

ارزیابی پتانسیل و مقادیر واقعی تغذیه در آبخوان مناطق شهری و مکان یابی مناطق مستعد تغذیه مصنوعی با استفاده از GIS و AHP (مطالعه موردی: آبخوان شهری ارومیه)

نصرت آقازاده

گروه عمران- مدیریت منابع آب، دانشکده فنی و مهندسی، واحد ارومیه، دانشگاه آزاد اسلامی، ارومیه، ایران

منوچهر چیت سازان

گروه زمین شناسی، دانشکده علوم زمین، دانشگاه شهید چمران اهواز، اهواز، ایران

یحیی میرزایی

گروه زمین شناسی، دانشکده علوم زمین، دانشگاه شهید چمران اهواز، اهواز، ایران

تاریخ پذیرش: ۱۸/۰۲/۱۳۹۸

تاریخ دریافت: ۲۵/۰۹/۱۳۹۷

nosrataghazadeh@yahoo.com

چکیده

توسعه مناطق شهری تاثیر بسزایی بر روی چرخه آب داشته بطوریکه گسترش سطوح نفوذناپذیر باعث کاهش نفوذ، افزایش رواناب، و تغییر در مقدار و منشأ تغذیه آبخوان شده است. هدف از این تحقیق، برآورد تغذیه آبخوان، تعیین مناطق مستعد برای پخش سیلاب‌های شهری جهت تغذیه مصنوعی آبخوان در شهر ارومیه می باشد. برای این منظور ابتدا مدل تغذیه آبخوان و نقشه های پتانسیل تغذیه و تغذیه واقعی تهیه و سپس بر اساس معیار های تاثیر گذار، نقشه نهایی مناطق مستعد پخش سیلاب شهری در جهت تغذیه آبخوان تهیه گردید. نتایج نشان می دهد که پتانسیل تغذیه آبخوان به دلیل افزایش سطوح نفوذناپذیر کاهش یافته و تغذیه از طریق نشت از شبکه آب شرب، چاه های جذبی و آب برگشتی آبیاری بیشترین سهم تغذیه آبخوان را دارد. مقدار تغذیه واقعی با توجه به کاربری های مختلف، بین ۰ تا ۲۸ و پتانسیل تغذیه بین ۴ تا ۲۶۲ میلی متر در سال تغییر می نماید. مهمترین فاکتورهای موثر بر مکانیابی پخش سیلاب های شهری کاربری اراضی، تاثیر زون غیراشباع و شبکه زهکشی بوده و مناطق مناسب برای تغذیه، اراضی بایر و کشاورزی با شیب کمتر از ۵ درصد، مناطقی با ضخامت زیاد زون غیر اشباع با رسوبات دانه درشت و نفوذپذیر درحاشیه شهر می باشند.

کلمات کلیدی: ارومیه، مدل تغذیه آبخوان، مناطق شهری، سیلاب شهری و AHP

مقدمه

مهم ترین مؤلفه جهت برآورد میزان تغذیه آبخوان به شمار می آید (Grischek et al. 1996; Aronica and Lanza, 2005; Wakode and et al., 2018).

محاسبه دقیق میزان تغذیه آب های زیرزمینی در مناطق شهری با توجه به پیچیدگی شرایط، وجود منابع مختلف تغذیه، تغییر میزان تغذیه نسبت به زمان و مکان و عدم وجود روش های مطمئن مشکل می باشد.

اندازه گیری مستقیم تغذیه آبخوان همیشه امکان پذیر نیست لذا در سال های اخیر از روش های مختلفی جهت برآورد میزان تغذیه آبخوان استفاده شده است. بیشتر مطالعات و روش های ارائه شده جهت برآورد تغذیه آبخوان مربوط به مناطق غیر شهری و در دشت ها می باشد که از جمله میتوان به روش برآورد تغذیه از طریق نوسانات سطح آب⁽¹⁾ (WTF)، روش بیلان آب⁽²⁾ (WB)، رابطه دارسی⁽³⁾ (DL)، روابط تجربی⁽⁴⁾ (ER)، مدل آب زیرزمینی⁽⁵⁾ (GM) و استفاده از ردیاب⁽⁶⁾ (TT) اشاره کرد (Islam and et al. 2016)، ترک قشقای نژاد و چیت سازان، ۱۳۹۶).

رشد جمعیت و مهاجرت به مناطق شهری باعث تغییر کاربری اراضی و تغییرات فیزیکی شیمیایی و بیولوژیکی در سیستم های هیدرولوژیکی گردیده است. تغذیه آب های زیرزمینی در مناطق شهری، به دلیل تغییر کاربری اراضی، گسترش سطوح نفوذناپذیر و تغذیه غیرمستقیم نسبت به مناطق غیرشهری متفاوت و پیچیده می باشد.

توسعه شهری، منابع و مسیرهای تغذیه آب های زیرزمینی را در این مناطق نسبت به سایر مناطق تغییر داده است (Learner, 2002; Howard, 2015). تغذیه آبخوان در مناطق شهری می تواند از منابع طبیعی (نفوذ از بارندگی، نشت از رودخانه و دریا و آب زیرزمینی ورودی از آبخوان دیگر) و غیرطبیعی (نشت از شبکه آب شرب، نشت از شبکه فاضلاب، چاه های جذبی و آب برگشتی کشاورزی) صورت گیرد. تشخیص منابع تغذیه و برآورد حجم کل تغذیه در مدیریت منابع آب، ارزیابی ریسک آلودگی و هیدرو شیمیایی حائز اهمیت می باشد. مطالعات صورت گرفته در شهرهای مختلف جهان نشان می دهد که در برخی از شهرها نه تنها در اثر گسترش مناطق شهری میزان تغذیه کاهش نیافته بلکه افزایش نیز داشته که این افزایش بیشتر مربوط به وجود منابع مختلف تغذیه غیرمستقیم آبخوان می باشد (Naik and et al., 2008; Sharp, 2010). همچنین نتایج برخی تحقیقات نشان میدهد که گسترش سطوح نفوذ ناپذیر در مناطق شهری که عمق آب زیرزمینی کم بوده باعث کاهش تبخیر از منابع آب زیرزمینی شده است (Minnig and et al., 2018). در بیلان آب مناطق شهری، مؤلفه رواناب و نفوذ مستقیم از بارش،

- 1-Water table fluctuation
- 2-Water budget
- 3-Darcy's law
- 4-Empirical relationships
- 5-Groundwater models
- 6-Tracer techniques

آبخوان در مناطق شهری و اطراف شهر ارومیه، از طریق تهیه لایه های معیار هیدروژئولوژیکی و محیطی مختلف در محیط GIS تهیه شد. در این مطالعه به منظور وزن دهی لایه ها از روش AHP به دلیل مناسب بودن این روش در مکان یابی پخش سیلاب ها بر اساس مطالعات قبلی صورت گرفته و نیز امکان در نظر گرفتن معیارهای کمی و کیفی در این روش، استفاده شد.

مواد و روشها

موقعیت و هیدروژئولوژی آبخوان شهری منطقه مورد مطالعه

شهر ارومیه در شمال غربی ایران و در غرب دریاچه ارومیه قرار گرفته است (شکل ۱). گسترش شهر ارومیه در داخل دشت ارومیه و کنار رودخانه شهرچای در سال های اخیر رشد شتابانی داشته به طوری که جمعیت ساکن در شهر از ۳۰۶ هزار نفر در سال ۱۳۶۵ به حدود بیش از ۷۰۰ هزار نفر در سال ۱۳۹۵ رسیده و مساحت شهر نیز در این فاصله از ۳۶/۶ کیلومتر مربع به حدود ۱۰۰ کیلومتر مربع رسیده است. با توجه به نقشه های توپوگرافی، در حدود ۱۷ آبراهه منطقه مورد مطالعه را تحت تاثیر رژیم هیدروژئولوژیکی خود قرار می دهند. که از این آبراهه ها رودخانه شهر چای به صورت دائمی و بقیه به صورتی فصلی می باشند. بر اساس اطلاعات هواشناسی منطقه مورد مطالعه با میانگین بارش سالانه ۳۱۰ میلی متر و با متوسط دمای ۱۱ درجه سانتی گراد دارای آب و هوایی نیمه خشک و سرد می باشد.

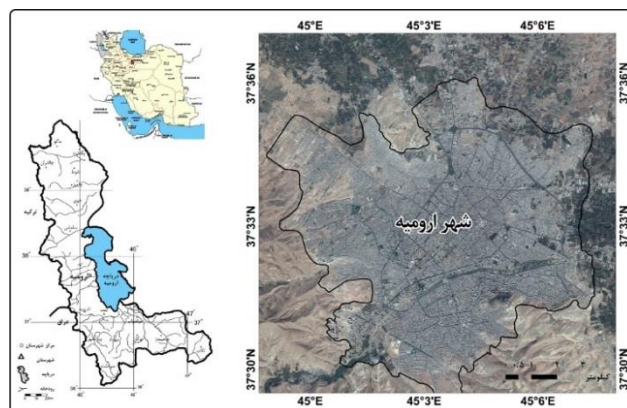
آبخوان شهری ارومیه، از نوع آزاد بوده و عمدتاً از سیلت به همراه رس، سیلت ماسه‌ای، ماسه سنی و شن تشکیل شده که ضخامت رسوبات آبرفتی در برخی مناطق به ۱۳۰ متر می‌رسد. بررسی‌ها نشان می‌دهد که تغییرات عمق آب زیرزمینی در مناطق شهری بین ۱ تا ۲۳ متر و در حاشیه شهر بین ۱ تا ۱۵ متر نسبت به سطح زمین بوده و جهت غالب جریان آب زیرزمینی عمدتاً از شیب توپوگرافی زمین تبعیت کرده و از سمت غرب و جنوب غرب به سمت شمال شرق می‌باشد. بررسی نوسانات سطح آب زیرزمینی نشان می‌دهد که در حاشیه شمال و شمال شرقی شهر به دلیل برداشت از منابع آب زیرزمینی برای مصارف کشاورزی، سطح آب افت داشته ولی در بخش غربی شهر به دلیل عدم برداشت از منابع آب زیرزمینی، در برخی مناطق، سطح آب افت نداشته و بالاآمدگی را نشان می‌دهد که در این مناطق، در برخی مواقع بالاآمدگی آب زیرزمینی در احداث سازه‌های شهری مشکل ساز شده است. تخلیه از آبخوان شهری و حاشیه شهری از طریق چاه‌های کشاورزی، شرب، فضای سبز، صنعتی و کارواش‌ها صورت می‌گیرد که بر اساس آمار موجود، سالانه در حدود ۳۴/۴ میلیون مترمکعب می‌باشد.

