



## تحلیل فرایند بارش - رواناب به منظور طراحی مخازن جمع آوری آب های سطحی برای توسعه فضای سبز شهری (مطالعه موردی: شهر تبریز)

پریسا صلواتی<sup>۱\*</sup>، احمد فاخری فرد<sup>۲</sup>، اسماعیل اسدی<sup>۳</sup> و سهیل اسدی<sup>۴</sup>

۱- نویسنده مسئول، دانش آموخته کارشناسی ارشد رشته مهندسی منابع آب دانشکده کشاورزی دانشگاه تبریز salavatip@yahoo.com

۲- استاد رشته مهندسی منابع آب دانشکده کشاورزی دانشگاه تبریز.

۳- استادیار رشته مهندسی منابع آب دانشکده کشاورزی دانشگاه تبریز.

۴- دانش آموخته کارشناسی ارشد رشته GIS دانشگاه علوم و تحقیقات تهران.

تاریخ پذیرش: ۹۴/۱۲/۱۰

تاریخ دریافت: ۹۳/۳/۱۷

### چکیده

روش های استحصال آب باران از جمله روش های مدیریتی به منظور مقابله و سازگاری با شرایط کم آبی است. مبنای این روش ها، اختصاص سطوحی از زمین به منظور جمع آوری نزولات، ذخیره سازی و استفاده مجدد از آن ها برای اهداف طراحی در زمان مورد نیاز می باشد. ضرورت اصلی از اجرای این طرح، این است که در هر بارش نسبتاً شدیدی، شاهد هستیم که گرفتگی معابر و اختلال در خدمات شهری و خسارت به خانه ها اتفاق می افتد که لازم است کلان شهری مثل تبریز به سیستمی مجهز باشد که خسارت های ناشی از هرگونه سیلاب را به حداقل برساند و همچنین بتواند از این آب های جاری، حداکثر بهره را ببرد. در پژوهش حاضر، به منظور افزایش دقت در استفاده از روش های برآورد رواناب، ارتباط با رودخانه میانی شهر و کاهش هزینه های انتقال، منطقه مورد مطالعه به چهار زیر حوضه تقسیم گردید. رواناب حاصل از سطوح، با روش سازمان حفاظت خاک آمریکا<sup>۱</sup> محاسبه گردید. حجم مخازن طراحی با روش تحلیل فراوانی به ازای فصول مختلف و با دوره بازگشت های مختلف تعیین گردید. مقایسه نیاز آبی ماهانه فضای سبز شهر تبریز با بارش، نشان می داد که مخازن طراحی شده قادرند حدود ۴۸ درصد از نیاز فضای سبز را تأمین کنند و باقی این نیاز می تواند از طریق آب های زیر زمینی و آب های ورودی به شهر تأمین شود.

کلید واژه ها: استحصال آب باران، تحلیل فراوانی، رواناب شهری، مخازن جمع آوری.

## Rain-runoff Frequency Analysis for Designing Reservoirs in order to Collect Surface Water for the Development of Urban Green Space ( Case Study: city of Tabriz)

P. Salavati<sup>1\*</sup>, A. Fakheri fard<sup>2</sup>, A. Asadi<sup>3</sup> and S.Asadi<sup>4</sup>

1\* - Corresponding Author, Graduated from the Water Resources Engineering Department of the Faculty of Agriculture, Tabriz University

2- Professor of Water Resources Engineering, Faculty of Agriculture, Tabriz University.

3- Assistant Professor of Water Resources Engineering, Faculty of Agriculture, Tabriz University.

4- Graduated from GIS University of Science and Research.

Received: 7 June 2014

Accepted: 29 February 2016

### Abstract

Rain water harvesting methods is the include of management methods in order to encounter and compatibility with the conditions of the lack of water. Base of these methods, is allocating surfaces of the earth in order to collecting, storing and reusing rain water for designing goals at the times needed. The necessity of the implementation of the plan is that We're seeing that in any

1- SCS (soil conservation service)

relatively intense rainfall occurs, The Eclipse occurs on roads and utilities and the damage to the House, that is required to a big city like Tabriz to have a macro system to reduce any damages caused by the floods and also be able to take maximum advantage of this current of water. In present research, In order to increase accuracy in using the methods of estimating runoff, facilitate the access and reduce the cost of transferring, the study area was divided to 4 sub drainage basin. Runoff derived of the four zones was computed with the SCS method. The volume of the reservoirs were designed with the use of the method of runoff frequency analysis for different seasons and with different return periods. Comparing green landscape monthly water requirement with rain water of Tabriz, clears that reservoirs are able to provide about 48 percent of the need for green landscape and the rest of the need, can be provided through the underground water and the incoming water supply to the city.

**Keywords:** Rain water harvesting, Frequency analysis, Urban runoff, Collecting reservoirs.

مناسب یک مخزن ذخیره ای آب را مورد بررسی قرار دادند. گوبل و همکاران<sup>۵</sup> (۲۰۰۶) معیارهای مناسب بودن خاک، مناسب بودن شیب و کاربری اراضی را در انتخاب مکان های مناسب استحصال آب باران در نظر گرفتند. همچنین آن ها عنوان کردند که مکان های هدایت رواناب باید کمتر در معرض خاک های حاوی فلزات سنگین و مواد آلوده کننده قرار گیرد. فتحی و سلاجقه (۱۳۸۸)، پارامترهای مؤثر در مکان یابی احداث مخازن را بررسی کردند و به این نتیجه رسیدند که فاکتورهای احداث مخازن بایستی به طور دقیق مورد بررسی قرار گیرد زیرا در غیر این صورت باعث هدر رفت هزینه ها می شوند. حبیب آبادی و همکاران (۱۳۸۹) با استفاده از نرم افزار سیستم اطلاعات جغرافیایی مناطق مستعد جمع آوری آب باران را در استان تهران با توجه به معیارهای محیطی و اقتصادی، مکان یابی کردند. تاج بخش و خدانشناس (۱۳۸۶)، روش های جدید کنترل سیلاب مانند ایجاد حوضچه های ذخیره و یا ابزارهای نفوذ را مورد بررسی قرار دادند. در تحقیقی که مهدوی و همکاران (۱۳۸۹) انجام دادند، نشان داد که افزایش سطوح نفوذ ناپذیر در شهرها به دلیل توسعه، باعث کاهش مقدار نفوذ پذیری شده و چون اغلب حوضه های آبریز شهری فاقد ایستگاه هیدرومتری هستند، تعیین پاسخ هیدرولوژیکی این حوضه ها با توجه به پیچیدگی سیستم زهکشی امری ضروری است. دستورانی (۱۳۹۱)، امکان استفاده از جاده ها و بزرگراه ها به عنوان سطوح عایق برای جمع آوری آب را بررسی کرد و به این نتیجه رسید که می توان با هدایت آب جمع آوری شده از سطح بزرگراه ها به مزارع اطراف، برای ایجاد درخت کاری و فضای سبز، به مقدار زیادی در استفاده از آب صرفه جویی کرد. اسماعیلی و دری (۱۳۹۴)، تاثیر جداسازی آب شرب از آب مصرفی فضای سبز در میزان کاهش مصرف آب و کاهش هزینه های شهرداری را بررسی کردند و به این نتیجه رسیدند که با اجرای این طرح در شهر قاین در مصرف آب حدود ۵۰ درصد صرفه جویی شد و از نظر هزینه، تنها در سه سال اول اجرای طرح (۹۰-۱۳۸۸) حدود ۲۲۹۸ میلیون ریال صرفه جویی صورت گرفته است.

