاده است [۵]. برنامه‌ریزی فعلی مدیریت آب شهری در درجه اول بر اساس کنترل آب در پایین‌دست می‌باشد [۱۳]. با این حال به توجه به تغییرات اقلیم، گاهی مدیریت آب در پایین‌دست بی‌اثر بوده و با وقوع حوادث غیرقابل‌پیش‌بینی بارندگی، می‌تواند منجر به جاری شدن سیل در مناطق پایین‌دست شود، از این رو امروزه بیشترین توجه برنامه‌ریزان، به مدیریت رواناب در نواحی منبع تولید آن (سطوح نفوذناپذیر) می‌باشد [۲۸]. سیستم‌های استحصال رواناب، روش‌های اقتصادی و زیست‌محیطی مناسبی جهت مدیریت رواناب‌های شهری به حساب می‌آیند که می‌توانند جهت تأمین آب مکمل، در مواردی از جمله آبیاری فضای سبز شهری مورد استفاده قرار گیرند. علاوه بر این، استحصال رواناب از آبیگری معابر جلوگیری کرده و در بسیاری از موارد مانع از ایجاد سیل می‌گردد. بسیاری از مطالعات انجام گرفته، تأثیر سیستم‌های استحصال رواناب را در ذخیره و استفاده در کاربردهای مختلف مفید و مقرون به صرفه ارزیابی نموده است [۱، ۹، ۱۰، ۱۴، ۱۶، ۲۷]. از طرفی افزایش فضای سبز شهری نیز تأثیر مثبتی بر نفوذ آب و ذخیره بیشتر آن در خاک خواهد داشت [۶، ۲۳]. لذا با توجه به مشکلات ناشی از ایجاد رواناب در شهرها و از

## آنالیز و توجیه اقتصادی احداث بند خاکی جهت مدیریت رواناب شهری به منظور استفاده در فضای سبز (مطالعه موردی: منطقه ۲۲ تهران)

نازیلا رزمجویی<sup>۱</sup>، محمد مهدوی<sup>۲</sup>، حمیده افخمی<sup>۳\*</sup>، محسن محسنی ساروی<sup>۴</sup> و بهارک معتمدوزیری<sup>۵</sup>  
 تاریخ دریافت: ۹۶/۱۲/۲۰ تاریخ پذیرش: ۹۷/۰۴/۲۳

#### چکیده

مدیریت رواناب در مناطق شهری توسعه‌یافته و مستعد سیل یکی از دغدغه‌های مهم در مدیریت شهری می‌باشد. اجرای روش‌های استحصال رواناب، می‌تواند ضمن کاهش خطر سیل، جهت مصارف غیر شرب نیز مورد توجه قرار گیرد. منطقه ۲۲ شهرداری تهران یکی از مراکز مهم جمعیتی است که توسعه شهر در آن با سرعت فزاینده‌ای رو به رشد است. افزایش سطوح نفوذناپذیر و مجاورت این حوضه شهری با دو حوضه آبخیز کن و وردیج زمینه وقوع سیل را در این منطقه مساعد نموده است. در این تحقیق با توجه به توپوگرافی خاص منطقه روش سازهای سد خاکی جهت استحصال قسمتی از رواناب حوضه و استفاده از آن جهت آبیاری بخشی از فضای سبز منطقه پیشنهاد گردیده است و در نهایت در راستای توجیه پروژه، آنالیز اقتصادی در شرایط قبل (وضعیت کنونی) و بعد از استحصال رواناب (ایجاد سد خاکی) انجام گرفته است. بر اساس نتایج، مناسب‌ترین مکان احداث سد، پشت تپه‌های پارک چیتگر تشخیص داده شد و حجم پیشنهادی سد، بر اساس تأمین نیاز آبی پارک جنگلی چیتگر، خرگوش‌دره و باغ‌ملی گیاه‌شناسی که در نزدیکی مکان پیشنهادی سد واقع شده‌اند حدود ۹/۷۷۵/۰۰۰ مترمکعب برآورد گردید که این سیستم استحصال رواناب، ضمن تأمین نیاز آبی ۴۹/۷ درصد از مساحت فضای سبز منطقه (معادل ۹/۶۶ کیلومترمربع از مساحت فضای سبز منطقه)، قادر است دبی اوج سیل با دوره بازگشت

- ۱- کارشناسی ارشد علوم و مهندسی آبخیزداری، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد علوم تحقیقات تهران
- ۲- عضو هیئت علمی دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه تهران
- ۳- دکتری علوم و مهندسی آبخیزداری، دانشگاه یزد، نویسنده مسئول:  
Email: hamide.afkhami@gmail.com
- ۴- عضو هیئت علمی دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه تهران
- ۵- عضو هیئت علمی دانشگاه آزاد اسلامی، واحد علوم تحقیقات تهران

طرف دیگر مشکل کم آبی و نیاز فضای سبز به آب می‌توان با اعمال مدیریت صحیح و عملیات اجرایی مناسب، ضمن کنترل رواناب، با به‌کارگیری آن در فضای سبز و توسعه آن، میزان هزینه تأمین آب در آبیاری را کاهش داد. منطقه ۲۲ شهرداری تهران یکی از مناطقی است که به دلیل مجاورت با دو حوضه آبخیز هم‌جوار (کن و وردیج) و توسعه سریع شهرک‌سازی، سطح اراضی نفوذناپذیر به شدت در آن گسترش یافته است و این زمینه را جهت افزایش حجم رواناب و ایجاد سیل مساعد نموده است. این در حالی است که علی‌رغم هدررفت وسیع رواناب‌های سطحی، آب مورد نیاز جهت آبیاری فضای سبز در این منطقه باید از مناطق دیگر و با صرف هزینه از طریق تانکر صورت گیرد. از این رو مطالعه این منطقه جهت ارائه روشی اقتصادی جهت استحصال رواناب و مدیریت آن جهت آبیاری فضای سبز آن منطقی و ضروری به نظر می‌رسید. مطالعات و تحقیقات سایر محققین در این زمینه نیز مؤید همین مطلب می‌باشد. یافته‌های یا و همکاران [۲۹] نشان داد توسعه فضای سبز شهری تأثیری مثبت در کاهش رواناب و کنترل آن دارد. آنتیک و همکاران [۳] استحصال رواناب در شهر سانتا مونیکا<sup>۱</sup> را روشی مؤثر در کاهش رواناب و مناسب جهت آبیاری فضای سبز قلمداد کردند. میچل و همکاران [۱۸] اظهار داشت که رواناب‌های سطحی یک منبع آب به شمار می‌رود و در بسیاری از مناطق مقدار رواناب سطحی معادل مقدار عرضه آب جهت شرب در آن منطقه می‌باشد. نتایج تحقیق میچل و همکاران [۱۹] در موردی دیگر به مزایای استفاده مجدد از رواناب‌های شهری از جمله کنترل آلودگی، حفاظت از محیط‌زیست و جلوگیری از سیل اشاره کردند. مطالعه وانیلیستا [۲۸] نیز نشان داد که می‌توان رواناب سطحی را در مکانی نزدیک به محل تولید، ذخیره و برای مقاصد غیر شرب از جمله آبیاری فضای سبز شهری استفاده نمود. نتایج به‌دست‌آمده از مطالعات هو [۱۳] و تیان و همکاران [۲۶] نشان داد که توسعه فضای سبز در منطقه بیجینگ<sup>۲</sup> چین نیز تأثیر مثبتی در کاهش رواناب در این منطقه داشته است. از طرف دیگر گراهام و همکاران [۱۲] نیز استحصال آب باران را روشی مؤثر در صرفه‌جویی آب، تا میزان ۳۶ درصد در سال دانستند. قدسی [۸] برای مدیریت کیفیت و مدیریت آب شهری در بخش شمالی شهر تهران در ایران چارچوبی با استفاده از الگوریتم ژنتیک پیشنهاد دادند. نتایج نشان می‌دهد که انتخاب یک سناریوی مدیریت مناسب توسط ذینفعان در منطقه مطالعه بستگی به منابع مالی موجود و اهمیت نسبی بهبود رواناب در مقایسه با کاهش حجم رواناب دارد. انگرل و همکاران [۲] کمیت و کیفیت آب باران را در تولید رواناب شهری بخشی از دانشگاه بارسلونا بررسی نمودند و نشان دادند بهترین کمیت و کیفیت رواناب از بخش‌های بتنی است درحالی‌که ته‌نشست ذرات جو بر روی آسفالت منجر به افت کیفیت رواناب در این بخش می‌شود.