بررسی های نشان می دهد که در خصوص تغذیه آبخوان ها در مناطق شهری در ایران مطالعه خاصی صورت نگرفته و در جهان نیز این نوع مطالعات محدود می باشد. از روشهای مورد استفاده در برآورد میزان تغذیه آبخوان های شهری می توان به تخمین تغذیه از طریق بیلان آب (Kruse and et al., 2018; Minnig et al., 2013), استفاده از روش های هیدروپدینامیکی و مدل های جریان آب زیرزمینی (Tubau et al., 2017; Tama et al., 2018; Thomas et al., 2006; 2018), اندازه گیری از طریق بیلان جرمی (Vazquez et al., 2010; Kumar, 2011) و استفاده از روش های تجربی اشاره کرد.

برای کنترل سیلابهای شهری و نفوذ آن به داخل زمین جهت تغذیه آبهای زیرزمینی و نیز رفع آلودگی رواناب ها، در صورت وجود محل مناسب می توان از حوضچه های نفوذ استفاده نمود (برومند نسب و جلالوند، ۱۳۹۰). تغذیه آبهای زیرزمینی از طریق نفوذ رواناب بستگی به خصوصیات رواناب (حجم رواناب و غلظت آلاینده های موجود در ترکیب آن) و خصوصیات محل نفوذ (نوع خاک و نفوذپذیری آن، عمق آبهای زیرزمینی، میزان رطوبت اولیه خاک) دارد (مصطفایی و همکاران ۱۳۹۶). در خصوص تهیه نقشه پتانسیل نفوذ سیلابها در دشتها و مناطق روستایی مطالعات مختلفی صورت گرفته است ولی در مناطق شهری و اطراف آن، مطالعات خیلی محدود می باشد که از جمله می توان به مطالعات صورت گرفته توسط توسلی و همکاران (۱۳۸۷) در سطح شهر مشهد، مافی و همکاران (۱۳۹۳) در شهر اهواز و یوسفی و همکاران (۱۳۹۴) در مناطق ۳ و ۱ شهر تهران در ایران و نیز به مطالعات صورت گرفته توسط (Chadway et al., 2010; Ehsan, 2013; Singh, 2014) و (Gogate and Rawal, 2015) اشاره کرد.

منطقه مورد مطالعه آبخوان شهری ارومیه بوده که در چند دهه گذشته رشد شتابان و ناموزون شهر، بر رژیم جریان آب زیرزمینی و بخصوص بر میزان تغذیه آبخوان تأثیر بسزایی داشته است. هدف اصلی این تحقیق بررسی اثرات توسعه شهری بر میزان تغذیه آبخوان، برآورد و ارائه مدل تغذیه آبخوان و تعیین مناطق مستعد برای پخش سیلاب‌های شهری با رویکرد تغذیه مصنوعی آبخوان می باشد.

به دلیل شرایط هتروژنی نفوذ در محیط های شهری، وجود منابع مختلف تغذیه، وجود جریانات جانبی، و تغییرات گسترده کاربری اراضی، در این تحقیق، تغذیه آبخوان از نفوذ مستقیم بارش، بر اساس مدل مفهومی و مولفه های آن محاسبه، و سپس بر اساس لایه‌های اطلاعاتی لازم مربوط به مؤلفه‌های مختلف مدل در GIS نقشه های پتانسیل و مقدار واقعی تغذیه آبخوان شهری تهیه شد. همچنین نقشه مناطق مستعد پخش سیلاب های شهری جهت تغذیه مصنوعی



شکل ۱- نقشه موقعیت جغرافیایی منطقه مورد مطالعه.

روش پژوهش
مدل تغذیه مستقیم

در این مطالعه به منظور برآورد تغذیه آبخوان از نفوذ مستقیم بارش، بر اساس مدل مفهومی تهیه شده از منطقه (شکل ۲)، ابتدا اقدام به تهیه لایه‌های اطلاعاتی لازم مربوط به مؤلفه‌های مختلف مدل در GIS گردید. سپس بر اساس روابط بین مؤلفه‌ها، مقادیر پارامترها محاسبه و نقشه‌های مربوطه تهیه گردید. بر اساس این مدل، نفوذ (I^1)، پتانسیل تغذیه (PR^2) و تغذیه واقعی (AR^3) برابر است با:

$$I = P - IL - R \quad (\text{رابطه ۱})$$

$$PR = I - AE \quad (\text{رابطه ۲})$$

$$AR = PR - IF \quad (\text{رابطه ۳})$$

در این روابط P^4 بارندگی، IL^5 هدررفت اولیه، AE^6 تبخیر و تعرق واقعی و IF^7 جریانات جانبی می‌باشد.

در این مطالعه به منظور تخمین میزان رواناب (R) از روش ارائه شده توسط سازمان حفاظت خاک آمریکا (SCS) استفاده شد. بر اساس این روش مقدار رواناب از طریق (رابطه ۴ و ۵) محاسبه گردید.

$$R = \frac{(P - 0.2S)^2}{(P + 0.8S)} \quad (\text{رابطه ۴})$$

که در این رابطه R رواناب برحسب میلی‌متر، P میزان بارندگی برحسب میلی‌متر، S ماکزیمم ظرفیت نگهداشت خاک پس از شروع رگبار (ماکزیمم آب جذب شده پس از شروع رواناب) برحسب میلی‌متر می‌باشد. پارامتر S بستگی به تلفات اولیه داشته و از رابطه ۵ محاسبه می‌گردد:

$$S = \frac{25400}{CN} - 254 \quad (\text{رابطه ۵})$$

در رابطه فوق CN شماره منحنی مربوط به نفوذ آب در حوزه است که مقادیر آن از طریق Arc CN-Runoff مربوط به ArcGIS و با توجه به نوع کاربری اراضی، شرایط رطوبتی و وضعیت هیدرولوژیکی خاک تعیین گردید.

در این مطالعه به منظور برآورد جریانات جانبی، از داده‌ها و اطلاعات مربوط به گمانه‌های ژئوتکنیکی حفار شده در شهر و حاشیه آن از قبیل ضریب یکنواختی، ضریب دانه‌بندی، حدود آتربریگ، دانسیته خاک، درصد رس، درصد رطوبت، اندازه ذرات، هدایت هیدرولیکی به دست آمده از روابط تجربی و غیره استفاده شد. ابتدا لایه‌های اطلاعاتی مربوط به پارامترهای گرادیان شیب، نگهداشت ویژه خاک، نسبت ناهمسانی ضریب نفوذپذیری و درصد رس در GIS تهیه گردید و سپس با توجه به لایه‌های تهیه شده و نقشه پتانسیل تغذیه آبخوان، مقادیر جریانات جانبی از طریق رابطه ۶ برآورد گردید (Thomas, 2006).

$$LF = PR[(SL)iw + (SR)iw + (Kh/Kv)iw + (CP)iw] \quad (\text{رابطه ۶})$$

در این رابطه IF^8 جریانات جانبی، PR^9 پتانسیل تغذیه، SL^4 گرادیان شیب، SR^4 نگهداشت ویژه، Kh/Kv^{10} نسبت ناهمسانی نفوذپذیری، CP^{11} درصد رس، i مقدار شاخص (بین ۰ تا ۱) و w وزن فاکتور (بین ۰ تا ۱) می‌باشد.

تغذیه غیر مستقیم

در مناطق شهری، منابع تغذیه‌ای غیرمستقیم آبخوان، نفوذ از شبکه آب شرب شهری در اثر هدر رفت آب از شبکه، نشت از شبکه فاضلاب شهری و نفوذ از طریق چاه‌های جذبی فاضلاب و آب برگشتی کشاورزی می‌باشند. در این مطالعه مقدار تغذیه ناشی از هدر رفت آب در شبکه شرب شهری (Lsp) از طریق (رابطه ۷) محاسبه گردید.

$$Lsp = Vsi \times \alpha \quad (\text{رابطه ۷})$$

در این رابطه Vsi حجم آب مورد استفاده برای شرب در شبکه و α ضریب هدر رفت آب در شبکه آب شرب شهری است. مقدار نفوذ ناشی از چاه‌های جذبی فاضلاب در مناطق شهری فاقد شبکه فاضلاب ($Lwaste$) از طریق (رابطه ۸) محاسبه شد.

$$Lwaste = Vwi \times n \quad (\text{رابطه ۸})$$

که در این رابطه Vwi متوسط حجم فاضلاب تولیدی هر نفر در سال و n تعداد جمعیت ساکن در مناطق فاقد شبکه فاضلاب می‌باشد. مقدار تغذیه ناشی از آب برگشتی آبیاری (Iw) از طریق (رابطه ۹) محاسبه شد.

$$Iw = Vi \times \beta i \quad (\text{رابطه ۹})$$

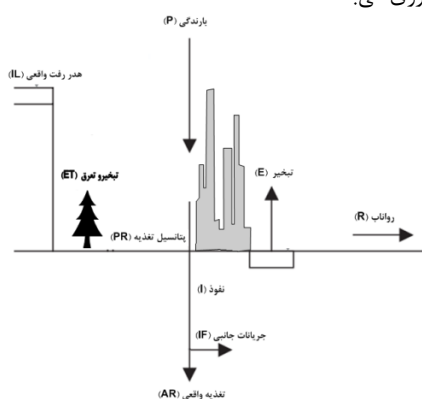
که در این رابطه Vi حجم آب مورد استفاده برای آبیاری و βi ضریب مربوط به آب برگشتی آبیاری است که با توجه به شرایط منطقه مورد مطالعه، میانگین مقدار این ضریب ۰/۳۵ برآورد گردید.

