

## کاربرد سیستم اطلاعات جغرافیایی (GIS)، جهت برآورد توزیع مکانی اجزاء معادله بیلان در آبخوان دشت قائمشهر - جویبار

امیر جوهریان

کارشناس ارشد آبیاری و زهکشی، دانشگاه زابل، amir.joharian@gmail.com

کوروش محمدی

دانشیار، پژوهشکده مهندسی آب دانشگاه تربیت مدرس، kouros@mofares.ac.ir

### چکیده

رمز بقاء و توسعه پایدار اقتصادی در هر منطقه‌ای وجود آب می‌باشد. در مناطق شمالی ایران با وجود حجم بالای بارندگی و منابع آب سطحی فراوان، لیکن آب زیرزمینی نیز یکی از منابع عمده تأمین کننده نیاز آب مصرفی جهت مصارف کشاورزی، شرب و صنعت می‌باشد. از این رو شناخت منابع آب به خصوص آب‌های زیرزمینی موجب مدیریت صحیح مصرف و حفظ این منابع پرارزش می‌شود. یکی از راه‌هایی که می‌توان به کمک آن به این شناخت رسید، بهره گرفتن از روش بیلان آب زیرزمینی در تلفیق با سایر روش‌های نوین نظیر زمین آمار و سیستم اطلاعات جغرافیایی (GIS) می‌باشد. در این تحقیق با استفاده از زمین آمار و سیستم اطلاعات جغرافیایی ضمن تخمین بیلان آب زیرزمینی، توزیع مکانی اجزاء معادله بیلان در آبخوان دشت قائمشهر - جویبار واقع در استان مازندران برای سال آبی 83-1382 تهیه گردید. نتایج این تحقیق حکایت از کارایی استفاده از GIS در شناخت بهتر پارامترهای تغذیه و تخلیه منبع آب زیرزمینی و توزیع مکانی آنها داشت. با استفاده از این توزیع مکانی و با توجه به مثبت بودن بیلان آب زیرزمینی می‌توان مناطقی که دارای اضافه برداشت هستند را توصیه نمود. بدون استفاده از GIS، امکان تهیه بیلان آب زیرزمینی فقط برای کل آبخوان و بصورت یکجا وجود داشته ولی با این ابزار در آبخوان قائمشهر - جویبار، محاسبات بیلان برای سلول‌های با ابعاد  $100 \times 100$  انجام گردید.

**واژگان کلیدی:** بیلان آب زیرزمینی، زمین آمار، سیستم اطلاعات جغرافیایی (GIS)

### 1- مقدمه

جهت حفظ منابع آب زیرزمینی و مدیریت مناسب آن باید این منابع گران بها بطور کامل شناسایی شده و میزان تغذیه و تخلیه سالانه آن برآورد گردد. بیلان آب یکی از موضوعات اساسی علم هیدرولوژی است که بر مبنای آن می‌توان اجزاء منابع آب موجود سیستم را در فواصل زمانی مختلف مورد مقایسه قرار داد و نتیجه تأثیر هر کدام را در تغییرات رژیم آبی مورد شناسائی قرار داد (حسام، 1383). درحقیقت معادله بیلان آب عبارت است از، کاربرد اصل بقاء ماده که تحت نام معادله پیوستگی بیان می‌شود. به کمک بیلان آب می‌توان به میزان برداشت مجاز از آبخوان و یک مدیریت صحیح جهت بهره‌برداری و استخراج از آن دست یافت. برداشت مجاز آب زیرزمینی به میزان آبی که می‌تواند بدون ایجاد نتایج نامطلوب از آبخوان برداشت

شود، اطلاق می‌گردد. در عمل، برداشت مجاز باید کمتر از متوسط سالیانه تغذیه برای جبران افت‌های فرعی آب زیرزمینی باشد. هرگونه برداشت بالاتر از میزان برداشت مجاز، برداشت بی‌رویه می‌باشد (تود<sup>۱</sup>، 1987؛ فریز و چری<sup>۲</sup>، 1979؛ فیتز<sup>۳</sup>، 1988؛ دیویس و دیویست<sup>۴</sup>، 1966).