### مقدمه

همگام با رشد جمعیت و شهرنشینی و محدودیت منابع آب، جستجو برای راه های نوین برای باز تولید آب ادامه دارد در امتداد این روند وارد کردن حجم بزرگی از آب به مناطق شهری برای استفاده های مختلف و خارج کردن حجم بزرگ تری به عنوان رواناب شهری همواره مورد سؤال بوده است. اگر رواناب شهری به جای در نظر گرفته شدن به عنوان فاضلاب، به عنوان یک منبع آب در نظر گرفته شود می تواند منشأ فواید بسیاری گردد (موسوی نژاد، ۱۳۹۰). این مسئله حجم مورد نیاز برای آب آبیاری را که یک محصول وارداتی به مناطق شهری است، به طور قابل توجهی کاهش خواهد داد. از آنجا که بارندگی حتی به مقدار کم تقریباً در همه جا اتفاق می افتد، قبل از اینکه به شکل تبخیر و سیلاب از دسترس خارج شود و یا در مسیر جریان خود دچار آلودگی گردد، به کمک روش های ذخیره باران، می تواند جمع آوری، هدایت، ذخیره و مورد استفاده قرار گیرد. با این روش می توان صرف نظر از وجود سایر منابع آبی یا دوری و نزدیکی به این منابع، آب مورد نیاز برای مصارف شرب، کشاورزی و صنعت را در نزدیکی همان مجموعه تأمین نمود و از طرف دیگر با مطالعه سیلاب های شهری و جمع آوری آن از خسارات احتمالی جلوگیری خواهد شد (بی نام، ۱۳۷۱). اهمیت موضوع استحصال آب باران سبب شده است که در بسیاری از کشورها از جمله ژاپن و فرانسه، تأسیساتی مدرن در این زمینه به وجود آید. نمسینوویز<sup>۱</sup> (۱۹۹۹)، مدیریت و استفاده بهینه از رواناب شهری به عنوان آب آبیاری را در سوئد بررسی کرد. او از روش های مبتنی بر سیستم اطلاعات جغرافیایی<sup>۲</sup> برای استفاده از رواناب به عنوان آب آبیاری در داخل شهرها و نیز تغذیه آبخوان های حوضه شهرها استفاده کرد. ویلاریال و دیکسون<sup>۳</sup> (۲۰۰۴)، مدیریت سیستم جمع آوری آب باران در یک منطقه مسکونی در نورکوپینگ<sup>۴</sup> سوئد را بررسی کردند. آن ها حسگرهایی در سیستم جمع آوری آب آن منطقه نصب کردند و بر اساس مدل های کامپیوتری، حجم

- 1- Niemczynowicz
- 2- GIS (geographic information systems)
- 3- Villarreal and Dixon
- 4- Norrköping

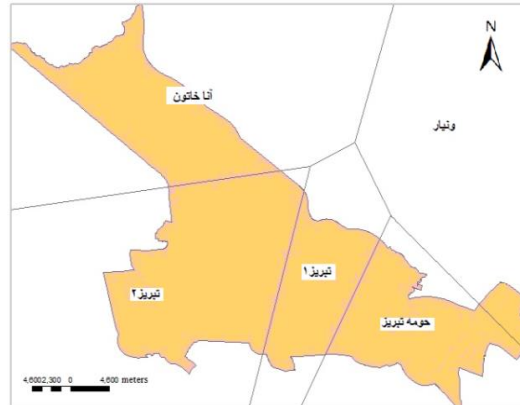
5- Göbel *et al.*



صلواتی و همکاران: تحلیل فرایند بارش - رواناب به منظور طراحی مخازن...

جدول ۱- پارامترهای آماری بارش متوسط ماهانه (برحسب میلی متر)

شهریور	مرداد	تیر	خرداد	اردیبهشت	فروردین	اسفند	بهمن	دی	آذر	آبان	مهر	
۹۴/۸۲	۶۴/۷۷	۷۱/۷۳	۲۴۴/۲۰	۲۸۷/۶۴	۲۸۰/۲۷	۲۶۲/۱۸	۱۳۵/۳۹	۳۱/۰۱	۱۹۵/۶۶	۳۰۶/۷۱	۲۱۳/۸۱	واریانس
۹/۷۳	۸/۰۴	۸/۴۶	۱۵/۶۲	۱۹/۶۸	۱۹/۵	۱۶/۱۹	۱۱/۶۳	۱۱/۴۴	۱۳/۹۸	۱۷/۵۱	۱۴/۶۲	انحراف معیار
۱۰/۵۱	۸/۷۶	۱۰/۴۸	۲۳/۱۴	۴۲/۲۲	۴۱/۷۳	۳۲/۹۵	۲۳/۶۱	۲۰/۸۲	۲۳	۲۸/۸۸	۱۷/۶۹	رژیم ماهانه
شهریور	مرداد	تیر	خرداد	اردیبهشت	فروردین	اسفند	بهمن	دی	آذر	آبان	مهر	
۹۳/۸۱	۳۶/۸۴	۹۰/۴۵	۴۷۷/۲۵	۷۰۷/۲۷	۹۶۷/۶۶	۵۷۶/۹۱	۱۹۷/۳۴	۱۹۸/۰۹	۳۳۹/۳۵	۵۰۹/۹۵	۳۹۱/۰۶	واریانس
۹/۶۸	۶/۰۶	۹/۵۱	۲۱/۸۴	۲۶/۵۹	۳۱/۱۰	۲۴/۰۱	۱۴/۰۴	۱۴/۰۷	۱۸/۴۲	۲۲/۵۸	۱۹/۷۷	انحراف معیار
۶/۴۹	۳/۵۸	۶/۶۲	۲۴/۵۷	۴۸/۸۷	۴۸/۸۸	۳۶/۲۳	۲۲/۶۷	۲۰	۲۳/۰۶	۲۸/۷۸	۱۵/۱۶	رژیم ماهانه
شهریور	مرداد	تیر	خرداد	اردیبهشت	فروردین	اسفند	بهمن	دی	آذر	آبان	مهر	
۴۵/۱	۱۷/۸۷	۳۴/۲۷	۱۷۲/۳۳	۵۰۵/۱	۲۵۷/۵۹	۱۸۶/۴۸	۱۲۸/۳۱	۷۴/۶۷	۱۱۸/۵۸	۲۵۹/۳۳	۱۷۴/۲۵	واریانس
۶/۷۱	۴/۲۲	۵/۸۵	۱۳/۱۲	۲۲/۴۷	۱۶/۰۴	۱۳/۶۵	۱۱/۳۲	۸/۶۴	۱۰/۸۸	۱۶/۱	۱۳/۲	انحراف معیار
۷/۶۳	۵/۹۶	۷/۱۶	۱۷/۶۵	۳۹/۴۸	۳۳/۷۲	۲۳/۷۷	۱۹	۱۵/۱	۱۹/۹۲	۲۳	۱۴/۶۶	رژیم ماهانه
شهریور	مرداد	تیر	خرداد	اردیبهشت	فروردین	اسفند	بهمن	دی	آذر	آبان	مهر	
۴۱/۰۳	۲۰/۳۱	۴۲/۱۲	۱۵۳/۹۲	۴۲۷/۵۸	۲۵۰/۷۸	۱۶۴/۱۲	۱۱۸/۶۱	۸۷/۳۸	۱۳۳/۳۹	۲۳۳/۷۷	۱۵۳/۰۲	واریانس
۶/۴	۴/۵	۶/۴۹	۱۲/۴	۲۰/۶۷	۱۵/۸۳	۱۲/۸۱	۱۰/۸۹	۹/۳۴	۱۱/۵۴	۱۵/۲۸	۱۲/۳۷	انحراف معیار
۸/۰۵	۶/۷۴	۸/۱۶	۱۷/۲۸	۳۸/۲۸	۳۳/۵۶	۲۳/۷۵	۱۸/۹۳	۱۵/۶۴	۲۰/۸۴	۲۳/۱۱	۱۴/۹	رژیم ماهانه



شکل ۳- نقشه بخش بندی شهر تبریز

جدول ۲- طبقه بندی خاک حوضه بر حسب نفوذپذیری

گروه	حداقل نفوذپذیری (میلی متر در ساعت)
A	۷/۵ - ۱۱/۵
B	۳/۸ - ۷/۵
C	۱/۳ - ۳/۸
D	۰ - ۱/۳

رطوبتی حوضه و رده بندی خاک آن تعیین می شود. از نظر قابلیت نفوذپذیری، وضعیت خاک حوضه در دو گروه نسبتاً نفوذپذیر (B) و دارای مواد ارگانیک (C) طبقه بندی شد. با توجه به نقشه کاربری اراضی، منطقه مورد مطالعه به سه گروه پوشش خاکی، پوشش آسفالت و پوشش گیاهی تقسیم گردیده و سپس مقدار CN مشخص گردید.