تغذیه کل آبخوان شهری

با توجه به برآورد تغذیه مستقیم از بارش، تغذیه غیرمستقیم ناشی از نشت شبکه آب شرب، چاه‌های جذب فاضلاب و آب برگشتی کشاورزی، مقدار تغذیه کل از منابع تغذیه‌ای متفاوت، برابر است با:

$$GWR = Ip + Lsp + Lwest + Iw \quad (\text{رابطه ۱۰})$$

در این رابطه GWR^{12} تغذیه کل آبخوان، Ip^{13} نفوذ مستقیم از بارش، Lsp^{14} نشت از شبکه آب شرب شهری و $Lwest^{15}$ نشت از فاضلاب، Iw^{16} آب برگشتی کشاورزی می‌باشد.



شکل ۲- مدل مفهومی تغذیه مستقیم آبخوان شهری منطقه مورد مطالعه.

8-Slop gradient

9-Specific Retention

10-Anisotropy ratio

11-Clay Presence

12-Groundwater Recharge

13-Infiltration

14-Leakages from drinking water mains

15-Leakages from wastewater

16-Irrigation Water

1-Infiltration

2-Potential Recharge

3-Actual Recharge

4-Precipitation

5-Initial Losses

6-Actual Evapotranspiration

7-Interflow

تهیه نقشه مناطق مستعد پخش سیلاب های شهری جهت تغذیه آبخوان

جهت مکان یابی مناطق مستعد پخش سیلاب های شهری، ابتدا آمار و اطلاعات مورد نیاز از قبیل نقشه های توپوگرافی، نقشه های زمین شناسی و ژئوفیزیکی، نقشه خاک، کاربری اراضی، آمار هواشناسی و هیدرولوژی، سطح آبهای زیرزمینی، لوگ چاههای حفاری و گمانه های اکتشافی، آمار منابع و مصارف آب جمع آوری گردیده و در محیط سیستم اطلاعات جغرافیایی بانک اطلاعاتی مورد نیاز تهیه گردید. برای تهیه نقشه مناطق مستعد نفوذ رواناب ابتدا لایه های معیار موثر شامل کاربری اراضی^۱ (L)، تاثیر زون غیر اشباع^۲ (A)، شبکه زهکشی^۳ (N)، عمق آبهای زیرزمینی^۴ (D)، شیب^۵ (S)، کیفیت آبهای زیرزمینی پذیرنده (هدایت الکتریکی آبهای زیرزمینی)^۶ (E) و ضریب قابلیت انتقال^۷ (T) بر اساس روشهای ذیل تهیه گردید.

در این مطالعه جهت تهیه نقشه های معیار های مدل، از وزنهای اصلاح شده پارامترهای مدل بر پایه وزن دهی به روش فرآیند تحلیل سلسله مراتبی (AHP) استفاده شد. به منظور تصحیح وزن پارامترهای به کار رفته در مدل به روش AHP، وزن دهی بر پایه قضاوت کارشناسی انجام گرفته است. بدین منظور، ابتدا پارامترهای موثر بر نفوذ رواناب جهت تغذیه آبهای زیرزمینی، براساس اهمیت و نقشی که در تعیین مناطق مستعد در منطقه مورد مطالعه داشتند، اولویت بندی و سپس معیارها، به صورت دو به دو با یکدیگر مقایسه و اهمیت آنها نسبت به یکدیگر تعیین گردید. پس از انجام وزن دهی بر اساس نظرات کارشناسی، اقدام به تشکیل یک ماتریس گردید که ورودی آن همان وزنهای تعیین شده توسط دانش کارشناسی می باشد.

وزنهای کارشناسی شده به عنوان ورودی به نرم افزار Expert Choice 11 داده شد و در نهایت از خروجی نرم افزار که در واقع وزنهای نسبی مربوط به معیارها میباشد، جهت تهیه نقشه مناطق مستعد جهت پخش سیلاب و تغذیه آبهای زیرزمینی در منطقه مورد مطالعه استفاده گردید. در (جدول ۱) رتبه دهی و وزن دهی پارامترهای مدل آورده شده است. بر اساس وزن های بدست آمده شاخص مدل از حاصل ضرب وزن هر پارامتر در رتبه آن مطابق (رابطه ۱۱) بدست آمد و بر اساس مقدار عددی شاخص محاسبه شده، نقشه نهایی مربوط به مناطق مستعد نفوذ رواناب در جهت تغذیه آبهای زیرزمینی در منطقه مورد مطالعه تهیه گردید.

(رابطه ۱۱)

$$Index = TwTr + RwRr + AwAr + NwNr + SwSr + UwUr + DwDr$$

در این رابطه، $T-I$ مقدار نهایی شاخص مدل، W وزن فاکتور و r رتبه فاکتور می باشد. با توجه به مقادیر نهایی شاخص، نقشه نهایی تهیه شده به چهار زون با قابلیت متفاوت در نفوذ و تغذیه تقسیم بندی شد. در این مطالعه به منظور بررسی میزان تاثیر هر یک از پارامترهای موثر در نتایج حاصل از نقشه نهایی، آنالیز حساسیت با استفاده روش تحلیل حساسیت حذف پارامتر صورت گرفت تا ضرورت یا عدم ضرورت استفاده از پارامترها و تاثیر هر پارامتر بر مقدار

نهایی شاخص بررسی شود. میزان حساسیت مدل به هر یک از پارامترها از طریق (رابطه ۱۲) بدست می آید (Lodrick, 1990).

$$S = \left[\frac{V}{N} - \frac{V'}{n} \right] \times 100 \quad (\text{رابطه ۱۲})$$

در این رابطه، S میزان حساسیت بیان شده از لحاظ شاخص تغییرپذیری، و V' به ترتیب شاخص در شرایط غیرآشفته (شاخص واقعی و بدون حذف پارامتر) و شاخص شرایط آشفته، N و n به ترتیب تعداد لایه های اطلاعاتی مورد استفاده برای محاسبه V و V' میباشد. شاخص واقعی به دست آمده با کاربرد هر هفت پارامتر را به عنوان شاخص غیرآشفته و شاخص محاسبه شده با استفاده از تعداد کمتری از لایه های اطلاعاتی، به عنوان شاخص آشفته در نظر گرفته میشود.

نتایج و بحث

نتایج حاصل از محاسبه رواناب مربوط به کاربری های مختلف اراضی از طریق (روابط ۵ و ۴) نشان داد که در بیش از ۷۰ درصد مساحت شهری، سطوح نفوذناپذیر بوده لذا این مناطق مستعد تولید رواناب و گاها سیلاب های شهری می باشند (جدول ۲). کمترین درصد شکل گیری رواناب از بارش مربوط به کاربری فضای سبز و کشاورزی با ضریب رواناب ۰/۲ و بیشترین حجم رواناب شکل گرفته مربوط به کاربری های صنعتی-تجاری با ضریب رواناب ۰/۹ و کاربری خیابان ها و جاده ها با ضریب رواناب بیشتر از ۰/۹ می باشد. در (شکل ۳) ارتفاع رواناب شکل گرفته در کاربری های مختلف اراضی از میانگین بارندگی سالانه سال ۹۵ (۲۶۳ میلی متر) نشان داده شده است. کمترین ارتفاع رواناب در زمین های کشاورزی و پارک ها با ۴۷ میلی متر و بیشترین ارتفاع رواناب در خیابان ها و جاده ها با بیش از ۲۵۶ میلی متر وجود دارد. نتایج محاسبات نشان می دهد که از مجموع حجم ۲۶/۸۵۱ میلیون مترمکعب بارش در سال ۹۵ با توجه به نوع کاربری، در مجموع حدود ۲۱/۰۱ میلیون مترمکعب آن به رواناب تبدیل شده (جدول ۲) که بیشترین حجم رواناب مربوط به کاربری مسکونی با ۹/۶۴۸ میلیون مترمکعب است (شکل ۴).

پتانسیل و مقدار واقعی تغذیه آبخوان شهری منطقه مورد مطالعه

نتایج حاصل از محاسبه پتانسیل تغذیه از طریق رابطه ۲ و نقشه پتانسیل تغذیه تهیه شده از منطقه مورد مطالعه (شکل ۵) با توجه به نوع کاربری اراضی سال ۹۵ نشان می دهد که پتانسیل تغذیه بین ۴ تا ۲۶۳ میلی متر تغییر نموده و بیشترین پتانسیل تغذیه می تواند از کاربری های اراضی بایر، فضاهای باز، پارک ها و زمین های کشاورزی صورت گیرد. در اراضی با کاربری مسکونی، تجاری، صنعتی، خیابان ها و جاده ها به دلیل کاهش سطوح نفوذپذیر، امکان نفوذ و تغذیه آبخوان کم می باشد. در برخی مناطق با کاربری کشاورزی کاهش میزان تغذیه دیده می شود که دلیل آن پایین بودن نفوذپذیری رسوبات محل بر اساس اطلاعات زمین شناسی و ژئوتکنیکی می باشد. همچنین تبخیر و تعرق می تواند باعث کاهش تغذیه در مناطق با کاربری کشاورزی و فضای سبز نسبت به سایر کاربری ها به شود. بر اساس محاسبات صورت گرفته، مجموع حجم پتانسیل تغذیه آبخوان شهری منطقه مورد مطالعه در حدود ۷/۶۴۶ میلیون مترمکعب می باشد که بیشترین سهم آن مربوط به کاربری زمین های خالی و فضاهای باز می باشد. تغذیه واقعی آبخوان کمتر از پتانسیل تغذیه بوده زیرا هدر رفت و نیز جریانات جانبی در منطقه غیراشباع باعث کاهش در تغذیه واقعی آبخوان می شوند. شرایط رطوبتی خاک، تخلخل، توانایی ذخیره خاک، نفوذپذیری مؤثر خاک، ناهمسانی در نفوذپذیری، درصد رس خاک و شیب از عوامل مؤثر در جریانات جانبی منطقه غیراشباع می باشند (Thomas and Tellan, 2006). بر آورد دقیق جریانات جانبی مربوط به نفوذ، مستلزم وجود

- 1-Land Use
- 2-Impact of Aeration zone media
- 3-Drainage Net
- 4-Depth to water table
- 5-Slope
- 6-Electrical Conductivity
- 7-Transmissibility

تغذیه واقعی مربوط به کاربری اراضی بایر و فضاهای باز شهری در حدود ۰/۴۳۳ میلیون مترمکعب بوده و کمترین آن مربوط به معابر خیابانها و کوچهها در حد صفر می باشد (جدول ۳). مجموع تغذیه واقعی آبخوان از کاربری های مختلف در حدود ۱/۳۲۲ میلیون مترمکعب بوده که به در نظر گرفتن تمامی کاربری های مختلف با درصد نفوذپذیری خیلی متغیر، به طور میانگین در حدود ۵ درصد از بارندگی کل سالانه مربوط به سال ۹۵ را شامل می شود. در (شکل ۸) نمودار تغییرات مقادیر تغذیه واقعی آبخوان نسبت به کاربری های مختلف اراضی مربوط به سال ۱۳۹۵ نشان داده شده است.