با توجه به رشد روز افزون علم و فراهم شدن امکان استفاده از تکنیک و روش‌های نوین نظیر زمین آمار و سیستم اطلاعات جغرافیایی (GIS)، به نظر می‌رسد که کاربرد توأم آن با سایر روش‌های شناخته شده قبلی، می‌تواند به تخمین و برآورد دقیق‌تر متغیرهای مورد نظر، کمک به سزائی کند. زمین آمار شاخه‌ای از علم آمار بوده که به کمک آن می‌توان با استفاده از داده‌های یک کمیت در مختصات معلوم، مقدار همان کمیت را در مختصات معلوم دیگر تخمین زد (پاک، 1386). سیستم اطلاعات جغرافیایی یک سامانه رایانه‌ای است که داده‌های مکانی را استفاده و نگهداری می‌کند. طبق تعریف باروق<sup>۵</sup> (1986)، سیستم اطلاعات جغرافیایی مجموعه‌ای از ابزارهای جمع‌آوری، ذخیره‌سازی، بازیافت، تبدیل و نمایش داده‌های مکانی از جهان واقعی است.

تحقیقات گسترده‌ای در زمینه بکارگیری روش بیلان آب، GIS و زمین آمار انجام گرفته است. به عنوان مثال، مارشال و همکاران<sup>۶</sup> (2006)، با تقسیم معادله بیلان به دو دوره خشک و مرطوب توانستند مقدار تغذیه و آبدهی ویژه را در آبخوانی در هندوستان را محاسبه کنند. روش به کار رفته قادر به تخمین مقادیر مذکور برای کل آبخوان بود. تیلاهون و مرکل<sup>۷</sup> (2009)، تغذیه آب زیرزمینی منطقه دیر داوا<sup>۸</sup> کشور اتیوپی را با استفاده از توزیع مکانی اجزاء معادله بیلان آب و GIS مورد بررسی قرار دادند. صائمی و کمالی (1388)، ضمن محاسبه بیلان آب زیرزمینی دشت نیریز، راهکارهایی را جهت مدیریت مصرف بهینه منابع آب زیرزمینی ارائه نمودند.

## 2- مواد و روش‌ها

### 2-1- معرفی منطقه مطالعاتی

حوضه آبریز رودخانه تالار با مساحت 3522 در بخش مرکزی استان مازندران بین طول جغرافیای 30° 52 تا 20° 53 و عرض جغرافیایی 45° 35 تا 45° 36، بین شهرستان‌های ساری، بابل، قائمشهر و جویبار قرار گرفته است که 1172 کیلومتر آن را دشت قائمشهر تشکیل داده است. رودخانه‌های تالار و سیاهرود در دو سمت غرب و شرق این محدوده جریان دارند (شکل 1). این منطقه با آب و هوای معتدل خزری دارای بارش متوسط سالیانه 800 - 700 میلیمتر می‌باشد. حداقل سطح برخورد به آب بطور متوسط بین 1 تا 3 متر در نواحی مرکزی و در مجاورت مرزهای شمالی دشت و حداکثر سطح برخورد به آب بطور غالب در مجاورت ارتفاعات جنوبی دشت می‌باشد. تنها جبهه ورودی آب زیرزمینی دشت قائمشهر - جویبار نواحی جنوبی آن بوده که به دلیل کوهستانی بودن و داشتن رسوبات آبرفتی دانه درشت، تغذیه حاصل از بارندگی و سیلاب‌ها بیشتر است. تنها جبهه خروجی آب زیرزمینی دشت در نواحی شمالی دشت هم‌مرز با حاشیه جنوبی دریای خزر می‌باشد که مقدار زیادی از آب سفره زیرزمینی از این ناحیه خارج و زهکشی می‌گردد. جهت اصلی جریان آب زیرزمینی دشت قائمشهر - جویبار، جنوبی - شمالی می‌باشد. براساس آمار برداری سال 83-1382 تعداد 18684 حلقه چاه در منطقه مطالعاتی قائمشهر - جویبار آماربرداری گردیده است که بیشتر چاه‌های دشت را چاه‌های کم عمق تشکیل می‌دهد (بی‌نام، 1386).