1-Santa Monica

2-Beijing

در ایران نیز آشوری نژاد و همکاران [۳] نشان داد، استحصال سیلاب در بند سارها باعث بهبود بافت خاک و افزایش مواد آلی و معدنی خاک می‌شود. موسوی‌نژاد [۲۰] در مدیریت صحیح استحصال باران در شهر سمنان به این نتیجه دست یافت که با انجام عملیات اجرایی و مدیریتی در سطح شهر می‌توان، هزینه‌های آبیاری فضاهای سبز را به یک‌سوم مقدار آبی که در حال حاضر مورد استفاده قرار می‌گیرد رساند. تحقیقات طباطبایی و همکاران [۲۵] نیز به‌کارگیری رواناب حاصل از بارش و استفاده از آن در فضای سبز شهری مشهد را یک روش اقتصادی نشان داد. قدوسی [۱۱] در مورد کارایی استحصال آب به این نتیجه رسید که استحصال آب باعث ذخیره‌سازی، پیشگیری از رخدادهای سیلاب‌های شهری، پیشگیری از آلودگی منابع آب و خاک در پهنه‌های شهری و مصارف غیرقابل‌شرب بخصوص آبیاری انواع فضاهای سبز می‌شوند. صوفی [۲۴] پیرامون مدیریت سیلاب در آبخیز شهری شیراز پیشنهاد داد که باید در نقاط در حال توسعه نظیر شهرک‌های در حال ایجاد به راهکارهای غیرسازهای و در نقاط توسعه یافته و قدیمی شهرها اقدامات سازهای انجام گیرد. در مطالعه حاضر که با هدف مدیریت رواناب شهری به منظور تأمین بخشی از آب مورد نیاز فضای سبز منطقه ۲۲ تهران انجام گرفته است، جهت استحصال رواناب و با توجه به توپوگرافی منطقه یک بند خاکی پیشنهاد گردیده و در نهایت آنالیز اقتصادی در شرایط قبل و بعد از استحصال صورت پذیرفته و در نهایت تأثیر احداث این سد در کنترل رواناب و تأمین آب مورد نیاز فضای سبز منطقه بررسی گردیده است.

## مواد و روشها

### موقعیت جغرافیایی منطقه

منطقه ۲۲ شهرداری تهران در غربی‌ترین محدوده شهر تهران و در بین عرض جغرافیایی ۳۵،۲۴،۴۰ و ۳۶،۰۰،۰۶ شمالی و طول جغرافیایی ۵۰،۵۹،۵۶ و ۵۱،۳۳،۳۰ شرقی واقع شده است. این حوضه از شمال در مجاورت دو حوضه کن و وردیج قرار دارد، بطوریکه رواناب ناشی از دو حوضه نامبرده نیز به این منطقه وارد می‌شود. در مجموع مساحت سه حوضه ۳۵۷/۶ کیلومتر مربع می‌باشد. متوسط بارندگی در سه حوضه کن، وردیج و ۲۲ شهرداری به ترتیب ۴۵۰، ۳۴۵ و ۳۰۰ میلی‌متر می‌باشد. همچنین با توجه به نقشه کاربری منطقه مورد مطالعه، مجموع مساحت فضای سبز در آن ۱۹۴۳ هکتار است که ۵۹ هکتار آن مربوط به پارک و ۱۸۸۴ هکتار مربوط به پارک جنگلی می‌باشد. فضای سبز این منطقه شامل ۵۰ بوستان و ۴ پارک جنگلی و ۱ باغ ملی گیاهشناسی و فضای سبز مربوط به ورزشگاه آزادی است. موقعیت جغرافیایی منطقه ۲۲ و مناطق هم‌جوار آن در شکل ۱ آورده شده است.

ارتفاعات تا این تپه‌ها، زمین از نظر مرفولوژیکی حالت کاسه‌ای شکل دارد به طوری که پست‌ترین نقطه آن نزدیک به تپه‌های پارک چیتگر واقع می‌شود الگوی مناسب جمع‌آوری رواناب در این منطقه، سد خاکی تشخیص داده شد. در حقیقت این کاسه، یک کاسه نامتقارن است که شیب کاسه به سمت تپه‌های پارک چیتگر ملایم‌تر از طرف دیگر کاسه است. همچنین این حالت کاسه‌ای سبب شده تا آبراه‌های اطراف و آب‌های سطحی به سمت پشت تپه‌های چیتگر زهکش شده و در نهایت توسط آبراه‌های که بین تپه‌های فوق قرار دارد به سمت جنوب و جنوب شرق و به سمت رودخانه کن در پایین دست منتهی گردد (شکل ۲).



شکل ۱: موقعیت منطقه ۲۲ در مجاورت با منطقه ۲۲ گانه تهران

### اجزای سیستم‌های استحصال رواناب در پروژه سد خاکی سطح جمع‌آوری

در این سیستم، سطح جمع‌آوری قسمتی از حوزه شهری است (قسمت اعظم رواناب منطقه به صورت ثقلی به این قسمت زهکش می‌شود) و بخش دیگر از دو حوضه کن و وردیج تامین می‌شود (شکل ۳).