اطلاعات کافی و دقیق از وضعیت منطقه غیراشباع می باشد. (شکل ۶) نقشه توزیع مقادیر جریانات جانبی محاسبه شده توسط مدل از طریق رابطه ۶ را نشان می دهد. تغذیه واقعی آبخوان شهری منطقه مورد مطالعه، حاصل کسر جریانات جانبی منطقه غیراشباع و هرگونه هدر رفت آب در منطقه از پتانسیل تغذیه محاسبه شده می باشد (رابطه ۳).

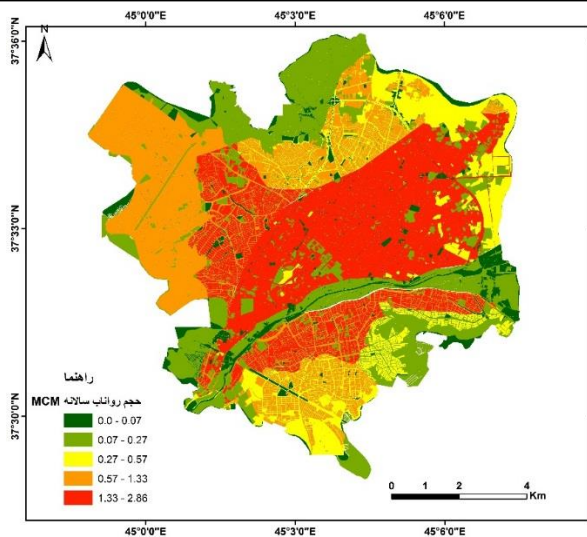
در (شکل ۷) نقشه پهنه بندی مقادیر تغذیه واقعی آبخوان شهری منطقه مورد مطالعه نشان داده شده است. نتایج حاصل از برآورد تغذیه واقعی نشان می دهد که مقدار تغذیه واقعی با توجه به کاربری های مختلف (بدون در نظر گرفتن رودخانه) بین ۰ تا ۲۸ میلی متر در سال تغییر می نماید. بیشترین حجم

جدول ۱- وزن دهی و کلاس بندی پارامترهای مختلف مربوط به تهیه نقشه مناطق مستعد پخش سیلاب های شهری.

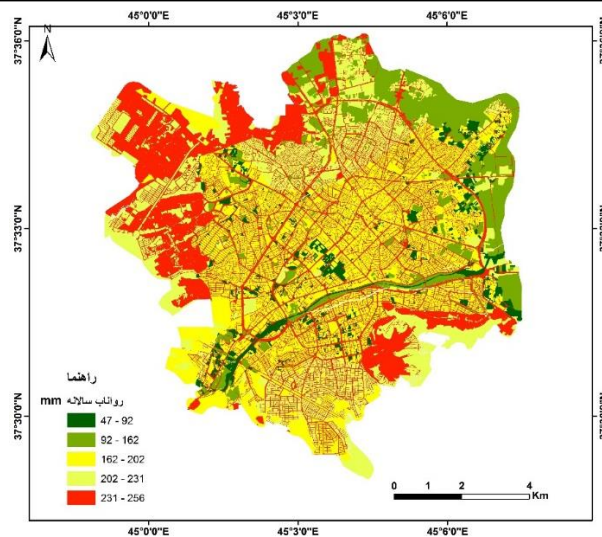
کاربری اراضی		کیفیت آب (هدایت الکتریکی) ($\mu\text{moh/cm}$)		عمق آب زیرزمینی (m)	
وزن	کلاس	وزن	کلاس	وزن	کلاس
۰/۷۹۳	زمینهای خالی بایر، زمین های زراعی	۰/۰۵۱	۰-۷۰۰	۰/۰۶۱	۰-۱۰
۰/۱۲۱	حاشیه شهر	۰/۱۲۷	۷۰۰-۱۰۰۰	۰/۱۰۶	۱۰-۲۰
۰/۱۲۱	پارکها و فضاهای سبز، حاشیه رودخانه، مناطق مسکونی	۰/۲۴۵	۱۰۰۰-۱۳۰۰	۰/۲۶۴	۲۰-۳۰
۰/۰۷۶	مناطق تجاری-صنعتی، مناطق کوهپایه ای شهر، خیابانها و کوچه ها	۰/۵۸	>۱۳۰۰	۰/۵۶۹	>۳۰
وزن لایه: ۰/۳۷۱		وزن لایه: ۰/۰۲۱		وزن لایه: ۰/۰۴	
فاصله از نقاط زهکشی (m)		توپوگرافی (شیب %)		ضریب قابلیت انتقال (m^2/day)	
وزن	کلاس	وزن	کلاس	وزن	کلاس
۰/۴۸۵	۰-۱۰۰۰	۰/۰۴۴	لایه محصور کننده با نفوذپذیری خیلی پایین	۰/۰۵۴	۵۰۰-۵۰۰
۰/۲۳۰	۲۰۰۰	۰/۰۶۶	سیلت و رس به همراه ماسه با نفوذپذیری کم	۰/۰۸۳	۱۰۰۰-۵۰۰
۰/۱۶۰	۱۰۰۰	۰/۰۶۶	سیلت و رس به همراه ماسه با نفوذپذیری کم	۰/۳۸۱	۱۵۰۰-۱۰۰۰
۰/۰۸۳	۳۰۰۰	۰/۱	ماسه با سیلیت، رس و شن با نفوذپذیری متوسط	۰/۴۸۲	>۱۵۰۰
۰/۰۴۲	۲۰۰۰	۰/۳۳۴	ماسه و شن به همراه سیلت با نفوذپذیری خوب		
	۴۰۰۰	۰/۴۵۸	شن و ماسه با نفوذپذیری خیلی زیاد		
	>۴۰۰۰				
وزن لایه: ۰/۲۳۰		وزن لایه: ۰/۲		وزن لایه: ۰/۰۷۸	

جدول ۲- نتایج حاصل از محاسبه حجم رواناب مربوط به کاربری اراضی مختلف در سال ۱۳۹۵.

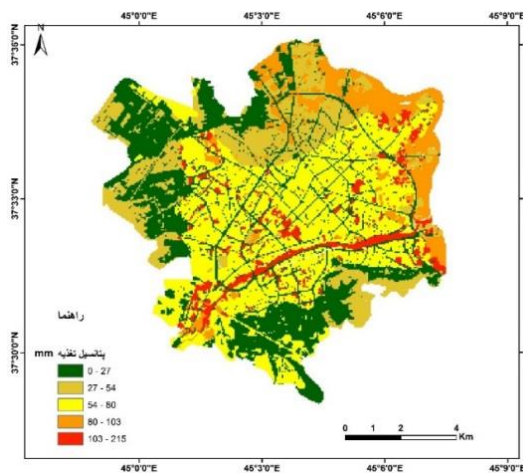
حجم رواناب (MCM)	شماره منحنی رواناب (CN) گروه هیدرولوژیک خاک				میزان هدر رفت (mm)	کاربری ارضی (%)	مساحت کاربری اراضی (km^2)	میانگین سطوح نفوذناپذیر (%)	نوع کاربری اراضی
	D	C	B	A					
۰/۷۷۷	۹۷	۹۴	۹۲	۸۹	۳	۳/۲	۳/۲۷۶	۸۵	مناطق تجاری و صنعتی
۹/۶۴۸	۹۲	۹۰	۸۵	۷۷	۴/۵	۴۶/۷	۴۶/۷	۶۵	مناطق مسکونی
۲/۶۶۲	۸۴	۷۹	۶۹	۵۸	۵/۵	۱۵/۵	۱۵/۴۸۴	۳	زمین های خالی و بایر
۰/۴۵۷	۸۹	۸۶	۷۸	۵۹	۵/۵	۳/۱	۳/۰۳	۴	پارکها و فضای سبز
-	۱۰۰	۱۰۰	۱۰۰	۱۰۰	۰	۰/۴	۰/۴۱	-	رودخانه
۱/۶۸۴	۹۱	۸۸	۷۸	۶۸	۵/۵	۱۰	۱۰/۱۷	۴	زمین های کشاورزی
۰/۳۰۳	۸۸	۷۹	۶۹	۵۹	۵/۵	۱/۴	۱/۱۷۱۵	۵	جنگل
۵/۴۶۲	۹۸	۹۸	۹۸	۹۸	۲	۲۱/۳	۲۱/۲۷	۹۹	خیابانها و جادهها
۲۱/۰۱۸	-	-	-	-	-	۱۰۰	۱۰۱/۷۴	-	جمع



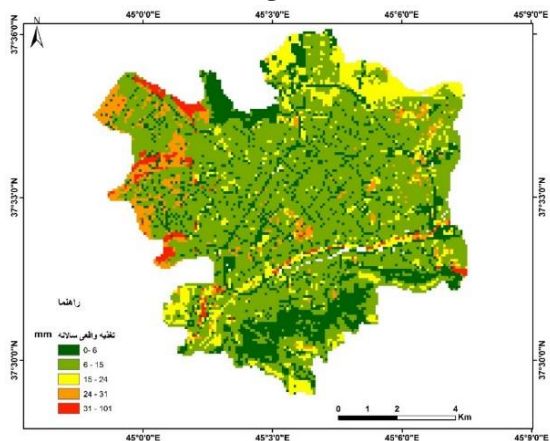
شکل ۴- نقشه پهنه‌بندی حجم رواناب (برحسب میلیون مترمکعب) منطقه مورد مطالعه در سال ۹۵.