پس از تعیین ضرایب CN و S مقدار رواناب طبق رابطه زیر حساب شده است:

$$Q = \frac{(P - 0.2S)^2}{P + 0.8S} \quad (3)$$

در این رابطه، Q ارتفاع رواناب حاصله، P مقدار بارش و S ضریب نکه داشت سطحی است (در این تحقیق، فقط فضاهایی در محاسبات مربوط به ایجاد رواناب در نظر گرفته شده اند که امکان ورود رواناب آن ها به خیابان ها و فضاهای باز شهری وجود دارد). اطلاعات کاربری اراضی و وضعیت زمین با استفاده از تصاویر ماهواره ای و اطلاعات مکانی نرم افزار ArcGIS (شامل نوع، موقعیت و مساحت کاربری های سطح شهر) تهیه شده است. در شکل (۴)، براساس اطلاعات نرم افزار GIS، سطوح مربوط به کاربری ها در هر بخش تعیین شده است.

در جدول (۱) برای داده های بارندگی هر بخش پارامترهای آماری واریانس، انحراف معیار و رژیم ماهیانه محاسبه شد و از این داده ها برای مدل بندی های بعدی در نرم افزار متلب استفاده می شود. حجم بارش های ناحیه بندی شده هر بخش با استفاده از روش منحنی های تیسن و رابطه (۱) محاسبه گردید:

$$\frac{\sum_{i=1}^n P_i \cdot A_i}{\sum_{i=1}^n A_i} \quad (1)$$

در این رابطه،  $P_i$  بارش مربوط به ایستگاه  $i$  ام و  $A_i$  مساحتی از هر بخش که توسط آن ایستگاه مطالعه می شود را نشان می دهد.

با استفاده از آمار بارش ماهانه و نقشه های کاربری اراضی، مقادیر رواناب هر بخش، به روش مورد استفاده در سازمان حفاظت خاک آمریکا و با استفاده از روابط زیر محاسبه گردید:

$$S = \frac{1000}{CN} - 10 \quad (2)$$

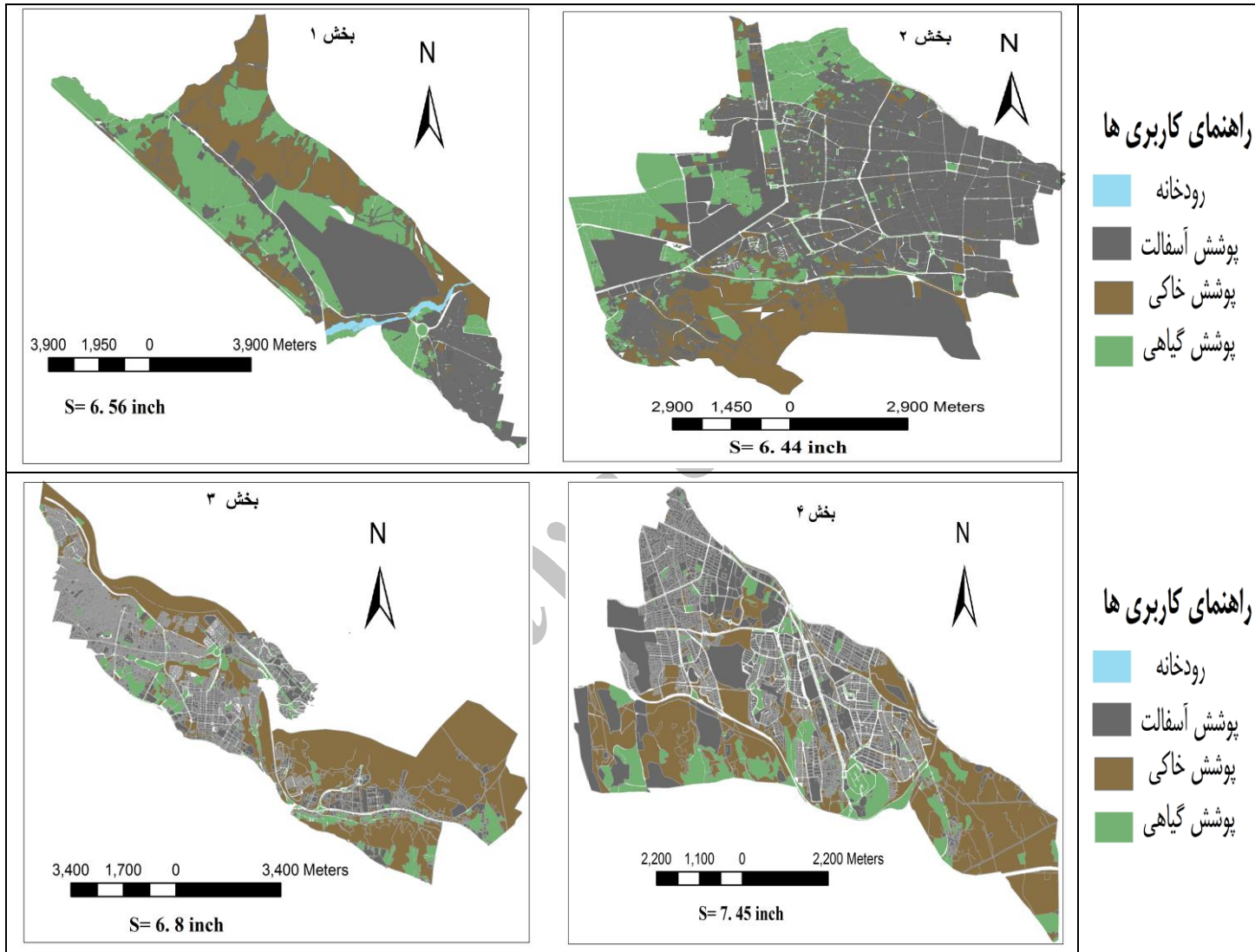
در این رابطه مقدار  $S^1$ ، حداکثر قابلیت نگهداشت سطحی بعد از شروع رواناب است که بر حسب اینچ محاسبه می شود.

مقدار شماره منحنی است که بستگی به کاربری اراضی دارد و با استفاده از اطلاعات جدول (۲) و با توجه به وضعیت

2- Runoff Curve number

1- Maximum potential of retention after runoff starts

صلواتی و همکاران: تحلیل فرایند بارش- رواناب به منظور طراحی مخازن...



شکل ۴- نقشه های کاربری اراضی محدوده شهر تبریز



با توجه به جدول (۴)، مقدار شماره منحنی در هر منطقه، با توجه به وضعیت خاک و رطوبت آن در فصل‌های مختلف مقدار متفاوتی به دست آمد که باعث شد ضریب نگهداشت سطحی در فصل‌های مختلف متفاوت باشد که در پایان از این مقادیر، برای هر بخش، میانگین گرفته شده و محاسبات براساس آن انجام شد.

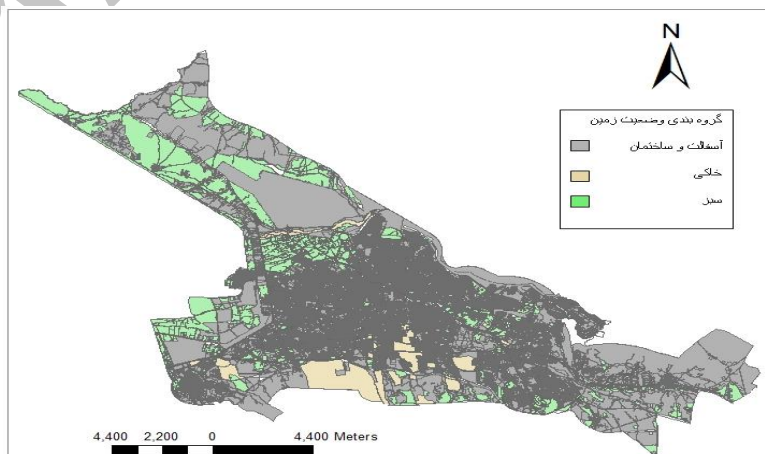
در جدول (۳) با استفاده از امکانات نرم افزار GIS مساحت مربوط به پوشش گیاهی، پوشش خاکی و پوشش آسفالت در هر یک از بخش‌ها محاسبه شد که نقشه مربوط آن در شکل (۵) آمده است و سپس بر اساس این مساحت‌های به دست آمده و با استفاده از رابطه (۲) و جدول (۲)، مقدار شماره منحنی و ضریب نکه داشت سطحی برای هر بخش به صورت جدول (۴) به دست آمد.