1- Todd

2- Freeze and Cherry

3- Fetter

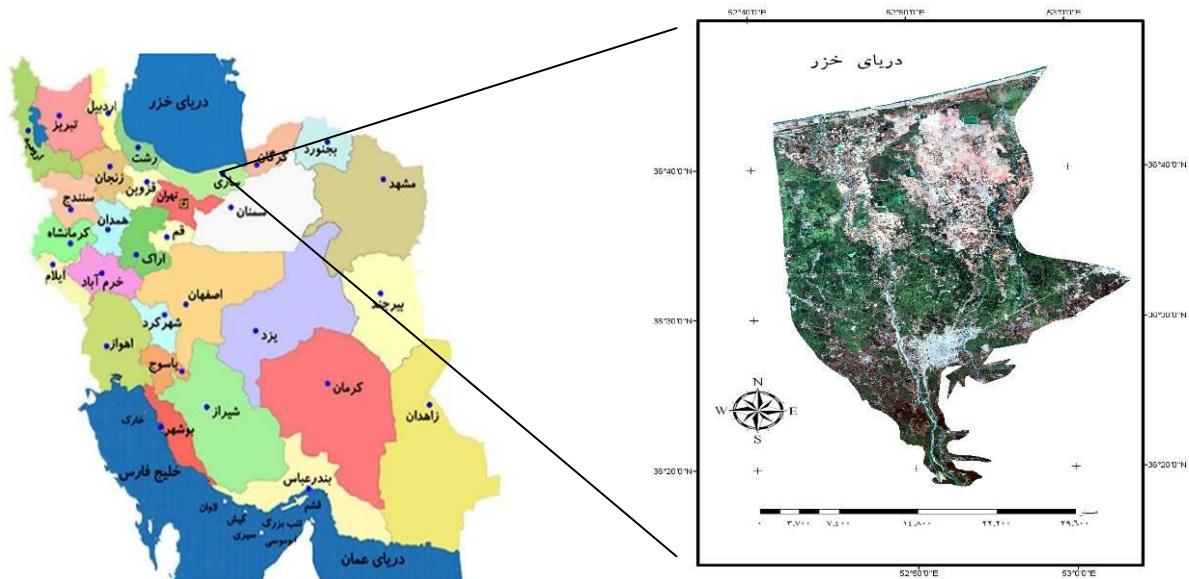
4- Davis and Deveist

5- Burrough

6- Marechal et al.

7- Tilahun and Merkel

8- Dire Dawa



شکل 1: موقعیت محدوده مطالعاتی

## 2-2- معادله بیلان

طبق تعریف معادله بیلان را می توان به صورت زیر نوشت:

$$Q_{in} + R - (Q_{out} + Q_d + E + D) = \pm \Delta V \quad (1)$$

در معادله (1)،  $Q_{in}$  و  $Q_{out}$ : به ترتیب میزان آب ورودی و خروجی آب زیرزمینی به منطقه بیلان،  $R$ : هر نوع تغذیه سطحی (آب برگشتی کشاورزی  $R_i$ ، تغذیه از بارندگی  $R_p$ ، تغذیه ناشی از سیلابها  $R_f$ ، تغذیه از کف  $R_b$ ، تغذیه از آبهای آبیاری  $R_{i-r}$ ، تغذیه ناشی از فاضلابها  $R_w$ )،  $Q_d$ : مقدار بهره برداری از منابع آب زیرزمینی در محدوده بیلان،  $E$ : میزان تبخیر و تعرق از سطح سفره آبهای کم عمق منطقه،  $D$ : مقدار زهکشی سفره توسط هر نوع زهکش (رودخانه و غیره)،  $\pm \Delta V$ : تغییرات حجم سفره آب در یک دوره مشخص می باشد.

## 2-3- مدت و محدوده بیلان

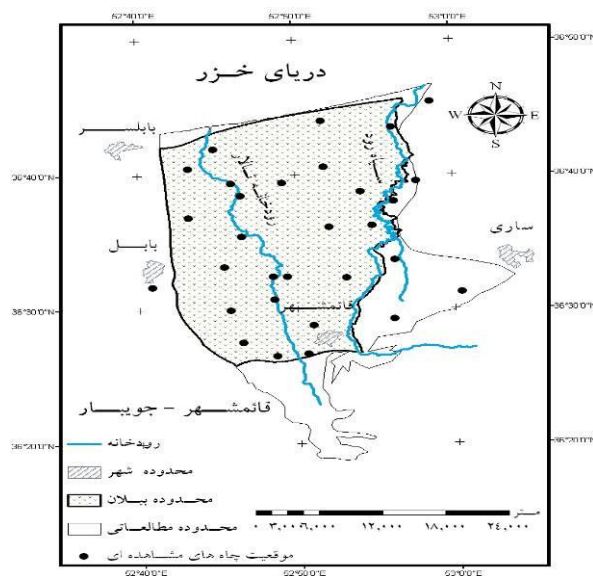
در این مطالعه، مدت زمان بیلان، دوره یکساله آبی از 15 مهر ماه سال 1382 لغایت 15 مهر ماه سال 1383 منظور گردیده است. برای دقت و کنترل ارقام، این دوره خود به دو دوره مرطوب یعنی از حالت مینیمم سطح آب تا ماکزیمم آن (از 15 مهر سال 1382 الی 15 فروردین سال 1383) و یک دوره خشک یعنی از ماکزیمم سطح آب تا مینیمم آن (15 فروردین سال 1383 الی 15 مهر سال 1383)، تقسیم گردید. محدوده بیلان نیز به کمک نقشه تراز آب زیرزمینی تهیه شده که سطحی به وسعت 648/71 کیلومتر مربع را شامل می شود (شکل 2).