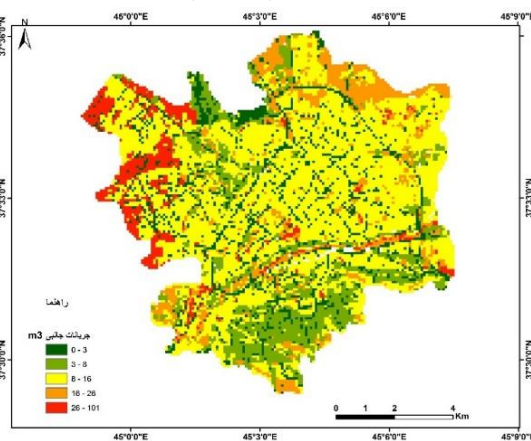
شکل ۳- نقشه پهنه‌بندی ارتفاع رواناب (برحسب میلی‌متر) منطقه مورد مطالعه در سال ۹۵.



شکل ۵- نقشه پهنه‌بندی پتانسیل تغذیه آبخوان منطقه مورد مطالعه در سال ۹۵ (برحسب میلی‌متر بر سال).



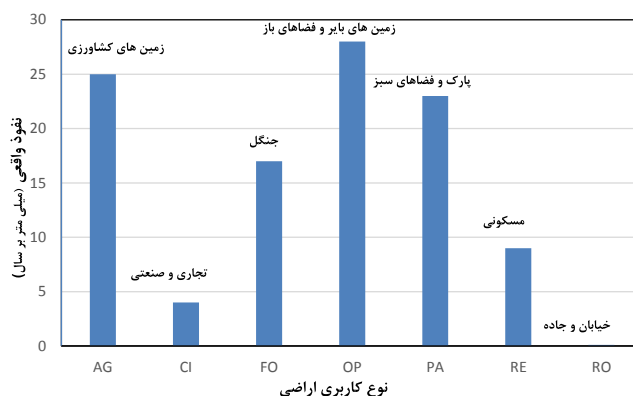
شکل ۷- نقشه پهنه‌بندی تغذیه واقعی آبخوان در سال ۹۵



شکل ۶- نقشه پهنه‌بندی جریان‌های جانبی در سال ۹۵

جدول ۳- نتایج حاصل از محاسبه حجم پتانسیل تغذیه و تغذیه واقعی آبخوان شهری منطقه مورد مطالعه مربوط به سال ۱۳۹۵

نوع کاربری اراضی	میانگین نفوذناپذیر (%)	سطوح	مساحت کاربری اراضی (km ²)	کاربری اراضی (%)	مقدار پتانسیل تغذیه (mm/y)	مقدار تغذیه واقعی (mm/y)	حجم پتانسیل تغذیه (MCM/y)	حجم تغذیه واقعی (MCM/y)
مناطق تجاری و صنعتی	۸۵	۳/۲۷۶	۳/۲	۳۱	۴	۰/۱	۰/۱۳	۰/۴۲
مناطق مسکونی	۶۵	۴۶/۷	۱۵/۵	۱۶۴	۹	۳/۱۷	۰/۴۲۳	۰/۰۷
زمین‌های خالی و بایر	۳	۳/۰۳	۰/۴	۲۳	۲۶۳	۰/۱	۰/۲۵۴	۰/۰۲۳
پارک‌ها و فضای سبز	۴	۰/۴۱	۱۰	۱۱۵	۲۵	۱/۱۶۹	۰/۰۲۳	۰
رودخانه	-	-	۱/۴	۴۸	۱۷	۰/۰۶۷	۰	۱/۳۲۲
زمین‌های کشاورزی	۴	۱۰/۱۷	۲۱/۳	۲۱۳	۴	۰/۰۸	۷/۶۴۶	-
جنگل	۵	۱/۱۷۱۵	۱۰۰	-	-	-	-	-
خیابان‌ها و جاده‌ها	۹۹	۲۱/۲۷	۱۰۱/۷۴	-	-	-	-	-
جمع	-	-	-	-	-	-	-	-



شکل ۸- نمودار تغییرات تغذیه واقعی آبخوان منطقه مورد مطالعه نسبت به کاربری مختلف اراضی در سال ۹۵.

تغذیه غیرمستقیم و کل آبخوان

در مناطق شهری، منابع تغذیه‌ای غیرمستقیم آبخوان، نفوذ از شبکه آب شرب شهری در اثر هدر رفت آب از شبکه، نشت از شبکه فاضلاب شهری و نفوذ از طریق چاه‌های جذبی فاضلاب و آب برگشتی کشاورزی می‌باشند. در چند دهه اخیر، رشد جمعیت شهر ارومیه، باعث افزایش مصرف آب و فاضلاب تولیدی شده است. در شبکه شرب شهری منطقه مورد مطالعه میزان هدر رفت آب ۲۱ درصد بوده (تفاوت بین حجم آب تولیدی و حجم آب به فروش رسیده) که با کسر شبکه انشعاب‌های غیرمجاز، خرابی کنتور و غیره میزان هدر رفت جهت نفوذ به زمین ۱۱ درصد برآورد گردید. بر اساس آمار و اطلاعات شبکه آب و فاضلاب شهر ارومیه، حجم آب تولیدی در شبکه برای سال ۹۵ در حدود ۶۸/۲۷ میلیون مترمکعب بوده که با توجه به رابطه ۷ میزان نفوذ ناشی از هدر رفت شبکه آب شرب شهری در حدود ۷/۵ میلیون مترمکعب برآورد گردید.

با توجه به عمق آب زیرزمینی، جنس و اندازه ذرات خاک، وضعیت رطوبتی و بافت خاک در منطقه غیراشباع، جریان‌ات جانبی و غیره میزان تغذیه آبخوان می‌تواند متفاوت باشد. بر اساس اطلاعات حاصله از گمانه‌های ژئوتکنیکی از منطقه غیراشباع میزان تغذیه آبخوان از این طریق در حدود ۶/۳ میلیون مترمکعب برآورد

شبکه فاضلاب شهری در منطقه مورد مطالعه تمامی مناطق شهری را پوشش نداده و نزدیک به ۴۰ درصد از منطقه تحت پوشش شبکه نبوده و فاضلاب در این مناطق از طریق چاه‌های جذبی دفع می‌شود. با توجه به عمق کم آب زیرزمینی در اکثر مناطق فاقد شبکه فاضلاب، چاه‌های جذبی گاهی به‌طور

تغییرات کاربری اراضی و برآورد میزان تغذیه مستقیم در سال‌های مختلف

بررسی روند تغییرات کاربری اراضی در ۲۵ سال اخیر نشان می‌دهد که مساحت شهری از ۵۲/۱۵ کیلومتر مربع در سال ۱۳۷۰ به مساحت حدود ۱۰۱ کیلومتر مربع در سال ۹۵ رسیده است. عمده تغییرات کاربری اراضی در این مدت تبدیل زمین‌های کشاورزی به کاربری شهری از قبیل مسکونی، معابر و غیره بوده که این تغییرات کاربری باعث کاهش نفوذ از بارندگی به دلیل افزایش سطوح نفوذناپذیر شده است. تغییرات متوسط بارندگی سالیانه در این مدت، روند نزولی داشته به‌طوری که میزان متوسط بارندگی از ۴۱۱ میلی‌متر در سال ۱۳۷۰ به میزان ۲۶۳ میلی‌متر در سال ۱۳۹۵ رسیده است.

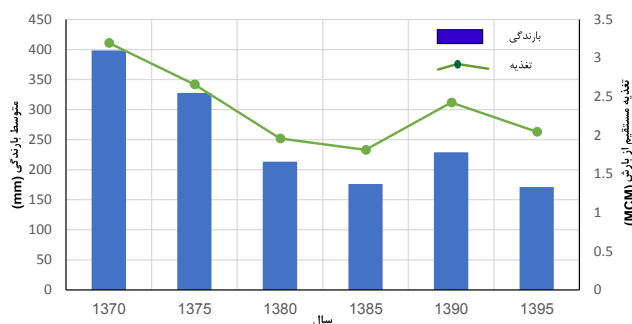
با در نظر گرفتن متوسط بارندگی در ۲۵ سال اخیر و مساحت شهری و درصد کاربری‌های مختلف در این بازه زمانی، حجم رواناب شکل‌گرفته در سال‌های مختلف تخمین زده شد. سپس بر اساس میزان رواناب محاسبه شده و با توجه به نوع کاربری اراضی، میزان نفوذ و تغذیه آبخوان با در نظر گرفتن مساحت شهری محاسبه گردید. نتایج نشان می‌دهد که متناسب با کاهش بارندگی و افزایش سطوح نفوذناپذیر شهری، میزان تغذیه کاهش یافته است. بر این اساس میزان تغذیه آبخوان از نفوذ مستقیم بارش در سال ۱۳۷۰ از ۳/۱ میلیون مترمکعب به ۲/۱۵ میلیون مترمکعب در سال ۱۳۹۵ رسیده و بر این اساس در این فاصله زمانی به دلیل افزایش سطوح نفوذناپذیر، میزان نفوذ مستقیم بیش از ۴۰ درصد کاهش یافته است (شکل ۹).