**جدول ۳- مساحت مربوط به کاربری های هر بخش**

بخش	مساحت پوشش گیاهی (کیلومتر مربع)	مساحت پوشش خاکی (کیلومتر مربع)	مساحت پوشش آسفالت (کیلومتر مربع)
۱	۱۲۶/۵۰۲۵۷	۳۳۸/۰۵۰۰۷	۶۸۸/۱۹۰۸۹
۲	۱۶۲/۲۷۱۹۴	۳۴۳/۵۵۹۹۸	۱۸۲۷/۷۵۳۸
۳	۱۶۸/۱۶۶۶۱	۴۲۶/۶۷۳۹۵	۱۳۷۴/۶۳۵۹
۴	۱۱۷/۳۰۴۲۶	۴۲۰/۴۶۴۲۶	۶۶۴/۴۴۲۰۵

**جدول ۴- جدول مقدار متوسط شماره منحنی و ضریب نکه داشت سطحی**

متوسط شماره منحنی بهار	متوسط شماره منحنی تابستان	متوسط شماره منحنی پاییز	متوسط شماره منحنی زمستان
۸۱/۱	۸۱/۱	۸۱/۱۹	۸۱/۲
ضریب نکه داشت سطحی	ضریب نکه داشت سطحی	ضریب نکه داشت سطحی	ضریب نکه داشت سطحی
۵/۸۳	۵/۸۳	۵/۷۹	۵/۷۸
متوسط شماره منحنی بهار	متوسط شماره منحنی تابستان	متوسط شماره منحنی پاییز	متوسط شماره منحنی زمستان
۸۰/۹۵	۸۰/۹۵	۸۱/۲۲	۸۱/۲۶
ضریب نکه داشت سطحی	ضریب نکه داشت سطحی	ضریب نکه داشت سطحی	ضریب نکه داشت سطحی
۵/۸۸	۵/۸۸	۵/۷۷	۵/۷۶
متوسط شماره منحنی بهار	متوسط شماره منحنی تابستان	متوسط شماره منحنی پاییز	متوسط شماره منحنی زمستان
۸۰/۷۹	۸۰/۷۹	۸۰/۹۷	۸۱
ضریب نکه داشت سطحی	ضریب نکه داشت سطحی	ضریب نکه داشت سطحی	ضریب نکه داشت سطحی
۵/۹۴	۵/۹۴	۵/۸۷	۵/۸۶
متوسط شماره منحنی بهار	متوسط شماره منحنی تابستان	متوسط شماره منحنی پاییز	متوسط شماره منحنی زمستان
۸۱/۸۹	۸۱/۸۹	۸۲/۷	۸۲/۸۱
ضریب نکه داشت سطحی	ضریب نکه داشت سطحی	ضریب نکه داشت سطحی	ضریب نکه داشت سطحی
۵/۵۲	۵/۵۲	۵/۲۲	۵/۱۸



**شکل ۵- نقشه وضعیت پوشش زمین شهر تبریز**

جدول ۵- پارامترهای سری فوریه برای بخش های چهارگانه

بخش چهار	بخش سه	بخش دو	بخش یک	پارامترها
۷/۵۰۳	۷/۱۵۶e+۰۰۹	۴/۶۰۷e+۰۰۸	۴/۴۹۷e+۰۱۱	a <sub>0</sub>
-۳/۶۸۳	-۱/۰۷۷e+۰۱۰	-۶/۷۴۹e+۰۰۸	-۷/۲۴۷e+۰۱۱	a <sub>1</sub>
۱/۲۶۷	-۵/۲۳۲e+۰۰۹	-۳/۷۵۳e+۰۰۸	۱/۹۵۳e+۰۱۱	b <sub>1</sub>
-۱/۹۷	۴/۲۷۸e+۰۰۹	۲/۳۶۹e+۰۰۸	۳/۷۲۴e+۰۱۱	a <sub>2</sub>
-۳/۶۴۶	۵/۴۴e+۰۰۹	۳/۸۱۳e+۰۰۸	-۲/۱۶۵e+۰۱۱	b <sub>2</sub>
۰/۵۹۷۱	-۵/۶۲۴e+۰۰۸	-۸/۵۰۸e+۰۰۶	-۱/۱۴۵e+۰۱۱	a <sub>3</sub>
۰/۲۱۰۲	-۲/۵۸۵e+۰۰۹	-۱/۷۳e+۰۰۸	۱/۱۵۵e+۰۱۱	b <sub>3</sub>
-۰/۳۱۵۶	-۱/۴۲۲e+۰۰۸	-۱/۷۶۷e+۰۰۷	۱/۸۰۸e+۰۱۰	a <sub>4</sub>
۱/۲۶۵	۵/۸۶۸e+۰۰۸	۳/۵۹۵e+۰۰۷	-۳/۱۷۳e+۰۱۰	b <sub>4</sub>
-۰/۵۰۹۸	۳/۹۷۶e+۰۰۷	۳/۴۶e+۰۰۶	-۹/۳۳۶e+۰۰۸	a <sub>5</sub>
-۰/۱۷۳	-۴/۸۳۳e+۰۰۷	-۲/۴۱۳e+۰۰۶	۳/۵۸e+۰۰۹	b <sub>5</sub>
-۰/۵۴۳۵	۰/۰۷۰۴۴	۰/۰۸۲۲۳	-۰/۰۴۲۰۲	w
۱	۰/۹۹۸	۰/۹۹۸۸	۰/۹۹۸۵	R <sub>2</sub>

$$R_T = f(x) + \sigma_d K \quad (۴)$$

که در این رابطه،  $R_T$  مقادیر رواناب به ازای دوره های بازگشت مختلف،  $\sigma_d$  انحراف معیار داده های آنومالی رواناب ماهانه،  $f(x)$  مقادیر رژیم حاصل از مدل و  $K$  همان  $Z$  توزیع نرمال می باشد.

رژیم نرمال ماهانه به عنوان بخش جبری سیستم بارش- رواناب تلقی شده و رابطه (۴) بر آن مبنا ارائه می شود که شامل دو مؤلفه جبری و تصادفی می باشد که بخش جبری آن مدل فوریه می باشد که بر رژیم مطابقت داده شده است. علت انتخاب مدل فوریه دقت عمل بالای آن جهت مدل بندی بخش جبری می باشد. رابطه (۴) اساساً رابطه کلی هیدرولوژی می باشد با این تفاوت که به جای کاربرد میانگین، رژیم نرمال بخش جبری آن را تشکیل می دهد.

### نتایج و بحث

داده های رواناب به دست آمده، مورد بررسی قرار گرفته و سپس تبعیت آن ها از توزیع نرمال، مورد تایید قرار گرفت و سپس داده-ها در نرم افزار متلب مدل بندی شدند که بهترین مدل حاصله برای داده های تمامی بخش ها به صورت سری فوریه ۵ مطابق رابطه (۵) (با مقدار  $R^2 < ۰/۹$ ) به دست آمده است که پارامترهای آن برای هر بخش در جدول (۵) آمده است.

$$f(x) = a_0 + a_1 * \cos(x * w) + b_1 * \sin(x * w) + a_2 * \cos(2 * x * w) + b_2 * \sin(2 * x * w) + a_3 * \cos(3 * x * w) + b_3 * \sin(3 * x * w) + a_4 * \cos(4 * x * w) + b_4 * \sin(4 * x * w) + a_5 * \cos(5 * x * w) + b_5 * \sin(5 * x * w)$$

(۵)

### تعیین مکان مناسب ساخت مخازن

مهم ترین پارامترهای تأثیرگذار در طراحی مخازن عبارتند از کاربری زمین، شیب بندی زمین و جهت شیب. از نظر کاربری زمین، مکان-هایی برای احداث مخازن در نظر گرفته می شوند که امکان احداث مخزن در آن ها وجود داشته باشد و نیازی به تخریب کاربری های مهم مانند فضاهای بهداشتی، آموزشی و نظیر آن ها نباشد. از نظر شیب بندی، بهترین مکان ها برای احداث مخازن، مکان هایی هستند که در پایین ترین خطوط تراز واقع شده باشند و رواناب ها به صورت ثقلی به این مکان ها وارد شوند و نیاز کمتری به پمپاژ وجود داشته باشد و از نظر جهت شیب، مخازن باید در جهت شیب های طبیعی زمین ساخته شوند زیرا در این صورت، بهترین حالت جمع آوری رواناب امکان پذیر خواهد بود (فتحی و سلاجقه، ۱۳۸۸).