### مسیر انتقال یا توزیع

آبراه‌های طبیعی و دو کانال روباز بتنی پیشنهادی در این منطقه عهده‌دار انتقال رواناب به مخزن سد می‌باشند که این کانالها یکی از غرب و دیگری از شرق به سد مرتبط می‌باشند (شکل ۴).

### مخزن ذخیره آب

در این پژوهش مخزن ذخیره آب یک سد خاکی است که با توجه به پتانسیل منطقه برای احداث این سازه مناسب است. طراحی حجم در نظر گرفته شده سد، بر اساس متوسط حجم رواناب سالانه و نیاز آبی فضای سبز صورت گرفته است. شایان ذکر است طراحی بر اساس قسمتی در مجاور سد که امکان آبیاری آن آسان‌تر است صورت گرفته است. حجم رواناب با توجه به متوسط مجموع رواناب سالانه در یک دوره ۳۰ ساله به دست آمده است (هدف جمع‌آوری رواناب در سال است). بر این اساس مجموع ارتفاع رواناب روزانه در روزهای دارای بارندگی در طول سال محاسبه و متوسط آن را در طول دوره آماری ۳۰ ساله برآورد گردید و این رقم به عنوان رقم پایه در برآورد حجم رواناب لحاظ شده است (جدول ۱).

### نتایج و بحث

#### نتایج حاصل از آب مورد نیاز فضای سبز در طول سال

همان‌گونه که بیان گردید جهت تعیین مقدار آب مورد نیاز فضای سبز منطقه ۲۲ با استفاده از پرسشنامه و نظر متخصصین این بخش و بر اساس رابطه ۱ محاسبه گردید (جدول ۱).

### نیاز آبی فضای سبز منطقه ۲۲

به منظور تعیین نیاز آبی فضای سبز منطقه پرسشنامه‌هایی طراحی و سپس با کمک کارشناسان ناظر بر نواحی فضای سبز اقدام به برآورد حجم متوسط سالانه آب مصرفی در فضای سبز گردید. بدین منظور محاسبات از طریق دبی منابع آب مورد استفاده و مدت زمان آبیاری و گاه با محاسبه سرعت پمپاژ آب و سطح مقطع جریان آب، حجم تانکر و تعداد سرویس‌های آبیاری در طول سال، صورت گرفت و میزان حجم آبی مورد نیاز فضای سبز محاسبه گردید. متوسط حجم آب مصرفی در طول یک سال مطابق با رابطه ۱ محاسبه گردید و حجم آبی که از طریق تانکرها به مصرف گیاهان میرسد از روی حجم تانکر و تعداد دفعات مورد استفاده در طول سال محاسبه گردید.

$$(1) \quad \text{روزهای آبیاری} \times \text{مدت زمان آبیاری در یک شبانه روز} \times \text{دبی} = \sum = \text{متوسط حجم آب مصرف در یک سال}$$

### حجم رواناب ایجاد شده در سطح حوضه در طول یک سال

در برآورد ارتفاع رواناب، با توجه به نزدیکترین ایستگاه‌های هواشناسی به حوضه‌ها و آمار سی ساله بارش روزانه، مقدار رواناب به روش SCS محاسبه و مجموع آن در طول سال برآورد گردید و سپس میانگین مجموع ارتفاع رواناب ۳۰ ساله از سال ۱۳۷۰ تا ۱۳۹۰، محاسبه و مقدار رواناب برای کل سطح به دست آمد. همچنین ارتفاع رواناب و دبی سیل در دوره بازگشت‌های مختلف بر اساس رگبار ۶ ساعته محاسبه شد (ظرفیت ذخیره سد متناسب با دوره بازگشت ۱۰۰ سال). جهت محاسبه ارتفاع رواناب، CN وزنی حوضه محاسبه و ارتفاع رواناب با روش SCS به دست آمد.

### الگوی مناسب استحصال آب در منطقه

با توجه به اینکه در پشت تپه‌های پارک چیتگر و در حد فاصل

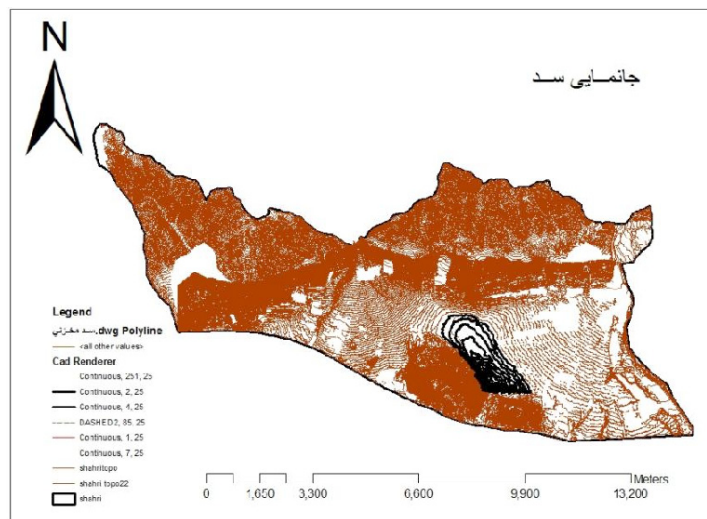
### جدول ۱: متوسط حجم آب سالانه مورد نیاز فضای سبز منطقه ۲۲

ردیف نواحی منطقه ۲۲	متوسط سالانه حجم آب آبیاری (مترمکعب)	ردیف نواحی منطقه ۲۲	متوسط سالانه حجم آب آبیاری (مترمکعب)
۱ ناحیه ۱	۳۳۳/۷۴۸	۶ خرگوشدره	۶۳۸/۹۹۵
۲ ناحیه ۲	۱/۰۱۴/۵۵۲	۷ لتمان	۶۵۴/۱۹۲
۳ ناحیه ۳	۷۴۸/۹۹۴	۸ باغ ملی گیاهشناسی	۲/۰۳۰/۹۹۴
۴ ناحیه ۴	۹۶۷/۹۸۲	۹ ورزشگاه آزادی	۱/۲۱۴/۷۳۴
۵ چیتگر	۴/۳۶۱/۶۰۱	۱۰ مجموع	۱۴/۹۶۹/۵۳۴