## 2-4- زمین آمار

تابع تغییرنما با در نظر گرفتن فاصله به صورت زیر می باشد:

$$\gamma(h) = \frac{1}{2n} \sum_{2n}^n [Z(x_i) - Z(x_i + h)]^2 \quad (2)$$

در معادله (2)،  $Z(x)$  و  $Z(x+h)$  مقدار متغیر مکانی در دو نقطه به مختصات  $x$  و  $x+h$ ،  $\gamma(h)$  تغییرنما و  $n$  تعداد زوج نقاط که به فاصله  $h$  از هم قرار گرفته اند، می باشد. جهت انجام تخمین های زمین آماری، تخمین گره های مختلفی موجود می باشد.



شکل 2: محدوده بیلان و موقعیت جاه های مشاهده ای

تخمین گر کریجینگ معمولی با توجه به قابلیت ها و توانائی های آن در مطالعات آب زیرزمینی به خصوص در تخمین سطح آب زیرزمینی در این مطالعه استفاده گردید (تروسی و همکاران<sup>1</sup>، 2000؛ کومار و رمادوی<sup>2</sup>، 2006؛ گوندوقدو و گونی<sup>3</sup>، 2010).

در این تحقیق نرم افزار ArcGIS، به دلیل در ارتباط بودن با داده های مکانی و سیستم اطلاعات جغرافیایی و از طرفی جامع بودن در مقایسه با نرم افزارهای موجود جهت تحلیل داده های مکانی انتخاب شد.

### 3- نتایج و بحث

جهت برآورد توزیع مکانی هریک از اجزاء معادله بیلان لازم است پارامترهای تغذیه و تخلیه بطور مجزا در محیط نرم افزار ArcGIS با ابعاد پیکسل 100×100 برای هر دو دوره مرطوب و خشک رستر گردد. لازم به ذکر است، از آنجا که کشاورزی فقط در دوره خشک سال صورت می گیرد لذا برآورد توزیع مکانی تغذیه ناشی از آب برگشتی کشاورزی، تغذیه ناشی از آب برگشتی استحصال شده توسط موتور پمپها، تغذیه از آب برگشتی انهار و تغذیه از بستر آبندانها، فقط در دوره خشک سال می باشد.