### تحلیل فراوانی داده ها و تعیین حجم مخازن

برای تعیین حجم مخازن، تحلیل فراوانی داده های رواناب به شرح زیر صورت گرفت.

ابتدا آمار آنومالی (رژیم ماهانه رواناب ها حساب شده و سپس از داده های رواناب کسر می شود) به دست آمده و سپس توزیع مناسب این آمار به دست می آید و در صورتی که داده ها از توزیع نرمال تبعیت نکنند، باید تصحیح نرمال شوند.

سپس برای اعداد رژیم های ماهانه هر یک از بخش ها (رژیم ۱۲ ماهه) در نرم افزار متلب مدل بندی انجام می شود و بهترین مدل مدلی که مقدار ضریب تعیین ( $R^2$ ) آن بیشترین مقدار باشد) انتخاب شده و سپس از رابطه حاصله، اعداد رژیم حاصل از مدل (اعداد جدیدی برای رژیم که از رابطه حاصل از مدل به دست می آیند) تعیین می شوند و سپس مقادیر رواناب ها به ازای دوره-های بازگشت مختلف از طریق رابطه (۴) محاسبه می شوند.

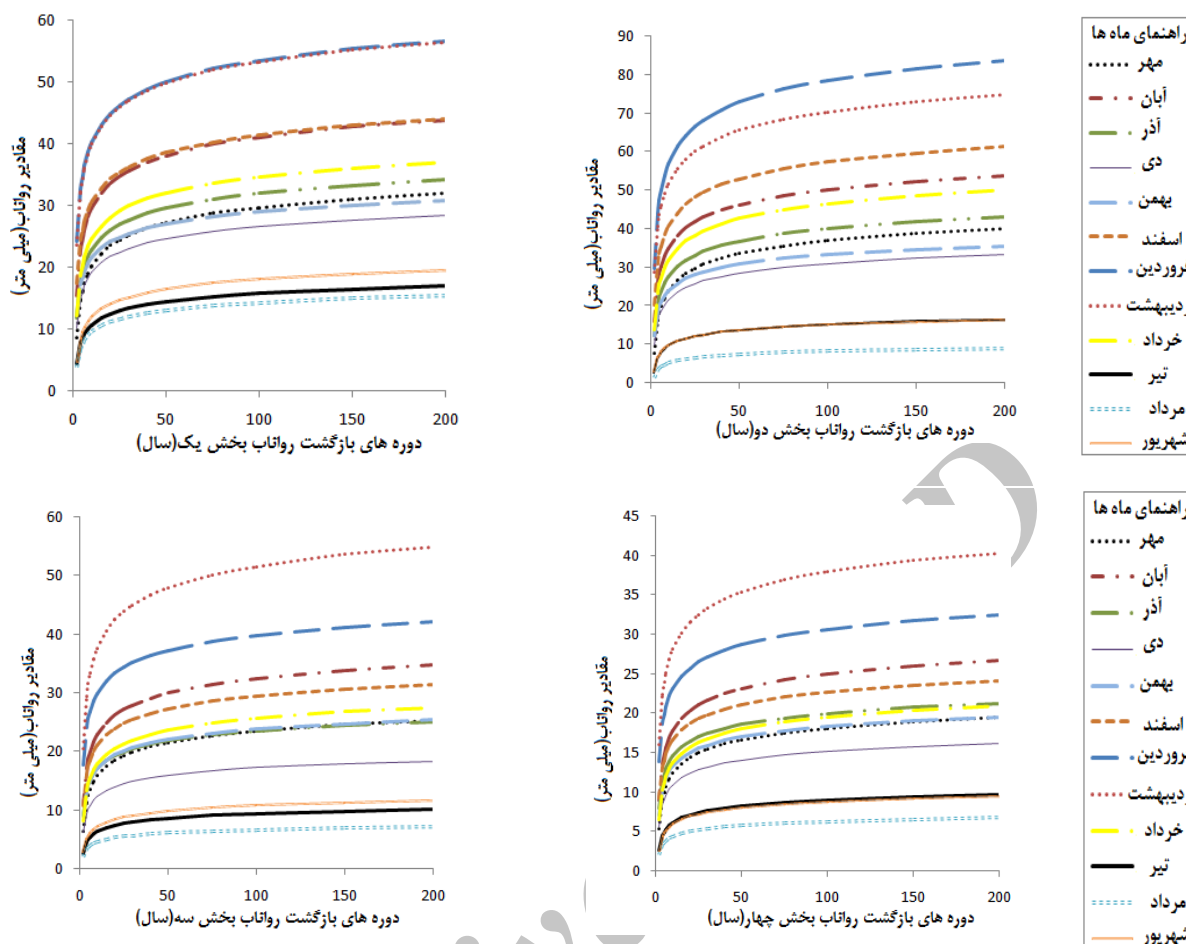
1- Coefficient of determination



جدول ۶- پارامترهای توزیع رواناب (بر حسب میلی متر)