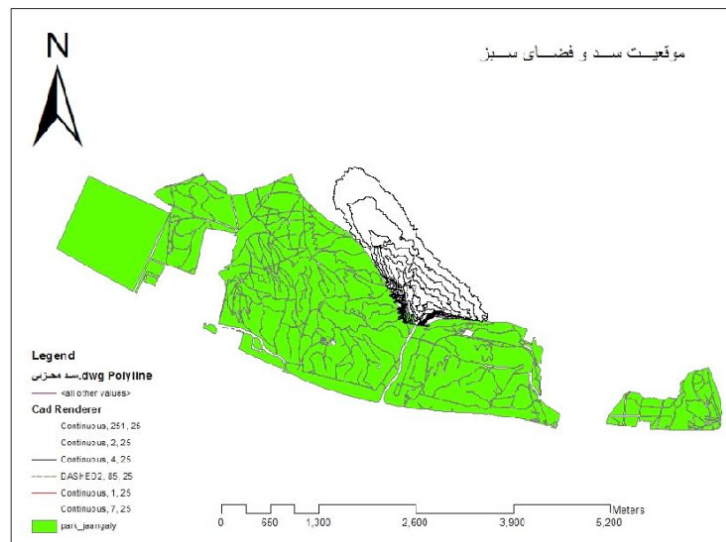
با توجه به نتایج جدول ۱ کل نیاز آبی فضای سبز منطقه ۲۲ حدود ۱۴/۹۶۹/۵۳۴ مترمکعب در سال می‌باشد. در این تحقیق با توجه به مکان احداث سد، سه ناحیه مجاور محل احداث (خرگوش دره، پارک جنگلی چیتگر و باغ ملی گیاهشناسی)، به‌منظور تأمین آب انتخاب گردیدند که مجموع آب موردنیاز این سه بخش حدود ۷/۰۵۰/۰۰۰ مترمکعب است.

### جانمایی سد

شکل ۲ نقشه موقعیت سد را در منطقه نشان می‌دهد (قسمت پرننگ) که این قسمت به لحاظ توپوگرافی کاسه مانند است و زهکش قسمت بزرگی از سطح جمع‌آوری رواناب است که به طور طبیعی، پتانسیل ذخیره را دارد. همچنین شکل ۳ موقعیت سد نسبت به فضای سبز مجاور را نمایش می‌دهد.



شکل ۲: موقعیت سد خاکی در منطقه



شکل ۳: موقعیت سد و فضای سبز

## سطح جمع‌آوری و مسیر انتقال رواناب

سطح جمع‌آوری رواناب، محدودهای از منطقه شهری است که قسمتی از رواناب از آن استحصال می‌شود. (شکل ۴). پارهای از خصوصیات این محدوده در جدول ۲ آمده است. باید متذکر شد که قسمت دیگری از حجم آب سد از حوضه‌های کن و وردیج تأمین می‌شود.

جدول ۲: پارهای از خصوصیات سطح جمع‌آوری رواناب در منطقه ۲۲

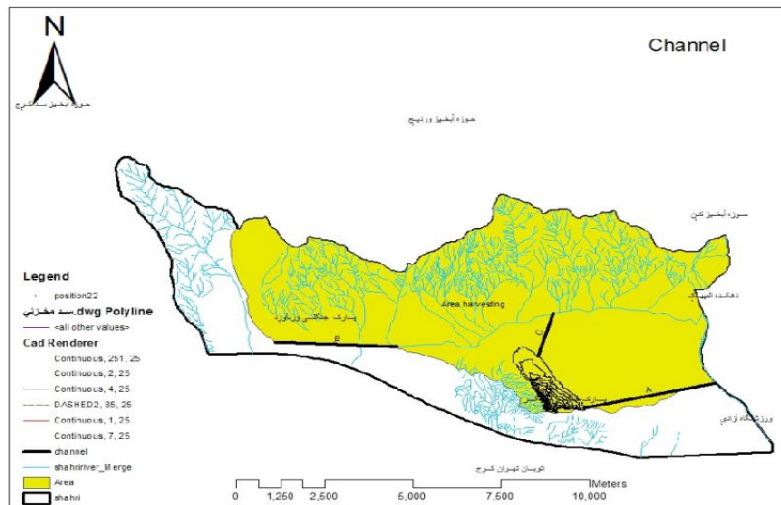
پارامتر	مقادیر
سطح جمع‌آوری رواناب (کیلومتر مربع)	۷۲/۶
CN وزنی سطح جمع‌آوری رواناب	۸۳/۲۵۲
حداکثر پتانسیل نفوذ (میلیمتر)	۵۱/۰۹

در رابطه با مسیر انتقال رواناب لازم به توضیح است که رودخانه فصلی در منطقه ۲۲ در امتداد رودخانه وردآورد حوضه وردیج است،

این رودخانه از بالای ناحیه‌ای که برای سد جانمایی شده می‌گذرد که همراه با کانال‌های A و B که در شکل ۴ نمایش داده شده است رواناب ناشی از بارندگی را به سد هدایت می‌کند. کانال A مسیری است که قسمتی از آب سد را از رودخانه کن به سد می‌رساند و کانال B مسیری است که قسمتی از رواناب شهری را به رودخانه موجود در منطقه هدایت می‌کند و کانال C یک مسیر انحرافی است که آب قسمتی از رودخانه وردآورد و کانال B را به سد می‌ریزد. لازم به ذکر است که استفاده از مسیل و آبراهه‌های طبیعی به منظور تخلیه سیلاب‌های شهری، مستلزم توجه به جنبه‌های مختلفی از جمله بهسازی مسیل، رعایت حریم آبراهه، تأمین عمق کافی برای انتقال سیلاب‌ها، ارزیابی فرسایش‌پذیری آبراهه‌ها و پیش‌بینی تمهیدات مقتضی برای مقابله با آن می‌باشد.

## نتایج مربوط به ارتفاع و حجم رواناب حوضه

همان‌گونه که قبلاً نیز بیان گردید در برآورد ارتفاع رواناب به منظور تعیین حجم رواناب سالانه در حوضه‌های مورد نظر، مقدار رواناب به روش SCS محاسبه گردید. همچنین مقادیر مربوط به ارتفاع رواناب و دبی اوج سیل بر اساس یک رگبار ۶ ساعته و در دوره بازگشت ۱۰۰ سال نیز محاسبه و در جدول ۳ ارائه گردیده است.