با توجه به برآورد تغذیه مستقیم از بارش، تغذیه غیرمستقیم ناشی از نشت شبکه آب شرب، چاه‌های جذب فاضلاب و آب برگشتی کشاورزی، مقدار تغذیه کل از منابع تغذیه‌ای متفاوت، بر اساس رابطه ۱۰ و بر اساس آمارهای سال ۹۵ در حدود ۱۸/۹۲ میلیون مترمکعب برآورد گردید. نتایج حاصل از محاسبات تغذیه آبخوان از منابع مختلف نشان می‌دهد که مقادیر تغذیه ناشی از نفوذ مستقیم به آبخوان خیلی کم و در حدود ۱/۳۲ میلیون مترمکعب می‌باشد که در مقایسه با تغذیه آبخوان از منابع غیرمستقیم کم و در حدود ۷ درصد از مجموع تغذیه را شامل می‌شود.

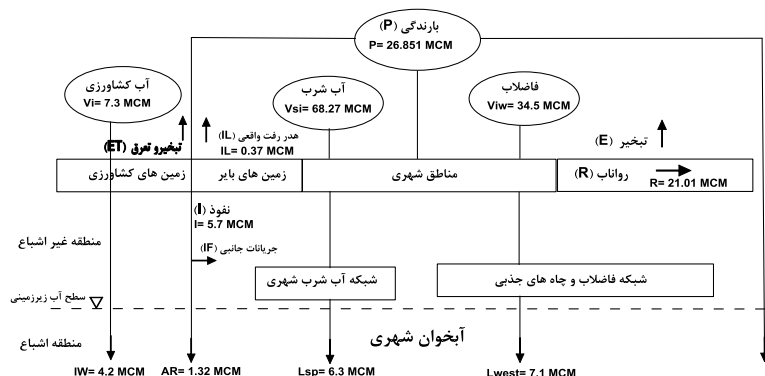
نبود شبکه فاضلاب در برخی از مناطق شهری منطقه مورد مطالعه و کم بودن عمق آب زیرزمینی در این مناطق باعث شده که میزان تغذیه آبخوان از طریق فاضلاب‌های جذبی در حدود ۷/۱ میلیون باشد؛ که این مقدار، حدود ۳۷ درصد از کل تغذیه آبخوان شهری منطقه مورد مطالعه را شامل می‌شود. همچنین نشت از شبکه آب شرب شهری نیز در مقایسه با کل تغذیه مقادیر زیادی بوده و در حدود ۳۳ درصد از تغذیه را شامل می‌شود. به دلیل وجود پارک‌ها، فضای سبز و زمین‌های کشاورزی در داخل (کم) محدوده شهری و نیز حاشیه شهری (زیاد) آب برگشتی از آبیاری نیز سهم نسبتاً زیادی (در حدود ۲۲ درصد) از تغذیه کل آبخوان را شامل می‌شود. شکل ۱۰ مدل مفهومی از تغذیه آبخوان و برآورد حجم تغذیه از منابع مختلف (مستقیم و غیرمستقیم) را نشان می‌دهد.

مستقیم فاضلاب را به آبخوان انتقال می‌دهند. بر اساس آمار و اطلاعات شبکه آب و فاضلاب شهری ارومیه، حجم فاضلاب تولیدی ۳۴/۵ میلیون مترمکعب می‌باشد. با توجه به آمار و اطلاعات به‌دست‌آمده از شهرداری در حدود ۴۵ درصد از فاضلاب‌های تولیدی مناطق فاقد شبکه توسط کامیون‌های لجن کش تخلیه و به خارج از شهر هدایت می‌شوند و بقیه فاضلاب‌ها جذب خاک و آب‌های زیرزمینی می‌شوند. بر این اساس و با توجه به شرایط خاک و ویژگی‌های منطقه غیراشباع در این مناطق، میزان تغذیه آبخوان از این طریق (رابطه ۸) در حدود ۷/۱ میلیون مترمکعب برآورد گردید.

در حاشیه شهر تمرکز فعالیت‌های کشاورزی زیاد بوده و نوع محصولات عمدتاً صیفی‌جات و باغ می‌باشد. همچنین در مناطقی از داخل محدوده شهری به دلیل فعالیت‌های کشاورزی و نیز آبیاری پارک‌ها و فضاهای سبز آب آبیاری برگشتی وجود دارد. در این مطالعه، با توجه به نوع کشت و باغات موجود، نیاز آبی محصول و مدت آبیاری زمین‌های کشاورزی و نیز فضاهای سبز شهری، حجم آب مصرفی برای آبیاری برآورد گردید. آمار و اطلاعات مربوط به شهرداری ارومیه نشان می‌دهد که به‌طور متوسط سالانه در حدود ۷/۳ میلیون مترمکعب آب برای فضاهای سبز و برای زمین‌های کشاورزی واقع در محدوده مورد مطالعه به‌طور متوسط سالانه ۴/۹ میلیون مترمکعب آب مصرف می‌شود. بر این اساس و با توجه به رابطه ۹ مجموع میزان تغذیه آبخوان از طریق آب برگشتی کشاورزی و فضای سبز در حدود ۴/۲ میلیون مترمکعب برآورد گردید.



شکل ۹- نمودار تغییرات متوسط بارندگی سالانه و تغذیه مستقیم از بارش آبخوان منطقه مورد مطالعه در سال‌های مختلف



شکل ۱۰- مدل مفهومی از تغذیه کل آبخوان شهری و مقادیر تغذیه از منابع مختلف منطقه مورد مطالعه.

مناطق مستعد پخش سیلاب های شهری جهت تغذیه آبخوان

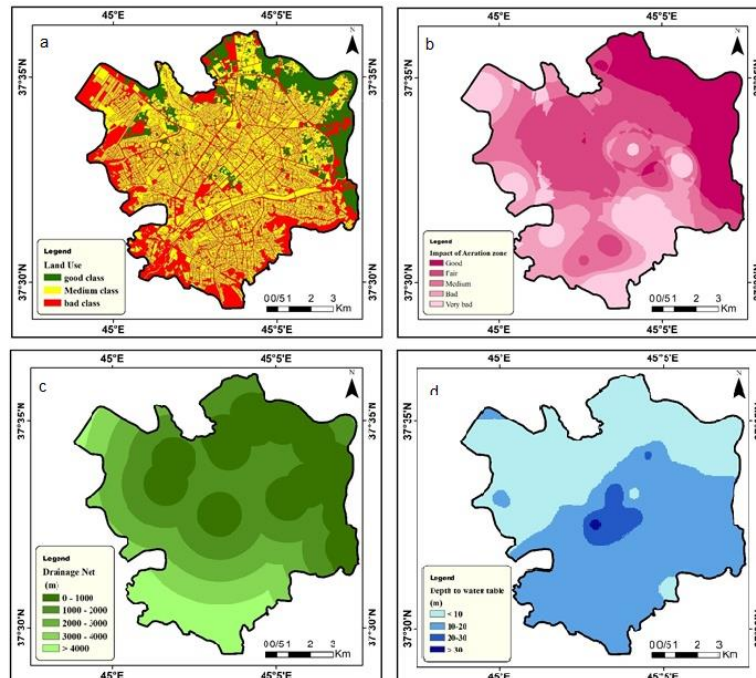
نوع کاربری و فعالیت های انسانی صورت گرفته در آن تاثیر قابل توجهی بر روی امکان مهار و گسترش سیلاب دارد. در راستای گسترش مناطق شهری، تغییر کاربری اراضی زیاد صورت میگیرد که در این بین افزایش سطوح نفوذ ناپذیر تاثیر بسزایی در شکل گیری سیلابهای شهری دارد. در این مطالعه به منظور تهیه نقشه کاربری اراضی شهری از نقشه کاربری ارائه شده توسط شهرداری ارومیه به مقیاس ۱/۱۰۰۰ و نیز از عکس های ماهواره ایی استفاده و نقشه کاربری در GIS با اندازه پیکسل های ۱۰۰ در ۱۰۰ تهیه شد.

با توجه به وضعیت پوشش و نوع کاربری، در منطقه مورد مطالعه کاربری عمده زمین شامل مسکونی، کشاورزی، پارکها و جنگل، صنعتی، زمینهای خالی و بایر می باشد (شکل ۱۱-a). بر اساس تاثیر هرکدام از کاربری های مختلف بر میزان نفوذ رواناب، نقشه کاربری اراضی در منطقه مورد مطالعه به ۳ گروه مناطق خوب برای نفوذ و تغذیه، متوسط و بد تقسیم بندی شده است. با توجه به نقشه تهیه شده، در خیلی از مناطق محدوده مورد مطالعه شرایط برای نفوذ رواناب فراهم نبوده و فقط در ۱۲ درصد از محدوده مورد مطالعه از دیدگاه نوع کاربری اراضی و تاثیر آن بر نفوذ، شرایط مناسب می باشد که این مناطق عمدتاً در حاشیه شهر و شمال غرب منطقه مورد مطالعه و بصورت محدود در برخی از مناطق داخل شهر واقع شده اند. نتایج حاصل از اطلاعات بدست آمده از چاههای مشاهده ای، چاههای بهره برداری و گمانه های ژئوتکنیکی حفر شده در منطقه (اطلاعات مربوط به تعداد ۱۰۰ گمانه ژئوتکنیکی حفر شده به عمق های بین ۳ تا ۵۳ متر و نیز پیژومترهای حفر شده در محدوده شهری ارومیه) نشان می دهد که جنس مواد تشکیل دهنده آبخوان عمدتاً از ماسه ای

رسی تا شن ماسه ای میباشد. برآورد ضریب نفوذپذیری رسوبات زون غیر اشباع از طریق روابط تجربی نشان میدهد که این ضریب در محدوده مورد مطالعه بین ۰/۰۰۰۴ متر بر روز تا ۰/۰۰۳ متر بر روز تغییر مینماید. نقشه معیار تهیه شده مربوط به تاثیر زون غیر اشباع (شکل ۱۱-b) به ۵ کلاس با شرایط خوب تا بد تقسیم بندی شد. بر این اساس در بیش از ۴۶ درصد از محدوده مورد مطالعه شرایط نفوذ رواناب برای تغذیه آبهای زیرزمینی مناسب می باشد.