شهریور	مرداد	تیر	خرداد	اردیبهشت	فروردین	اسفند	بهمن	دی	آذر	آبان	مهر	
۴/۷۲	۳/۷۵	۴/۵۹	۱۲/۱۱	۲۴	۲۳/۶۹	۱۷/۹۳	۱۲/۰۵	۱۰/۳۳	۱۱/۷۷	۱۵/۴۶	۸/۷	رژیم
۳۲/۹۵	۲۰/۶۲	۲۳/۲۶	۹۲/۸۷	۱۶۲/۱۴	۱۵۸/۸۴	۱۰۶	۵۱/۴۱	۴۹/۸۸	۷۵/۱	۱۲۱/۶۳	۸۱/۶۵	وارینس
۵/۷۴	۴/۵۴	۴/۸۲	۹/۶۳	۱۲/۷۳	۱۲/۶	۱۰/۲۹	۷/۱۷	۷/۰۶	۸/۶۶	۱۱/۰۲	۹/۰۳	انحراف معیار
۴/۷۲	۳/۷۶	۴/۵۵	۱۲/۰۱	۲۳/۶۶	۲۴/۱۶	۱۷/۴۶	۱۲/۳۹	۱۰/۱۶	۱۱/۸۳	۱۵/۴۶	۸/۷	رژیم حاصل از مدل
شهریور	مرداد	تیر	خرداد	اردیبهشت	فروردین	اسفند	بهمن	دی	آذر	آبان	مهر	
۳/۰۷	۱/۴۶	۲/۸۸	۱۳/۵۳	۲۹/۲۴	۲۹/۲۷	۲۰/۸	۱۱/۸۹	۱۰/۱۹	۱۲/۳۳	۱۶/۱۳	۷/۷۴	رژیم
۲۷/۰۸	۸/۵۹	۲۸/۵۹	۱۹۸/۲۸	۳۱۹/۳۹	۴۳۸/۵	۲۵۵/۱۹	۸۱/۷۵	۸۱/۹۴	۱۴۱/۲۹	۲۱۴/۵۶	۱۵۸/۰۲	وارینس
۵/۲	۲/۹۳	۵/۳۴	۱۴/۰۸	۱۷/۸۷	۲۰/۹۴	۱۵/۹۷	۹/۰۴	۹/۰۵	۱۱/۸۸	۱۴/۶۴	۱۲/۵۷	انحراف معیار
۳/۰۷	۱/۴۶	۲/۸۱	۱۳/۷۴	۲۸/۸۱	۲۹/۸۶	۲۰/۲	۱۲/۳۲	۹/۹۸	۱۲/۴	۱۶/۱۳	۷/۷۴	رژیم حاصل از مدل
شهریور	مرداد	تیر	خرداد	اردیبهشت	فروردین	اسفند	بهمن	دی	آذر	آبان	مهر	
۲/۸۷	۲/۰۴	۲/۶۱	۸/۱۱	۲۰/۷۸	۱۷/۲۶	۱۱/۲۸	۸/۶۲	۶/۴۴	۹/۱۶	۱۱/۰۱	۶/۴۲	رژیم
۱۱/۶۷	۳/۹۸	۸/۷۸	۵۵/۸۲	۱۷۹/۲۲	۹۰/۲۴	۶۳/۹۷	۴۰/۶۴	۲۲/۲۳	۳۷/۷۹	۸۵/۳۱	۵۴/۰۱	وارینس
۳/۴۱	۱/۹۹	۲/۹۶	۷/۴۷	۱۳/۳۸	۹/۴۹	۷/۹۹	۶/۳۷	۴/۷۱	۶/۱۴	۹/۲۳	۷/۳۴	انحراف معیار
۲/۸۷	۲/۰۴	۲/۵۵	۸/۲۸	۲۰/۴۴	۱۷/۷۲	۱۰/۸۱	۸/۹۶	۶/۲۷	۹/۲۲	۱۱	۶/۴۲	رژیم حاصل از مدل
شهریور	مرداد	تیر	خرداد	اردیبهشت	فروردین	اسفند	بهمن	دی	آذر	آبان	مهر	
۲/۶۲	۲/۰۷	۲/۶۴	۶/۵۹	۱۶/۰۸	۱۳/۸۹	۹/۲۳	۷/۱	۵/۶۵	۸	۹/۰۴	۵/۴	رژیم
۶/۹۷	۳/۳۱	۷/۵۲	۳۰/۸	۸۸/۴۷	۵۲	۳۳/۳۲	۲۳/۳۹	۱۶/۷۸	۲۶/۴۷	۴۷/۰۳	۲۹/۷۹	وارینس
۲/۶۴	۱/۸۲	۲/۷۴	۵/۵۴	۹/۴	۷/۲۱	۵/۷۷	۴/۸۳	۴/۰۹	۵/۱۴	۶/۸۵	۵/۴۵	انحراف معیار
۲/۶۲	۲/۰۷	۲/۶۴	۶/۵۹	۱۶/۰۸	۱۳/۸۹	۹/۲۳	۷/۱	۵/۶۵	۸	۹/۰۴	۵/۴۲	رژیم حاصل از مدل

صلواتی و همکاران: تحلیل فرایند بارش - رواناب به منظور طراحی مخازن...



شکل ۶- نمودارهای مقادیر رواناب ماهانه هر یک از بخش‌ها به ازای دوره‌های بازگشت مختلف

جدول ۷- بیشترین مقادیر رواناب سالانه با دوره بازگشت ۲۵ سال در هر بخش

حجم (میلیون متر مکعب)	ارتفاع رواناب (متر)	ارتفاع رواناب (میلی متر)	بخش
۳/۴۹۷۹۳۸	۰/۰۴۶۲۲	۴۶/۲۲۱۴	بخش یک
۵/۱۸۵۳۵۳	۰/۰۶۶۵۱	۶۶/۵۱۵۱	بخش دو
۲/۴۶۴۶۳۵	۰/۰۴۳۸۷۳	۴۳/۸۷۳۱	بخش سه
۱/۳۸۳۱۷۱	۰/۰۳۲۵۴۷	۳۲/۵۴۷۲	بخش چهار

سیلاب‌ها را جمع‌آوری کنند. برای این کار، در بین رواناب‌های سالانه با دوره بازگشت ۲۵ سال، بیشترین مقدار به عنوان حجم مخزن در نظر گرفته می‌شود.

#### تعیین مکان‌های مناسب برای ساخت مخزن

شکل‌های (۱۰-۷)، نشان می‌دهند که پس از تعیین وضعیت کاربری‌های هر منطقه، پارامترهای تأثیرگذار در مکان‌یابی ساخت مخازن با استفاده از ویژگی‌های تحلیلی نرم‌افزار ArcGIS بررسی شده و سپس بهترین مکان‌ها انتخاب می‌شوند.

منحنی‌های تعیین رواناب با دوره‌های بازگشت مختلف، نه تنها برای تعیین حجم مخازن کاربرد دارند، بلکه می‌توانند از نظر مدیریت منابع آب و به ویژه در خصوص تحلیل هیدرولوژیکی شهر تبریز از نظر تولید آب در ماه‌های مختلف سال اهمیت ویژه‌ای دارند و خواص هیدرولوژیکی ماه‌ها و فصول را به خوبی نشان می‌دهند. حجم مخازن جمع‌آوری رواناب با توجه به نمودارهای فوق تعیین می‌شوند. مخازن طراحی شده برای شهرها که با هدف جمع‌آوری رواناب و سیلاب شهرها و آبیاری فضاهای سبز و تأمین

آب شرب استفاده می‌شوند، معمولاً به صورت برون‌سالی و با دوره بازگشت ۲۵ سال طراحی می‌شوند تا هم جوابگوی جمع‌آوری رواناب‌های سالانه باشند و هم بتوانند رویدادهای نادر نظیر

آب مورد نیاز درختان نیز تأمین می شود. با توجه به این که آبیاری مناسب گیاه چمن، آبیاری بارانی است و راندمان مناسب آبیاری بارانی حدود ۷۰ درصد است، بنابراین حجم ناخالص نیاز آبی فضاهای سبز، طبق رابطه (۷) محاسبه می شود:

$$V_D = \frac{V_d}{0.7} \quad (7)$$

در رابطه (۷)،  $V_D$ ، حجم نیاز ناخالص آبیاری فضاهای سبز و  $V_d$ ، حجم نیاز خالص آبیاری فضاهای سبز است. در شکل های (۱۱-۱۴) نمودارهای مقایسه مقدار بارش هر بخش و نیاز خالص آبیاری آن برای ماه های مختلف آورده شده است.

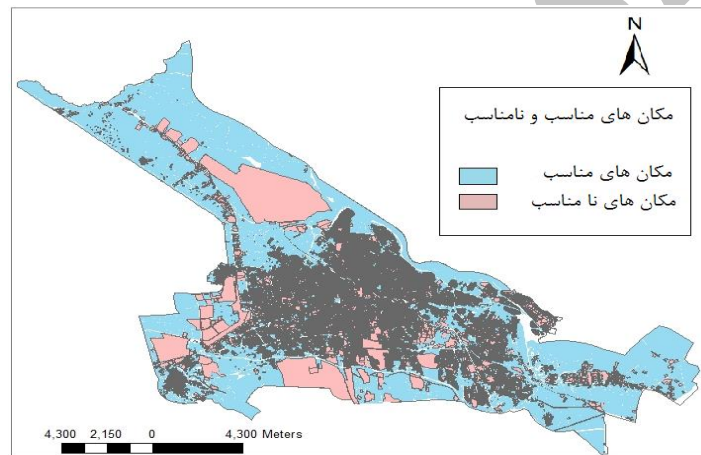
### برآورد میزان نیاز آبی گیاهان

نیاز آبی گیاهان با استفاده از رابطه فائو- پنمن- مانتیث برای شهر تبریز، تعیین و سپس برای هر بخش حجم بارشی که به فضاهای سبز باریده شده، محاسبه و حجم نیاز آبی فضاهای سبز طبق رابطه (۶) تعیین شد:

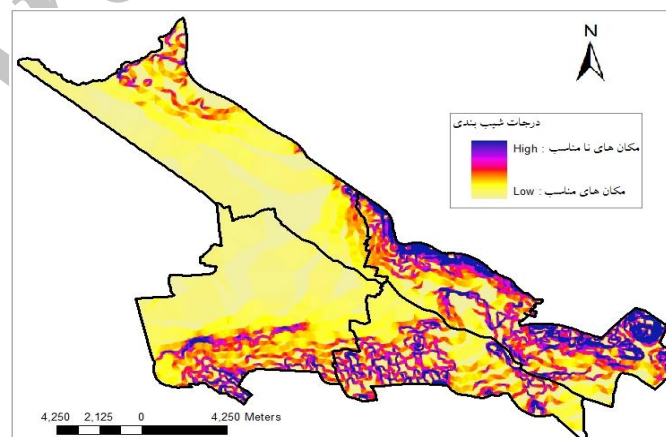
$$V_d = A_i \cdot E_{vp} \quad i = (1, 2, 3, 4) \quad (6)$$

در رابطه (۶)،  $V_d$ ، حجم نیاز آبی فضاهای سبز،  $A_i$  سطح فضاهای سبز هر بخش و  $E_{vp}$  نیاز آبی فضاهای سبز است.