شکل ۴: نقشه موقعیت سد، سطح استحصال، آبراهه‌ها و کانالهای A, B, C

جدول ۳: مقادیر متوسط مجموع ارتفاع رواناب و حجم آن در طول سال و در یک رگبار ۶ ساعته

حوضه‌ها	مساحت (KM <sup>2</sup> )	متوسط مجموع ارتفاع رواناب در طول سال (میلیمتر)	متوسط حجم رواناب در طول سال (متر مکعب)	ارتفاع رواناب با دوره بازگشت ۱۰۰ سال (متر)	دبی اوج سیل (M <sup>3</sup> /s)
کن	۲۰۵/۴۲	۱۰۵/۹۵۳	۲۱۷۶۴۸۰۲	۵/۱۵	۱۱۷/۸۲
وردیج	۶۰/۹۳	۱۰۶/۲۴۷	۶۴۷۳۶۳۳	۵/۱۲	۴۶/۶۰
سطح استحصال رواناب منطقه ۲۲	۷۲/۶	۵۵/۳۰۹	۴۰۱۵۴۴۸	۱۰/۰۲	۹۵/۹۲

## حجم ذخیره رواناب

در طراحی حجم سد، پس از محاسبه ارتفاع رواناب و با توجه به میزان آب مورد نیاز در پارک جنگلی چیتگر، خرگوشدره و باغ ملی گیاه‌شناسی (به دلیل نزدیک بودن به سد) که حدود ۷/۰۵۰/۰۰۰ مترمکعب است، حجم ذخیره رواناب یا به عبارتی حجم آب سد، ۷/۰۵۰/۰۰۰ مترمکعب برآورد شد که مقدار ۴/۰۰۰/۰۰۰ مترمکعب آن از رواناب‌های شهری و ۳/۰۰۰/۰۰۰ مترمکعب آن از حوضه کن و ۱/۰۵۰/۰۰۰ مترمکعب آن از حوضه وردیج تأمین می‌شود. با توجه به اینکه میزان آب مصرفی فضای سبز در نظر گرفته شده ۷/۰۵۰/۰۰۰ مترمکعب است، حجم اضافه بر نیاز آبی گیاه حدود ۱/۴۵۰/۰۰۰ مترمکعب است که این مقدار به منظور تعادل اکولوژیکی، تبخیر و نفوذ در نظر گرفته شده است.

با توجه به دبی اوج سیل و ارتفاع رواناب با دوره بازگشت ۱۰۰ سال که با روش SCS مطابق با جدول ۳ محاسبه گردید، می‌توان گفت، در یک رگبار ۶ ساعته، حوضه شهری با ضریب رواناب ۰/۹ حجم ۷۲۷/۴۵۲ مترمکعب، حوضه کن ۱/۰۵۷/۹۱۳ مترمکعب و حوضه وردیج ۳۱۱/۹۶۱ مترمکعب رواناب می‌تواند تولید می‌کند که در مجموع حجم رواناب تولید شده مقدار ۲/۰۹۷/۳۲۶ مترمکعب می‌باشد. با این حساب و با توجه به ظرفیت ذخیره سد، این سیستم استحصال رواناب، می‌تواند دبی اوج سیل با دوره بازگشت ۱۰۰ سال و حتی بیشتر را کنترل کرد و در مواقعی که سد نیمه پر باشد از پس دبی با دوره بازگشت ۱۰۰ سال و زمانی که سد پر باشد از پس Flood routing برمی‌آید. علاوه بر این، حجم آبی در نظر گرفته شده برای سد، مربوط به متوسط ۳۰ سال آمار بوده که خشکسالی نیز در آن لحاظ شده و باید متذکر شد که در مواقع خشکسالی نیز به دلیل ذخیره حجم حدود ۷،۰۴۰،۰۰۰ مترمکعب نیاز آبی که قبلاً از طریق منابع آب زیرزمینی تأمین می‌شد می‌توان از این حجم آب استفاده کرد.

## نتایج مربوط به طراحی سد

طراحی سد در محیط AUTO CAD انجام شد که محاسبات

مربوط به حجم، سطح، ارتفاع، در شکل ۵ ارائه شده است. در این طراحی با در نظر گرفتن ۹/۷۷۵/۰۰۰ مترمکعب، مساحتی حدود ۱۹۰ هکتار و ارتفاع ۱۹ متر لازم است. (حجمی از سد به منظور رسوب در نظر گرفته شده که در سال‌های اولیه بهره‌برداری با توجه به خالی بودن از رسوب می‌تواند حجمی از آب را در خود ذخیره کند).

## نتایج حاصل از آنالیز اقتصادی قبل و بعد از استفاده از سیستم استحصال آب

در بررسی اقتصادی، هزینه آبیاری فضای سبز در حالت کنونی (قبل از استفاده از سیستم استحصال آب) و در زمان استفاده از سیستم استحصال آب، مقایسه شده است.

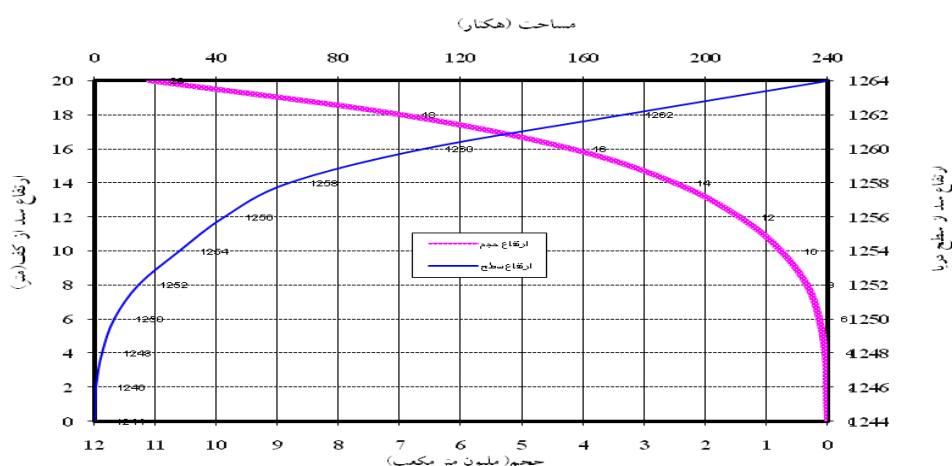
### هزینه آبیاری فضای سبز در وضعیت کنونی

جدول ۴ هزینه آبیاری را در وضعیتی بدون استفاده از سیستم استحصال رواناب برای مدت ۵۰ سال و متوسط آن در طول یک سال نشان می‌دهد.

### جدول ۴: هزینه آب برای آبیاری فضای سبز در طول پنجاه سال و متوسط آن در یک سال

هزینه	قیمت (ریال) - (پنجاه‌ساله)
هزینه ناشی از خسارتسیل	۷/۱۵۵/۰۰۰/۰۰۰
هزینه آب	۴۲۶/۲۱۵/۹۱۴/۵۰۰
هزینه مربوط به تانکر و کارگر	۱۲۹/۳۹۶/۵۰۰/۰۰۰
مجموع	۵۶۲/۷۶۷/۴۱۴/۵۰۰

با توجه به نتایج جدول ۴ اولین پارامترهای مربوط به هزینه قبل از اجرای سیستم استحصال خسارت سیل است. تخمین کل مقدار خسارت سیل در پنجاه سال اخیر از طریق تهیه پرسشنامه در سازمان‌ها و شرکت‌های مختلف به نرخ امروز قیمت‌گذاری شده