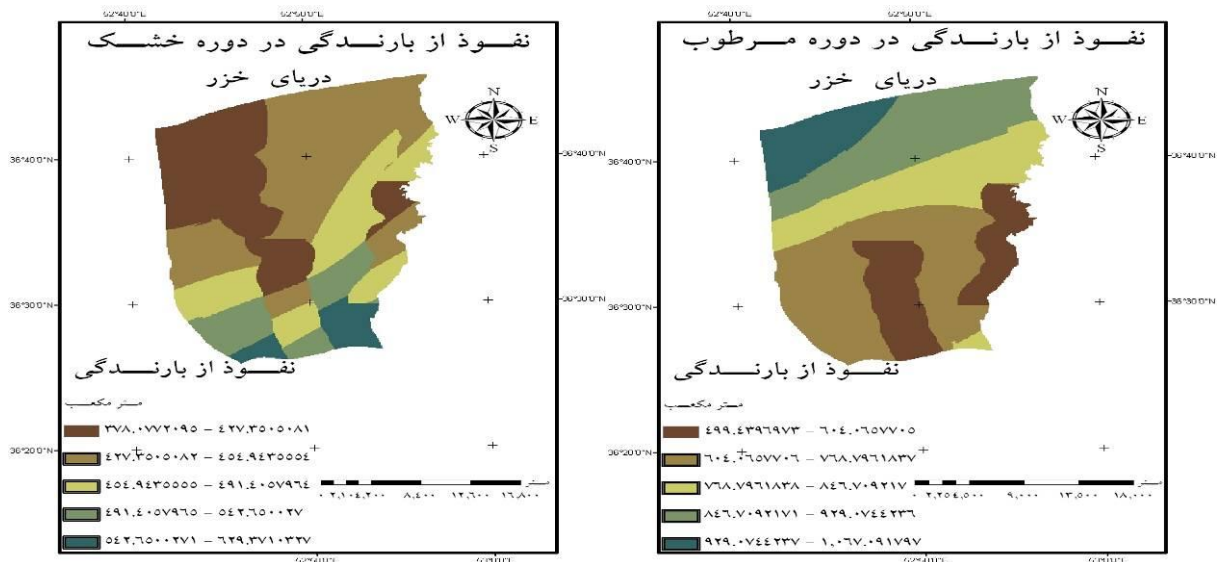
#### 3-1- عوامل تغذیه

جهت تهیه نقشه تخمینی سطح بارندگی میزان بارندگی ثبت شده به همراه مختصات آن برای هریک از دو دوره مرطوب و خشک وارد محیط GIS گردید. پس از بررسی ترمال بودن داده ها و تهیه نیم تغییرنما، مناسب ترین (مدل نمایی) برای هر دو دوره مرطوب و خشک جهت برازش انتخاب گردید و در نهایت نقشه تخمین سطح بارندگی استخراج گردید. میزان بارندگی اتفاق افتاده در محدوده بیلان برای دوره مرطوب و خشک به ترتیب، 356/78 و 238/77 میلیون متر مکعب می باشد. با توجه به جنس خاک منطقه و پس از انجام سعی و خطا درصد نفوذ از بارندگی بین 11 و 14/57 برای دوره مرطوب و 11 و 12/68 برای دوره خشک برآورد گردید. در ادامه با اعمال این ضرایب در محیط GIS، نقشه تخمینی نفوذ از بارندگی تهیه گردید که میزان نفوذ از بارندگی برای دوره مرطوب و خشک به ترتیب 49/94 و 29/39 میلیون متر مکعب برآورد گردید (شکل 3).

1- Troisi et al.