چون فرض می شود کلیه فضاهای سبز پوشیده از چمن است و نیاز آبی چمن بیش از درخت است، بنابراین با تأمین آب مورد نیاز چمن،

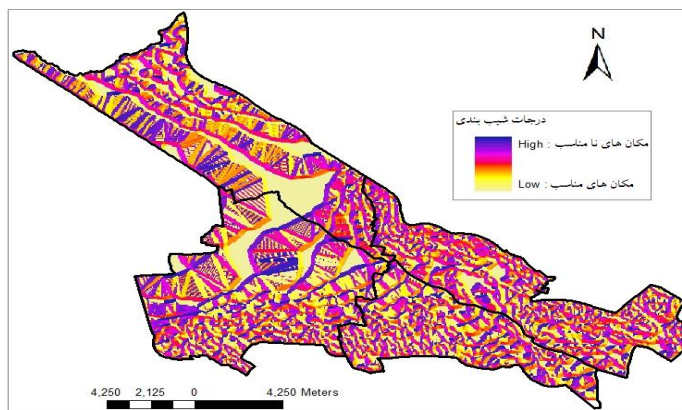


شکل ۷- مکان یابی احداث مخازن از نظر کاربری های شهری در منطقه مورد مطالعه

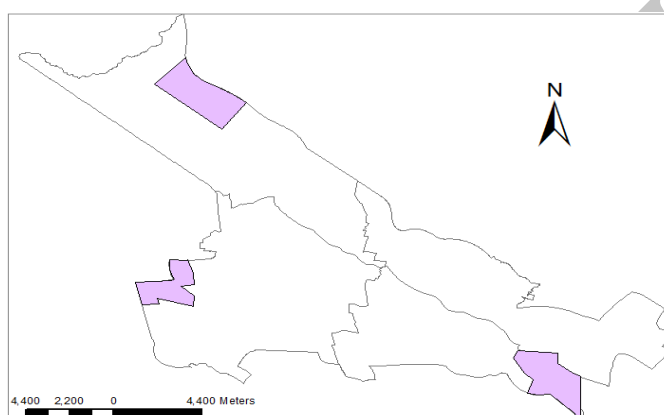


شکل ۸- مکان یابی احداث مخازن از نظر شیب بندی در منطقه مورد مطالعه

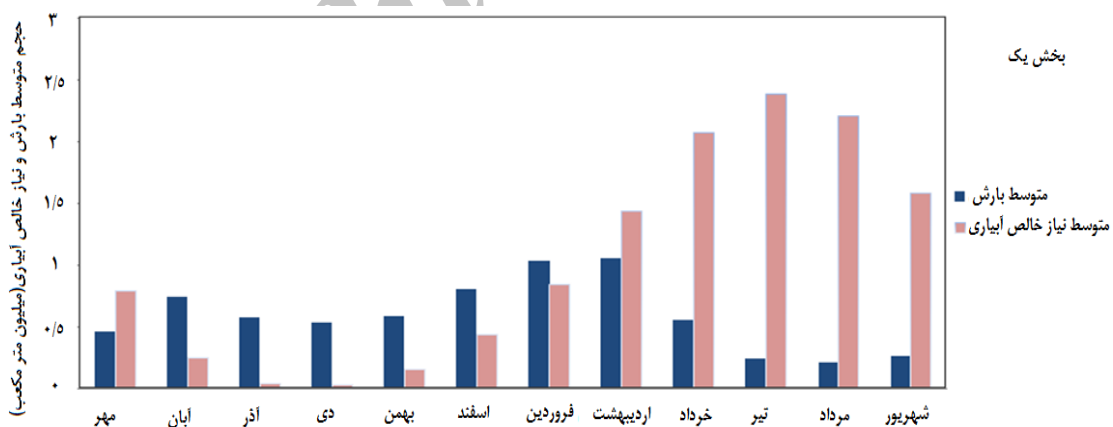
صلواتی و همکاران: تحلیل فرایند بارش - رواناب به منظور طراحی مخازن...



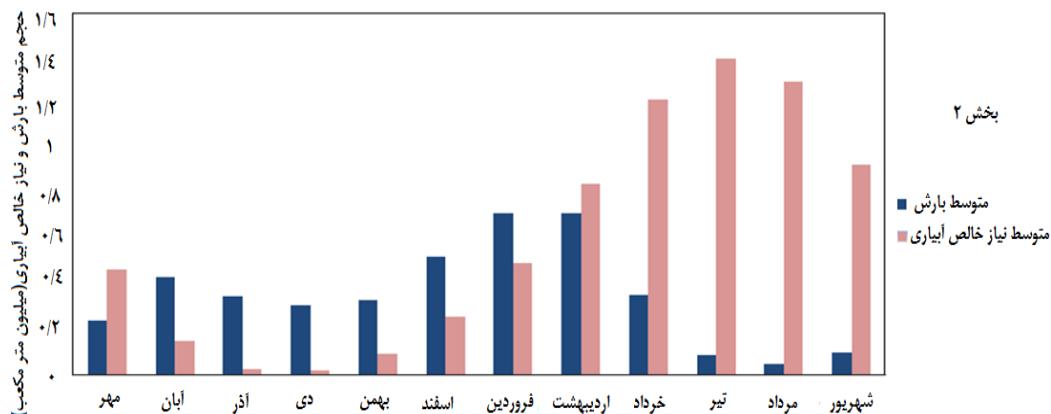
شکل ۹- مکان یابی احداث مخازن از نظر جهت شیب بندی در منطقه مورد مطالعه



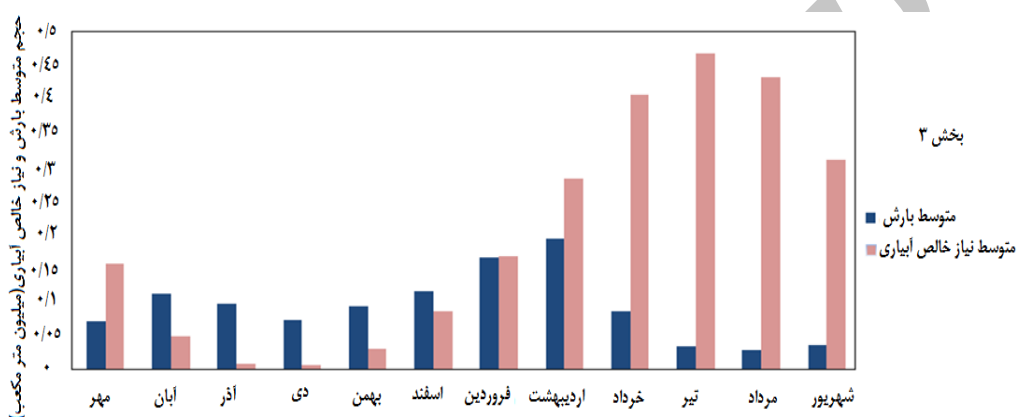
شکل ۱۰- مکان یابی بهینه برای احداث مخازن با استفاده از روش ارزش گذاری پارامترها