شکل ۵: منحنی حجم سطح ارتفاع سد

است که مجموع آن در این نیم قرن حدود ۷/۱۵۵/۰۰۰/۰۰۰ ریال و متوسط سالانه آن ۱۴۳/۱۰۰/۰۰۰ ریال برآورد گردیده است. دومین پارامتر هزینه آب است که با توجه به قیمت سازمان آب نرخ گذاری شده است (با قیمت هر مترمکعب ۵۷۰ ریال که ارزش واقعی آب خیلی بیش از این مقدار است). پارامتر سوم در جدول ۴ مربوط به هزینه های قبل از استحصال، هزینه تانکر و کارگر است. در برخی از نواحی منطقه ۲۲ به خاطر عدم وجود آب کافی، حجمی از آب مصرفی فضای سبز از مناطق دیگر و از طریق تانکر تأمین می شود. در بررسی هزینه این پارامتر، هزینه مربوط به هر تانکر با توجه به حجم هر تانکر (با حجم ۶۰۰۰ لیتر با نرخ هر سرویس ۹۰۰۰۰ ریال و حجم ۱۲۰۰۰ لیتر با نرخ ۱۴۰۰۰۰ ریال برای هر سرویس) و تعداد سرویس های آن در طول سال و تعداد کارگرهایی که نیاز دارد (۷ ماه کار در پارک های شهری و ۵ ماه کار در پارک های جنگلی)، نرخ گذاری شده است (نرخ به قیمت امروز). جدول ۵ هزینه های ناشی از تأمین آب فضای سبز با تانکر، که اطلاعات پایه آن با استفاده از پرسشنامه تهیه شده است را نشان می دهد. (چیتگر، خرگوش دره و باغ ملی گیاه شناسی از طریق تانکر آبیاری نمی شوند).

#### هزینه های آبیاری فضای سبز پس از استفاده از سیستم استحصال آب

جدول ۶ هزینه آبیاری فضای سبز را پس از استفاده از سیستم استحصال آب در پنجاه سال و متوسط آن در یک سال را نشان می دهد

اولین پارامتر در این جدول، هزینه احداث کانال و سد با حجم ۹/۷۷۵/۰۰۰ مترمکعب (با ۸/۵۰۰/۰۰۰ مترمکعب آب بعلاوه حجم

رسوب با در احتساب ۰/۱۵٪ حجم آب) در نظر گرفته شده است. (طول = ۳۴۵ متر \* عرض = ۱۳ متر \* ارتفاع = ۱۹ متر) برابر ۸/۲۵۱/۵۰۰/۰۰۰ ریال به دست آمده که با احتساب هر مترمکعب سدخاکی ۱۰۰/۰۰۰ ریال در شرایط مشابه، هزینه برآورد شده و همین طور هزینه کانالها که به صورت بتنی رویا پیشنهاد شده (کانال A به طول ۳/۸ کیلومتر، کانال B به طول ۳/۵ کیلومتر و کانال C به طول ۱/۴ کیلومتر) با مقدار هر متر به طور متوسط ۵۰۰/۰۰۰ ریال در شرایط یکسان محاسبه شده است. با توجه به عمر مفید سد که بیش از ۱۰۰ سال است لازم به ذکر است که تخمین هزینه های مربوط به این پارامتر ۱۰۰ سال در نظر گرفته شده است (با توجه به کنترل سازه استحصال رواناب با دبی اوج سیل با دوره بازگشت ۱۰۰ سال و حتی بیشتر).

پارامتر دیگری که در جدول ۶ آمده است مربوط به هزینه تانکر و کارگر است، که در جدول مربوط به هزینه های قبل از احداث سازه بحث شد، آنچه در اینجا مهم است، اینکه تأمین آب از سایر نقاط از طریق تانکر بر میزان هزینه آبیاری فضای سبز می افزاید. در این جدول هزینه در مقیاس کل تغییر نکرده است چرا که تأمین آب فضای های سبز در نظر گرفته شده، آبیاری با تانکر را نداشته اند ولی اگر آبیاری با تانکر را در فضای سبز در نظر گرفته شده نیز وجود داشت، حتماً هزینه های بیشتری متحمل می شد. اما اگر احداث سازه استحصال آب در جایی مانند لتمان اجرا شود میزان هزینه سالانه ۷۲۱/۸۰۰/۰۰۰ ریال کاهش می یابد.

سومین پارامتر این جدول هزینه آب است که در مبحث مربوط به هزینه های قبل از استحصال شرح داده شده، اما رقمی که در این

جدول ۵: هزینه های ناشی از تأمین آب با تانکر در منطقه ۲۲ (ریال)

نواحی منطقه ۲۲	متوسط هزینه تانکر در سال (ریال)	متوسط حقوق کارگران آبیاری تانکری در سال (ریال)	نواحی منطقه ۲۲	متوسط حقوق کارگران آبیاری تانکری در سال (ریال)	متوسط هزینه تانکر در سال (ریال)	متوسط حقوق کارگران آبیاری تانکری در سال (ریال)
ناحیه ۱	۳۶۹/۶۰۰/۰۰۰	۱۰۵/۰۰۰/۰۰۰	خرگوشدره	۶۳/۰۰۰/۰۰۰	-	-
ناحیه ۲	۱۹۴/۰۴۰/۰۰۰	۶۳/۰۰۰/۰۰۰	لتمان	۷۵/۰۰۰/۰۰۰	۶۴۶/۸۰۰/۰۰۰	۷۵/۰۰۰/۰۰۰
ناحیه ۳	۶۴۶/۸۰۰/۰۰۰	۷۵/۰۰۰/۰۰۰	باغ ملی گیاه شناسی	۶۳/۰۰۰/۰۰۰	-	-
ناحیه ۴	۵۸/۲۱۰/۰۰۰	۶۳/۰۰۰/۰۰۰	ورزشگاه آزادی	-	۲۴۹/۴۸۰/۰۰۰	۴۲/۰۰۰/۰۰۰
چیتگر	-	-	مجموع	-	۲/۱۶۴/۹۳۰/۰۰۰	۴۲۳/۰۰۰/۰۰۰

جدول ۶: هزینه آب برای آبیاری فضای سبز پس از استحصال آب در طول پنجاه سال (ریال)

هزینه	قیمت (ریال) - (پنجاه ساله)
هزینه احداث سد و کانالها (با عمر مفید صدسال)	۱۴/۵۷۹/۰۵۰/۰۰۰
هزینه مربوط به تانکر و کارگر	۱۲۹/۳۹۶/۵۰۰/۰۰۰
هزینه آب	۲۲۵/۴۸۶/۷۴۷/۶۰۰
مجموع	۳۶۹/۴۶۲/۲۹۷/۶۰۰