با توجه به اینکه انتخاب محل مناسب برای پخش سیلاب و استفاده از حوضچه های تاخیری مستلزم وجود زمین مناسب و قابل دسترس در انتهای شبکه زهکشی آبهای سطحی می باشد لذا نقشه تهیه شده مربوط به فاصله از محل زهکشی ها بر اساس فاصله به ۵ کلاس تقسیم بندی شد (شکل ۱۱-c). بر این اساس در ۳۲ درصد از محدوده مورد مطالعه فاصله از محل خروجی شبکه های زهکشی کمتر از ۱۰۰۰ متر بوده لذا این مناطق می تواند مکان مناسبی در جهت نفوذ رواناب و تغذیه آبهای زیرزمینی باشد. در منطقه مورد مطالعه، عمق آب زیرزمینی بین ۱-۳۴ متر تغییر کرده بطوریکه کمترین عمق آب زیرزمینی در بخشهای شمالی محدوده و در حاشیه شهر (۱متر) و بیشترین عمق در قسمت مرکزی محدوده مورد مطالعه در حد ۳۴ متر مشاهده می شود (شکل ۱۱-d).

عمق آب زیرزمینی نشان دهنده ضخامت زون غیر اشباع بوده و هرچه عمق آب زیرزمینی کمتر باشد پتانسیل نفوذ کاهش می یابد. بر اساس تغییرات عمق آب زیرزمینی، منطقه مورد مطالعه به چهار گروه تقسیم بندی شد (جدول ۱). بر اساس این تقسیم بندی، در بیش از ۹۵ درصد از منطقه مورد مطالعه عمق آب زیرزمینی کمتر از ۲۰ متر می باشد.



شکل ۱۱- لایه معیار کاربری اراضی (a)، تاثیر زون غیر اشباع (b)، فاصله از خروجی زهکشی (c) و عمق آب زیرزمینی (d) مربوط به تهیه نقشه مناطق مستعد پخش سیلاب های شهری.

هدایت الکتریکی و شوری آب می تواند به دلیل تاثیر کیفیت روانابهای نفوذی و غیره باشد.

بر اساس لایه های معیار تهیه شده، یکی از عوامل مهم در تعیین عرصه های مناسب و مستعد پخش سیلاب و تغذیه آبهای زیرزمینی، توانایی انتقال آب در آبرفت می باشد. ضریب قابلیت انتقال یکی از ضرایب هیدرودینامیکی آبخوان بوده که نشان دهنده توانایی حرکت آب در محیط متخلخل می باشد. نقشه تهیه شده از ضریب قابلیت انتقال آبخوان در محدوده مورد مطالعه (شکل C-12) نشان می دهد که این ضریب بین ۱۷۰۹-۱۱۹ مترمربع بر روز تغییر نموده و در بیش از ۶۲ درصد از محدوده مقادیر آن تا ۵۰۰ مترمربع بر روز می باشد. بررسی ها نشان می دهد که در حاشیه شهر و شمال غربی محدوده به دلیل درشت دانه بودن رسوبات، ضریب قابلیت انتقال افزایش یافته است.

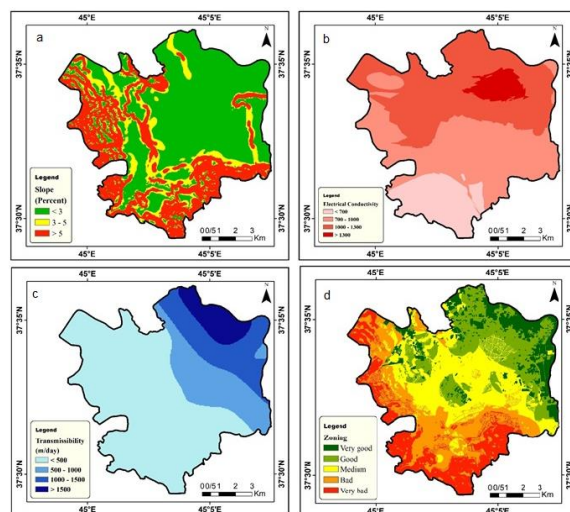
نتایج حاصل از محاسبه شاخص نهایی بر اساس (رابطه ۱۱) نشان می دهد که این شاخص بین ۰/۵۹-۰/۰۶ تغییر مینماید. تاثیر معیار های مختلف از طریق آنالیز حساسیت مدل به تک تک فاکتورها انجام شد که نتایج حاصل از محاسبه و تحلیل حساسیت به روش حذف پارامتر (رابطه ۱۲) نشان داد بیشترین حساسیت شاخص نهایی نسبت به پارامتر کاربری اراضی، زهکشی و عمق آب و کمترین حساسیت مربوط به شیب می باشد. در (جدول ۴) نتایج حاصل از آنالیز حساسیت روش حذف نقشه آورده شده است. بر اساس مقادیر شاخص بدست آمده، نقشه نهایی تهیه شده جهت تعیین مناطق مستعد نفوذ رواناب و تغذیه آبهای زیرزمینی به پنج زون کلاس بندی شده است (شکل d-12). بر اساس این طبقه بندی، مناطق حاشیه شهری، محل خروجی روانابهای شهری و نیز بخش غربی منطقه جزو مناطق مستعد برای نفوذ سیلاب جهت تغذیه آبهای زیرزمینی می باشند. بر اساس نقشه نهایی در حدود ۶۰ درصد از محدوده مورد مطالعه نمی توان پخش سیلاب انجام داده و یا از حوضچه نفوذ استفاده نمود. بر اساس نقشه نهایی بصورت محدود می توان از برخی زمینهای بایر در داخل شهر و حاشیه شهر و نیز از برخی زمینهای کشاورزی حاشیه شهر جهت نفوذ رواناب و تغذیه آبهای زیرزمینی استفاده نمود.

شیب تاثیر مستقیم بر میزان نفوذ داشته و در مکان یابی مناطق مستعد به منظور پخش سیلاب و تغذیه آبهای زیرزمینی موثر می باشد بطوریکه در شیب های خیلی کم، فرصت کافی برای نفوذ وجود داشته و مقدار نفوذ افزایش می یابد. بطور کلی در شیبهای کمتر از ۵ درصد شرایط نفوذ مناسب تر است. به منظور تهیه نقشه شیب، از مدل رقومی با دقت مکانی ۳۰ متر استفاده شد. نقشه شیب تهیه شده از منطقه مورد مطالعه (شکل a-12) نشان می دهد که مقدار شیب بین ۳۰-۰ درصد تغییر نموده بطوریکه در مناطق جنوب شرق و غرب شهر شیب زمین زیاد بوده و به طرف حاشیه شهر در شمال غرب از میزان شیب کاسته می شود. در این مطالعه بر اساس تغییرات شیب، منطقه مورد مطالعه به سه گروه تقسیم بندی شد (جدول ۱). بر این اساس، در ۵۶ درصد از مساحت منطقه مورد مطالعه شیب بین ۳-۰ درصد، در ۱۴ درصد شیب بین ۵-۳ درصد و در ۳۰ درصد شیب بیشتر از ۵ درصد می باشد. کیفیت رواناب نفوذی و نیز کیفیت آب زیرزمینی پذیرنده در ارزیابی های کیفی منابع آب حائز اهمیت می باشد. با توجه به اینکه هدایت الکتریکی آب بیانگر وجود مواد محلول در آب می باشد لذا از این پارامتر می توان به عنوان شاخص کیفی آب استفاده نمود. در این مطالعه بر اساس نتایج حاصل از اندازه گیری های صورت گرفته از تعداد ۱۰۲ نمونه آب زیرزمینی، نقشه هدایت الکتریکی رسم گردید (شکل b-12). بررسی نتایج نشان می دهد که مقادیر هدایت الکتریکی در منطقه مورد مطالعه بین ۶۱۰ تا ۱۴۵۸ میکروموس بر سانتی متر تغییر می نماید و در مناطق حاشیه شهر و بخصوص در محل خروجی رواناب شهری، مقادیر EC بالاست.

بررسی لوگ چاهها و گمانه های حفر شده در این ناحیه از منطقه مورد مطالعه نشان می دهد که لایه شور کننده در این منطقه وجود نداشته لذا عمدتاً عامل انسانی باعث افزایش شوری شده است. بر اساس مطالعه صورت گرفته توسط آقازاده و همکاران در سال (۱۳۸۵) و (۲۰۱۰) و همچنین بر اساس مطالعات آنها در سال (۲۰۱۷) استفاده از نمک و آب شور در معابر شهری ارومیه به منظور جلوگیری از یخبندان و ذوب برفها باعث تغییر کیفیت و شوری آبهای سطحی و زیرزمینی پذیرنده شده است، لذا بر این اساس، این افزایش

جدول ۴- نتایج حاصل از آنالیز حساسیت روش حذف نقشه (پارامتر).

پارامتر حذف شده	تغییرات شاخص آسیب پذیری		
	حداقل	حداکثر	میانگین
شیب	۰/۰۶۲	۰/۵۲۸	۰/۰۲۸
عمق آب	۰/۰۷۲	۱/۳۶۱	۰/۴۷۶
هدایت الکتریکی	۰/۰۹۶	۱/۱۹۵	۰/۴۷۳
قابلیت انتقال	۰/۰۸۹	۰/۹۲۸	۰/۴۰۴
کاربری اراضی	۰/۳۲۵	۳/۵۰۴	۰/۶۴۵
تاثیر زون غیر اشباع	۰/۰۰۲	۰/۱۲۱	۰/۱۹۵
شبکه زهکشی	۰/۰۲۰	۰/۴۵۴	۰/۴۹۵



شکل ۱۲- لایه معیار شیب (a)، کیفیت آب زیرزمینی پذیرنده (b)، ضریب قابلیت انتقال (c) و نقشه نهایی پهنه بندی مناطق مستعد پخش سیلاب جهت تغذیه آبهای زیرزمینی (d).