2- Kumar and Remadevi

3- Gundogdu and Guney

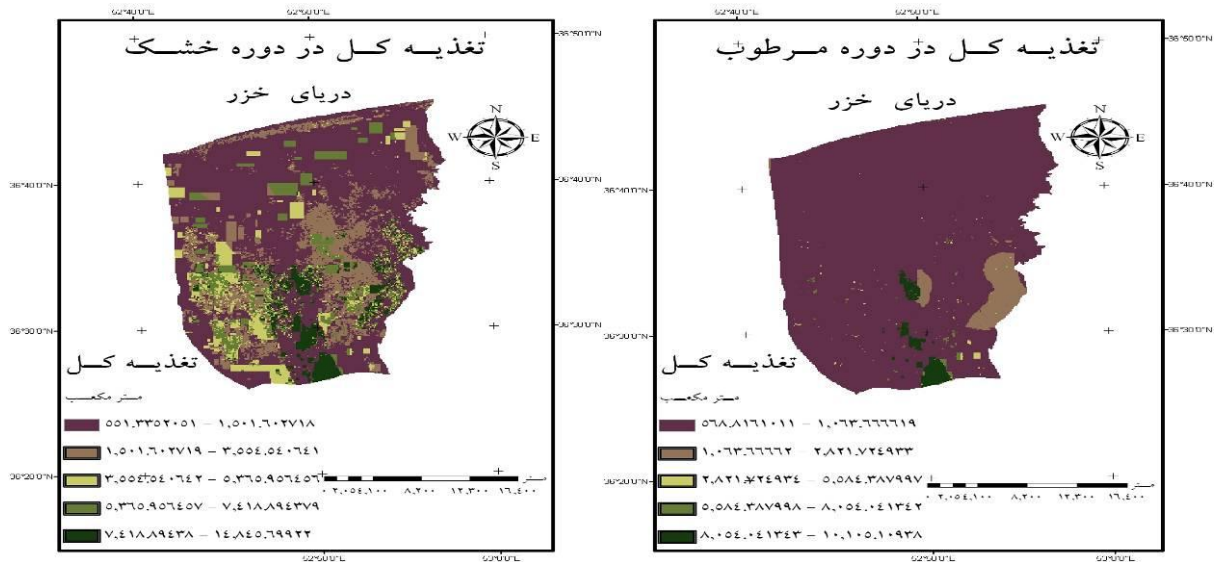


شکل 3: نقوذ از بارندگی در دوره مرطوب و خشک

جهت برآورد توزیع مکانی تغذیه از بستر رودخانه تالار و سیاهرود، تغذیه از آب برگشتی کشاورزی، تغذیه از آب برگشتی استحصال شده توسط موتور پمپها، تغذیه از آب برگشتی انهار، تغذیه از بستر آبندانها و تغذیه از آب برگشتی شرب، صنعت و بهداشت باید سطحی مصارف فوق در آن صورت می‌گیرد بطور مجزا بر اساس حجم آب مورد استفاده رستر گردد. در ادامه با حل معادله بیلان از طریق سعی و خطا درصد نقوذ تعیین گردیده و با اعمال در لایه مربوطه نقشه مربوط تغذیه صورت گرفته برای هر یک از موارد فوق استخراج می‌گردد. لازم به ذکر است که از آنجا که آب آبندانها از طریق انهار کشاورزی توزیع می‌گردد، لذا حجم آب مصرفی توسط این منابع در برداشت از انهار دیده شده است لذا تغذیه از بستر آبندانها مدنظر می‌باشد. در ادامه با جمع جبری هر یک از عوامل تغذیه در دوره‌های مرطوب و خشک بطور جداگانه، نقشه کل تغذیه اتفاق افتاده در محدوده بیلان برای هر یک از دو دوره خشک و مرطوب استخراج می‌گردد. به این ترتیب، میزان کل تغذیه اتفاق افتاده در محدوده بیلان برای دوره مرطوب و خشک به ترتیب در حدود 66/23 و 134/43 میلیون متر مکعب برای سال آبی 83-1382، برآورد گردید. (شکل 4). خلاصه مقادیر بدست آمده برای عوامل تغذیه کننده آبخوان، در جدول (1) ارائه شده است.

جدول 1: خلاصه عوامل تغذیه کننده سفره آب زیرزمینی

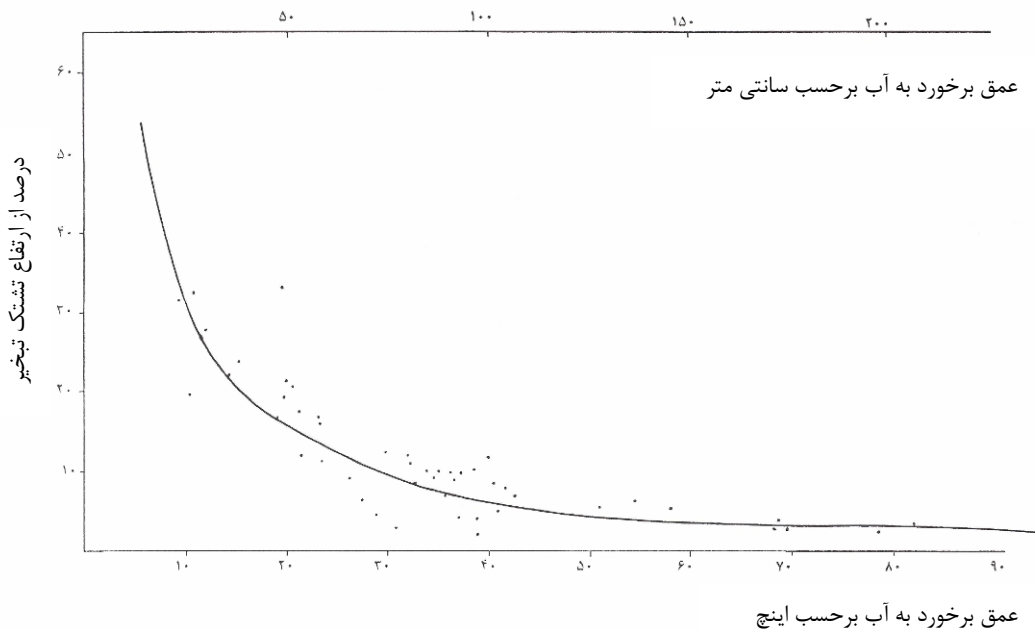
عوامل تغذیه	دوره مرطوب (میلیون متر مکعب)	دوره خشک (میلیون متر مکعب)	کل (میلیون متر مکعب)
نقوذ از بارندگی	49/94	29/39	79/33
نقوذ از بستر و حریم رودخانه‌ها	10/74	19/20	29/94
نقوذ از آب برگشتی کشاورزی	0	34/29	34/29
نقوذ از آب برگشتی موتور پمپها	0	1/48	1/48
نقوذ از آب برگشتی انهار	0	23/60	23/60
نقوذ از بستر آبندانها	0	20/93	20/93
نقوذ از آب برگشتی شرب و ...	5/55	5/54	11/09
جمع عوامل ورودی	66/23	134/43	200/66