چیتگر، خرگوشدره و باغ‌ملی گیاه‌شناسی است. علاوه بر این سد پیشنهادی از وقوع سیل در منطقه جلوگیری می‌کند. بر اساس محاسبات حجم پیشنهادی سد خاکی ۹/۷۷۵/۰۰۰ مترمکعب است که این سیستم استحصال پیشنهادی رواناب، دبی اوج سیل با دوره بازگشت بیش از ۱۰۰ سال را می‌تواند کنترل کند و در مواقعی که سد نیمه پر باشد توانایی کنترل دبی با دوره بازگشت ۱۰۰ سال را می‌تواند کنترل کند. علاوه بر این، حجم آبی در نظر گرفته شده برای سد، مربوط به متوسط ۳۰ سال آمار بوده که خشکسالی نیز در آن لحاظ شده و باید متذکر شد که در مواقع خشکسالی نیز به دلیل ذخیره حجم حدود ۷/۰۴۰/۰۰۰ مترمکعب نیاز آبی که قبلاً از طریق منابع آب زیرزمینی تأمین می‌شد می‌توان از این حجم آب استفاده کرد. علاوه بر سد خاکی به عنوان الگوی مناسب استحصال آب در منطقه روش‌هایی مثل پشته‌های هلالی و لوزی شکل در جاهایی مثل پارک‌های جنگلی چیتگر، وردآورد، لتمان، خرگوشدره مناسب است. و روش استفاده از چاه‌های جذب آب در صورت کنترل کیفی رواناب، توصیه می‌شود.

### منابع

- 1-Abdulla, F.A. and A.W. Al-Shareef, (2009): Roof rainwater harvesting systems for household watersupply in Jordan. *Desalination*, 1–3, pp: 195–207.
- 2-Angrill, S., A. Petit-Boix, T. Morales-Pinzón, A. Josa, J. Rieradevall, and X. Gabarrell, (2017): Urban rainwater runoff quantity and quality—A potential endogenous resource in cities? *Journal of environmental management*, 189, pp: 14-21.
- 3-Antich, A., H.R. Gobas, and J. Saigaonkar, (2002): The Santa Monica urban runoff recycling facility and the sustainable environment. *Journal of Stormwater*, 3, pp: 25–27.
- 4- Ashoorinezhad, A. M. S. (2000): Effect of flood extraction on the embankment on chemical properties and soil fertility, Master's thesis of Watershed Science and Engineering, Faculty of Natural Resources, University of Tehran (In persian)
- 5- Athanasiadis, K., H. Horn, and B. Helmreich, (2010): A field study on the first flush effect of copper roof runoff. *Journal of Corrosion Science*, 1, pp: 21-29.
- 6- Beard, J.B. and R.L. Green, (1994): The role of Turfgrassess in environmental protection and their benefits to humans. *Journal of Environmental Quality*, 3, pp: 452-460.
- 7- Brown, R. R., N. Keath, and T. H.F.Wong, (2009):

جدول مشاهده می‌کنید رقمی است که اختلاف فاحشی با مقدار آن در جدول مربوط به قبل از استفاده سیستم استحصال آب دارد. این اختلاف ناشی از کاهش حجم ۷،۰۵۰،۰۰۰ آب در فضای سبز است که البته حجم آب در نظر گرفته در سد خاکی ۸/۵ میلیون مترمکعب بوده که در اینجا آنچه در فضای سبز کاربرد داشته مورد ارزیابی قرار گرفته است.

در بررسی و مقایسه هزینه‌های آبیاری فضای سبز در وضعیت فعلی و بعد از به‌کارگیری سیستم استحصال رواناب این نتیجه حاصل می‌شود که هزینه‌ها در وضعیت کنونی ۱/۵۵ برابر (معادل ۴/۰۱۱/۸۹۲/۸۲۰ ریال در سال) بیش از زمان استفاده از سیستم استحصال رواناب بوده است. با توجه به محاسبات انجام شده در این بازه قیمت، هر یک مترمکعب آب در فضای سبز قبل از استفاده از سیستم استحصال رواناب ۷۵۲ ریال و در زمان استفاده از سیستم استحصال رواناب ۴۸۴ ریال می‌باشد.

باید متذکر شد که این محاسبه منهای تأثیرات تفرجگاهی، کاهش فشار بر منابع آب زیرزمینی، ایجاد تعادل اکولوژیکی است که در منطقه ایجاد می‌کند.

بر این اساس این نتیجه حاصل می‌شود که اجرای طرح‌های غیرمتمرکز نظیر استحصال آب باران علی‌الظاهر هزینه‌های بیشتری را نسبت به روش‌های جاری مهار و تصفیه متمرکز هرزآنها در پایین‌دست تحمیل می‌نمایند، ولی از نتایج روش‌های اخیر که تاکنون هم زیاد به اجرا درآمده می‌توان نتیجه گرفت که این روش‌ها پایدار نیست و عوارض منفی و غیرقابل کنترل زیادی به دنبال دارد. بنابراین چنانچه هزینه‌های ناشی از عوارض منفی روش‌های متمرکز و معمول در نظر گرفته شود، این جمع‌بندی حاصل می‌شود که طرح‌های استحصال می‌تواند اقتصادی و از هر حیث پایدارتر باشد، همچنین می‌توان با اجرای طرح‌های مشابه در نقاط مختلف شهر از خروج و آلودگی رواناب ناشی از بارندگی جلوگیری نمود و ضمن استفاده مؤثر از آن، مانع از افزایش پیامدهای منفی حاصل از شرایط فعلی گردید. نتایج مطالعه حاضر در راستای مطالعه میچل و همکاران [۱۸]، وانلیستا [۲۸] و قدسی [۱۱] مبنی بر تأثیر مثبت و اقتصادی استحصال رواناب و استفاده از آن در تأمین آب مورد نیاز فضای سبز شهری و همچنین جلوگیری از ایجاد هرزآب و وقوع سیل می‌باشد.

### نتیجه‌گیری

برای تعیین یک راهکار به منظور استحصال رواناب در مناطق شهری بسته به شرایط منطقه روش‌ها متفاوت است. روش پیشنهادی در منطقه ۲۲ شهرداری تهران سدخاکی است. با احداث سد خاکی در منطقه ۲۲ می‌توان با حجمی از آب استحصال شده از بارندگی مازاد بر نفوذ، نیاز آبی ۴۹/۷٪ از فضای سبز منطقه را که معادل ۹/۶۶ کیلومترمربع از مساحت فضای سبز منطقه است را تأمین کرد. بر این اساس حجم مورد نظر، تأمین‌کننده نیاز آبی پارک جنگلی