نتیجه گیری

شهری (۳۳ درصد از تغذیه کل آبخوان)، چاه‌های جذبی فاضلاب (۳۷ درصد از تغذیه کل آبخوان) و آب برگشتی آبیاری (۲۲ درصد از تغذیه کل آبخوان) بیشترین سهم تغذیه آبخوان را شامل می‌شوند.

نتایج حاصل از نقشه نهایی تهیه‌شده برای شناسایی مناطق مستعد نفوذ رواناب‌های شهری جهت تغذیه مصنوعی آبخوان نشان می‌دهد که مناطق مناسب برای تغذیه آبهای زیرزمینی در منطقه مورد مطالعه، مناطقی با کاربری اراضی بایر و کشاورزی با شیب کمتر از ۵ درصد و با فاصله کمتر از هزار متر از محل خروج آبهای زهکشی شده درحاشیه شهر می باشد. همچنین این مناطق از دیدگاه هیدروژئولوژیکی به دلیل دارا بودن رسوبات دانه درشت با نفوذی بالا و زیاد بودن ضخامت زیاد زون غیر اشباع، عمق آب زیرزمینی و ضریب قابلیت انتقال از شرایط مناسبی جهت نفوذ رواناب و تغذیه آبخوان برخوردار هستند.

در نهایت با توجه به عدم وجود مطالعات در خصوص تغذیه آبخوان های شهری، مدل تغذیه آبخوان شهری ارائه شده و نیز معیارهای لحاظ شده برای مکان یابی مناطق مستعد پخش سیلاب های شهری در این تحقیق می تواند به عنوان یک مدل الگو برای سایر مناطق شهری و حاشیه شهری با در نظر گرفتن شرایط آن محیط، مورد استفاده قرار گیرد.

نتایج حاصل از محاسبه رواناب مربوط به کاربری‌های مختلف اراضی نشان داد که در بیش از ۷۰ درصد از مساحت شهری، سطوح نفوذناپذیر بوده لذا حدوداً ۷۸ درصد از بارندگی به رواناب تبدیل شده که بیشترین حجم رواناب مربوط به کاربری مسکونی می‌باشد. بر اساس نتایج بدست آمده از مدل تغذیه و با توجه به کاربری‌های مختلف، پتانسیل تغذیه در منطقه مورد مطالعه بین ۴ تا ۲۶۳ میلی‌متر و مقدار تغذیه واقعی بین ۰ تا ۲۸ میلی‌متر در سال تغییر نموده و بیشترین پتانسیل تغذیه می‌تواند از کاربری‌های اراضی بایر، فضاهای باز، پارک‌ها و زمین‌های کشاورزی صورت گیرد.

نتایج حاصل از محاسبات تغذیه آبخوان از منابع مختلف نشان می‌دهد که مقادیر تغذیه ناشی از نفوذ مستقیم به آبخوان خیلی کم و در سال ۹۵ در حدود ۱/۳۲ میلیون مترمکعب می‌باشد که در مقایسه با تغذیه آبخوان از منابع غیرمستقیم کم و در حدود ۷ درصد از مجموع تغذیه را شامل می‌شود. بررسی نشان می‌دهد که در ۲۵ سال اخیر متناسب با کاهش بارندگی و افزایش سطوح نفوذناپذیر شهری در منطقه مورد مطالعه، میزان تغذیه مستقیم آبخوان شهری کاهش یافته ولی میزان تغذیه از منابع مختلف از قبیل نشت از شبکه آب شرب

منابع

- آقازاده، ن.، ۱۳۸۵، بررسی تاثیرات استفاده از نمک و آب شور در معابر شهری و جاده هابه منظور جلوگیری از یخبندان بر روی آبهای زیرزمینی آبخوان دشت ارومیه، نهمین همایش انجمن زمین شناسی ایران، دانشگاه تربیت معلم ایران، ص ۳۹۵-۳۹۲.
- برومندنسب، س.، جلالوند، ع.، ۱۳۹۰، هیدرولوژی، هیدرولیک و کیفیت رواناب در حوضه های شهری، انتشارات دانشگاه شهید چمران اهواز.
- ترک قشقایی نژاد، س.، چیت سازان، م.، ۱۳۸۶، برآورد مقدار بهینه آبدهی ویژه و تخمین تغذیه آبخوان آزاد دشت گلگیر، استان خوزستان، مجله آکو هیدرولوژی، دوره ۴، شماره ۴، ص ۹۸۱-۹۶۹.
- توسلی، ا.، وفا خواه، م.، و حسین نیا، ا.، ۱۳۸۷، مکان یابی مناطق ذخیره های مسیل های شهری مشهد با کمک GIS، سومین کنفرانس مدیریت منابع آب.
- مافی، ع.، مرادی، غ.، حیاتی، س.، خیام پور، ر.، ۱۳۹۳، مدیریت و دفع رواناب های شهری با استفاده از سیستم اطلاعات جغرافیایی GIS و تکنیک River tools: مطالعه موردی منطقه یک شهر اهواز، مجله جغرافیا و توسعه ناحیه ای، سال دوازدهم، شماره ۲۲.
- مصطفائی، ا.، مرادنیا، و.، گودرزی، م.، ۱۳۹۶، ارزیابی نقش طرح پخش سیلاب سرچاهان - هرمزگان در تغذیه مصنوعی آب زیرزمینی، مجله آکو هیدرولوژی، دوره ۴، شماره ۳، ص ۷۶۱-۷۴۹.

یوسفی. ح.، نورالهی. ی.، سلطانی. ک.، جوادزاده. ز.، ۱۳۹۳، پهنه بندی خطر سیل و معرفی راهکارهای مدیریتی در مناطق ا و ۳ شهر تهران، مجله اکوهیدرولوژی، شماره ۳، ص ۱۹۳-۱۸۱.

- Lerner DN. Identifying and quantifying urban recharge: a review. *Hydrogeology Journal*. 2002; 10:143–152.
- Howard KW. Sustainable cities and the groundwater governance challenge. *Environ Earth Sci*. 2015;73,2543–2554.
- Naik PK, Tambe JA, Dehury BN, Tiwari AN. Impact of urbanization on the groundwater regime in a fast growing city in central India. *Environmental Monitoring Assessment*. 2008; 146: 339-373.
- Sharp MJ. The impacts of urbanization on groundwater systems and recharge. *AQUAmundi*. 2010; DOI 10.4409/Am-004-10-0008.
- Minnig M, Moeck C, Radny D, Schirmer, M. Impact of urbanization on groundwater recharge rates in Dübendorf, Switzerland. *Journal of Hydrology*. 2018; 563: 1135–1146.
- Grischek T, Nestler W, Piechniczek D, Fischer T. Urban groundwater in Dresden, Germany. *Hydrogeology Journal*. 1996; 4: 48-63.
- Aronica G, Lanza LG. Drainage efficiency in urban area: A case study. *Hydrological Processes*. 2005; 19:1105-1119.
- Wakode HB, Baier K, Jha R, Azzam R. Impact of urbanization on groundwater recharge and urban water balance for the city of Hyderabad, India. *International Soil and Water Conservation Research*. 2018; 6: 51–62.
- Islam S, Singh RK, Abad Khan R. Methods of Estimating Ground Water Recharge. *International Journal of Engineering Associates*. 2016; 5(2):6-9.
- Kruse E, Carol E, Mancuso M, Laurencena P, Deluchi M, Rojo A. Recharge assessment in an urban area: a case study of La Plata, Argentina. *Hydrogeology Journal*. 2013; 21: 1091–1100.
- Thomas A, Tellam, J. Modelling of recharge and pollutant fluxes to urban groundwater *Science of the Total Environment*. 2006; 360: 158–179.
- Tubau I, Vázquez-Suné E, Carrera J, Valhondo C, Criollo R. Quantification of groundwater recharge in urban environments. *Science of The Total Environment*. 2017; 592: 391-402.
- Tama VT, Ngab TV. Assessment of urbanization impact on groundwater resources in Hanoi, Vietnam. *Journal of Environmental Management*. 2018; 227: 107–116.
- Vazquez-Suné E, Carrera J, Tubau I, Sanchez-Vila X, Soler A. An approach to identify urban groundwater recharge. *Hydrol. Earth Syst. Sci*. 2010; 14: 2085–2097.
- Kumar M, Rao S, Kumar B, Ramanathan A. Identification of aquifer-recharge zones and sources in an urban development area (Delhi, India), by correlating isotopic tracers with hydrological features. *Hydrogeology Journal*. 2011; 19: 463–474.
- Chowdhury A, Jha MK, Chowdary VM. Delineation of groundwater recharge zones and identification of artificial recharge sites in West Medinipur district, West Bengal, using RS, GIS and MCDM techniques. *Environmental Earth Sciences*. 2010; 59(6): 1209-1222.
- Ehsan S. Utilization of Storm Runoff for Groundwater Recharge in Urban Areas- A Case Study of Gujranwala City in Pakistan. *Journal of river engineering*. 2013; 1(2):1-10.
- Singh S, Samaddar AB, Srivastava RK, Pandey HK. Ground Water Recharge in Urban Areas – Experience of Rain Water Harvesting. *Journal geological society of India*. 2014; 83; 295-302.
- Gogate NG, Rawal PM. Identification of Potential Storm Water Recharge Zones in Dense Urban Context: A Case Study from Pune city. *Int. J. Environ. Res*. 2015; 9(4):1259-1268.
- Lodwick WA, Munson WNA, Svoboda L. Attribute error and sensitivity analysis of map operations in geographical information systems: suitability analysis, *International Journal of Geographic Information Systems*. 1990; 4(4): 413-428.
- Aghazadeh N, Nojavan M, Mogaddam AA. Effects of road-deicing salt (NaCl) and saline water on water quality in the Urmia area, northwest of Iran. *Arab J Geosci*. 2010; 5(4): 565-570.
- Chitsazan M, Aghazadeh N, Mirzaee Y, Golestan Y, Mosavi S. Hydrochemical characteristics and quality assessment of urban groundwater in Urmia City, NW Iran. *Water Science and Technology: Water Supply*. 2017; DOI: 10.2166/ ws. 2017. 039