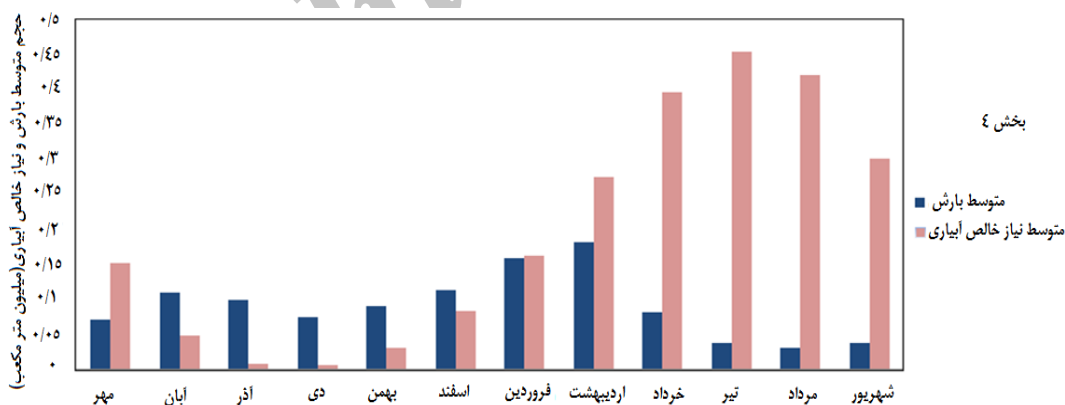
شکل ۱۱ - مقایسه مقدار حجم متوسط بارش و نیاز خالص آبیاری فضاهای سبز در بخش یک



شکل ۱۲- مقایسه مقدار حجم متوسط بارش و نیاز خالص آبیاری فضاهای سبز در بخش دو



شکل ۱۳- مقایسه مقدار حجم متوسط بارش و نیاز خالص آبیاری فضاهای سبز در بخش سه



شکل ۱۴- مقایسه مقدار حجم متوسط بارش و نیاز خالص آبیاری فضاهای سبز در بخش چهار

از منابع آبی خواهد بود. با توجه به نتایج به دست آمده در این مقاله، در فصولی از سال که منطبق بر فصول زراعی باشند، میزان نیاز خالص آبیاری بیشتر از بارندگی است. اما در فصول غیرزراعی، به ویژه فصل زمستان، میزان بارش بیشتر از نیاز خالص آبیاری است. محاسبات مربوط به مقایسه مقادیر بارش و نیاز خالص آبیاری فضاهای سبز، نشان می‌دهند که در بخش یک ۴۹/۸۹ درصد، در بخش دو ۵۰/۲۶ درصد، در بخش سه ۳۹/۶۷ درصد و در بخش

### نتیجه گیری

مدیریت شهری آب باران می‌تواند مزایای بسیاری را از لحاظ اجتماعی، اقتصادی و زیست محیطی به ارمغان بیاورد و به کاهش رواناب و پس از آن به کاهش جاری شدن سیل در مناطق شهری کمک کند. با اجرای طرح‌های بهره‌برداري از آب باران، احتمال افزایش ذخیره آن امکان پذیر خواهد شد که نتیجه آن استفاده بهینه

در بخش های سه و چهار مخازن تجمیع می شوند و یک مخزن ساخته می شود زیرا در بخش سه به علت محدودیت مکان مناسب برای ساخت مخازن، فضای کافی برای ساخت مخزن وجود ندارد. با توجه به نتایج حاصل از تحقیق، مشخص شد که بارش می تواند ۴۸ درصد از نیاز فضای سبز شهر تبریز را تأمین کند و برای تأمین بقیه نیاز فضای سبز (به ویژه در ماه های کم باران) از رواناب جمع آوری شده در مخازن و همچنین رواناب های ورودی به شهر و سایر منابع آبی استفاده می شود.

### سپاسگزاری

از سازمان آب منطقه ای آذربایجان شرقی و سازمان هواشناسی که در تهیه آمار و اطلاعات لازم همکاری نموده اند، تشکر و قدردانی می گردد.

چهار ۴۰ درصد از نیاز خالص آبیاری فضاهای سبز، می تواند از آب باران تأمین شود که با محاسبه میانگین وزنی برای کل سطح شهر، این مقدار، ۴۸ درصد به دست می آید. در طول دوره آماری بیشترین مقدار نیاز آبی مربوط به تیر ماه در سال ۸۵ و کمترین میزان نیاز آبی مربوط به آذر ماه در سال ۸۹ است. نیازهای آبی گیاهان در فصول زراعی، بیشتر از فصول غیرزراعی است و با گذشت زمان با توجه به گسترش صنایع و کاربری ها و تأثیر آن ها در کمبود بارش، میزان نیاز آبی افزایش می یابد. بیشترین مقدار کمبودهای بارش، مربوط به ماه های تیر و مرداد می باشند و کمترین میزان کمبودها مربوط به ماه های بهمن و اسفند هستند.

با توجه به وضعیت شهر و تجمع کاربری ها در آن، بهتر است که مخازن با عمق زیاد و سطح کم ساخته شوند. سطح مخازن باید به صورت پوشیده باشد تا تاخیر از سطح آن به حداقل برسد و آلودگی - های آن کمتر شود و در این زمینه، مخازن زیرزمینی بهترین عملکرد را دارند.

### منابع

- ۱- اسماعیلی، ک. و م. دری. ۱۳۹۴. بررسی تأثیر جداسازی آب شرب از آب مصرفی فضای سبز، در میزان کاهش مصرف آب و کاهش هزینه ها (مطالعه موردی شهر قاین). نشریه سامانه های سطوح آبیگر باران، ۳(۶): ۸-۱.
- ۲- تاج بخش، م. و س.ر. خدائشاس. ۱۳۸۶. بهره گیری از روش های نوین کنترل سیلاب شهری برای استفاده بهینه در منابع آب، پایان نامه کارشناسی ارشد، رشته سازه های آبی، گروه مهندسی آب، دانشگاه فردوسی مشهد.
- ۳- حبیب آبادی، ع. کوچک زاده، م. و ر. طهماسبی. ۱۳۸۹. مکان یابی مناطق مستعد برای جمع آوری باران در استان تهران با استفاده از GIS، پایان نامه کارشناسی ارشد، رشته آبیاری و زهکشی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تربیت مدرس.
- ۴- دستورانی، م. ۱۳۹۱. بررسی امکان جمع آوری آب از سطوح جاده ها و بزرگراه ها جهت ایجاد فضای سبز در مناطق خشک و نیمه خشک. نشریه سامانه های سطوح آبیگر باران، ۱(۳): ۳۹-۴۴.
- ۵- بی نام. ۱۳۷۱. دستور العمل استحصال آب. نشریه شماره ۷۴، شرکت سهامی مدیریت منابع آب ایران.
- ۶- فتحی، گ. و ع. سلاجقه. ۱۳۸۸. مکان یابی صحیح احداث مخازن و سازه های آبی. پنجمین همایش ملی علوم و مهندسی آبخیزداری ایران، شهر کرج، انجمن آبخیزداری ایران.
- ۷- موسوی نژاد، س.م. ۱۳۹۰. طرح چگونگی بهره وری صحیح از آب باران در فضای سبز مناطق شهری و جلوگیری از آب گرفتگی معابر در هنگام بارندگی در سطح شهر سمنان. انتشارات مرکز تحقیقات منابع طبیعی و امور دام استان سمنان.
- ۸- مهدوی، م. فروتن، ا. ملک محمدی، ب. سلاجقه، ع. شریفی، ف. و ح. احمدی. ۱۳۸۹. برآورد رواناب در حوضه های آبخیز شهری با استفاده از مدل های تحلیلی (مطالعه موردی: بخشی از منطقه ۲۲ شهر تهران)، مجله آب و فاضلاب، ۱: ۵۷-۴۶.
- 9- Göbel, P., Dierkes, C. and W.G. Coldewey. 2006. Storm water runoff concentration matrix for urban areas. *Journal of Contaminant Hydrology*, 91: 26-42.
- 10-Niemczynowicz, J. 1999. Urban hydrology and water management and present and future Challenges. *Urban Water*, 1: 1-14.

- 11-Villarreal, L. E. and A. Dixon. 2004. Analysis of a rainwater collection system for domestic water supply in Ringdansen, Norrköping, Sweden. *Building and Environment*, 40: 1174–1184.

Archive of SID