- 17- Leopold, L. B. (1968): Hydrology for urban land planning—A guidebook on the hydrologic effects of urban land use. Geological Survey Circular, 554. Washington D.C. 20242.
- 18- Mitchell, G., B.E. Hatt, A. Deletic, T.D. Fletcher, D.T. McCarthy, and M. Magyar, (2006): Integrated Stormwater Treatment and Harvesting: Technical Guidance Report. Institute for Sustainable Water Resources Report 06/05, Monash University.
- 19- Mitchell, V.G., A. Deletic, T.D. Fletcher, B.E. Hatt, and D.T. McCarthy (2007): Achieving multiple benefits from stormwater harvesting. *Journal of Water Science Technology*, 4, pp: 135–144.
- 20- Mosavinezhad, M. (2005): Planning and extraction of rain in the city (a case study of Semnan city), Iranian Irrigation and Water Engineering Association, pp: 793-799 (In persian).
- 21- Pfeifer, L.R. and E.M. Bennett, (2011): Environmental and social predictors of phosphorus in urban streams on the Island of Montreal, Quebec. *Journal of Urban Ecosystems*, 3, pp: 485-499.
- 22- Rose, S. and N. E. Peters, (2001): Effects of urbanization on streamflow in the Atlanta area (Georgia, USA): A comparative hydrological approach. *Journal of Hydrological Processes*, 15, pp: 1441–1457.
- 23- Roy J.W., G.W. Parkin, C. Wagner-Riddle, (2000): Water flow in unsaturated soil below turfgrass: observations and LEACHM (with EXPRES) predictions. *Soil Science Society of America Journal*, 1, pp: 86-93.
- 24- Soofi, m. (2009): Flood Management Model in Watershed of Shiraz, 5th Iranian Watershed Science and Engineering Conference, pp: 1-10 (In persian)
- 25- Tabatabai Yazdi, J., H. Tavakoli, A. A. Abasi, and M. Abasi, (2009): Rainwater harvesting, Optimum management of urban runoff (Case study of Mashhad city), First Urban Watershed Management Conference, Tehran University of Science and Technology, pp: 1-17 (In persian)
- 26- Tian Z., D.R. Su, and D.Y. Guan, (2008): Research on the utilization of rainwater runoff of city park green space. *Journal of Chinese Garden*, pp: 61-65.
- Urban water management in cities: Historical, current and future regimes. *Journal of Water Science and Technology*, 5, pp: 847–855.
- 8-Ghodsi, S.H., R. Kerachian, and Z. Zahmatkesh, (2016): A multi-stakeholder framework for urban runoff quality management: application of social choice and bargaining techniques. *Science of the Total Environment*, 550, pp: 574-585.
- 9- Ghisi, E., A. Montibeller, and R.W. Schmidt, (2006): Potential for potable water savings by using rainwater: an analysis over 62 cities in southern Brazil. *Journal of Build Environ*, 2, pp: 204–10.
- 10- Ghisi E., D.L.Bressan, and M. Martini, (2007): Rainwater tank capacity and potential for potable water savings by using rainwater in the residential sector of southeastern Brazil. *Journal of Build Environ*, 4, pp: 1654–66.
- 11- Ghodoosi, J. (2009): Analysis of Strategies, Facilities and Procedures for Water Extraction by Watershed Approach, First Urban Watershed Management Conference, Tehran University of Science and Technology, pp: 146-154 (In persian)
- 12- Graham A., J. Margaret Greenway, and C. Polson, (2012): The impact of water reuse on the hydrology and ecology of a constructed stormwater wetland and its catchment. *Journal of Ecological Engineering*, 47, pp:308– 315
- 13- Hou A.Z., L.H.Tang, and S.C. Zhang, (2007): Impacts of sunken lawn and storage pond on urban flood. *Journal of Beijing Water*, 2, pp: 42-44.
- 14- Kim H., M. Han, and JY. Lee, (2012): The application of an analytical probabilistic model for estimating the rainfall–runoff reductions achieved using a rainwater harvesting system, *Journal of Science of the Total Environment*, 424, pp: 213–218
- 15- Jang S., M. Cho, J. Yoon, S. Kim S, G. Kim, L. Kim, and H. Aksoy, (2007): Using SWMM as a tool for hydrologic impact assessment. *Journal of Desalination*, 1-3, pp: 344-356.
- 16- Jones M.P., and W.F. Hunt, (2010): Performance of rainwater harvesting systems in the southeastern United States. *Journal of Resour Conserv Recycl*, 10, pp: 623–9.

29-Ye S.G., H. Liu, and G.H. Meng, (2001): Analysis of rain storage and infiltration in sunkenlawn under the condition of designed storm. Journal of China Agricultural University, 6, pp: 53-58.

27-Urbonas B. and P. Stahre, (1993): Stormwater best management practices and detention for water quality, drainage and CSO management. Prentice Hall.

28-Wanielista M.P. (2007): Stormwater – an alternative water supply. In: World Environmental and Water Resources Congress 2007: Restoring Our Natural Habitat, Tampa, FL, USA. pp:1-14



## Abstract

## Analysis and Economical Justification of the Construction of Earth Dam to Urban Runoff Management in Other to Use in Green Spaces

N. Razmjooi<sup>1</sup>, M. Mahdavi<sup>2</sup>, H. Afkhami\*<sup>3</sup>, M. Mohseni Saravi<sup>4</sup> and B. Moetamed vaziri<sup>5</sup>

Received: 2018/03/11 Accepted: 2018/07/14

Runoff management in developing urban areas and susceptible to flood, is a major concern in urban management. Runoff harvesting methods, can reduce the risk of flooding, furthermore, these methods are useful for non-potable purposes. Region 22 is one of the most important centers of population of Tehran that urban development is growing, rapidly. Impermeable surfaces increases and proximity this urban basin, with two catchment, Kan and Vrduj, Has provided the conditions for floods. In this study, according to the specific topography of region 22, has been suggested the construction of earth dam for harvesting part of the basin runoff and use it for irrigation part of urban green spaces in this area. Finally, in order to justify this project, has been economic analysis in the previous (current situation) and after runoff harvesting (after construction of earth dam). According to the results, the best place for construction of earth dam, was detected in behind the hills of Chitgar park, Based on, Water Supply Requirements for irrigation of Forest Park of Cheetgar, Khargoosh dare and Nation Garden of Herbology, that these are located near the proposed earth dam site, Volume of the proposed earth dam, was estimated, at about 9.775.000 Cubic meters. The runoff harvesting system, can provide Water Requirements 49.7% of the total area of green space in this area, also, it can control, flood peak flow, 100-yr or more in. Finally analysis of the benefits and costs indicated, cost in current condition is 1.55 time (4.011.892.840 Rial in year) more after runoff harvesting.

**Keywords:** Urban hydrology, Runoff harvesting, Green spaces, Earth dam, Analysis of justification

1. MSc Graduate, Islamic Azad University. Sciences and Researches Branch, Tehran

2. Professor and Scientific Member of Natural Resources Faculty, Tehran University, Karaj

3. P.H.D, Faculty of Natural Resources, Yazd University, Tel:09135401054, Corresponding Author, Email: hamide.afkhami@gmail.com

4. Professor and Scientific Member of Natural Resources Faculty, Tehran University, Karaj

5. Scientific Member of Islamic Azad University. Sciences and Researches Branch, Tehran