شکل 4: تغذیه کل در دوره مرطوب و خشک

### 3-2- عوامل تخلیه

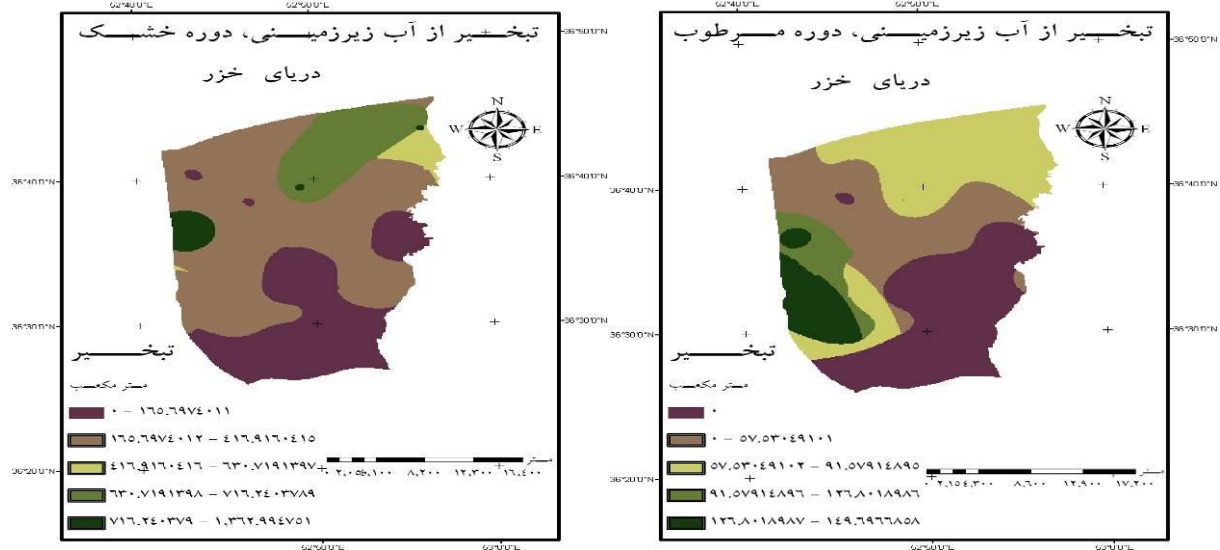
در این تحقیق از روش وایت که میزان تبخیر از سفره آب زیرزمینی برحسب عمق آب و میزان تبخیر از تشت را به دست می‌دهد، استفاده گردید. جهت تهیه نقشه تخمینی تبخیر از سطح آب زیرزمینی، در ابتدا با استفاده از داده‌های 30 حلقه چاه مشاهده‌ای و روش‌های زمین آمار، نقشه تخمینی سطح آب زیرزمینی (همچون نقشه تخمینی سطح بارندگی) در ماه حداقل (مهر) و ماه حداکثر (فروردین) تهیه گردید. لازم به ذکر است که داده‌ها در ابتدا با استفاده از تبدیل لگاریتمی نرمال‌سازی گردید و مدل نمایی برای هر دو ماه حداقل و حداکثر جهت برازش به تغییرنا مناسب تشخیص داده شد. در ادامه با بهره‌گیری از قابلیت‌های نرم‌افزار ArcGIS و درصدهای به دست آمده از نمودار وایت (شکل 5)، نقشه مربوطه کلاس‌بندی گردید.



شکل 5: درصد تبخیر از تشت بر اساس عمق سطح ایستابی (نمودار وایت)

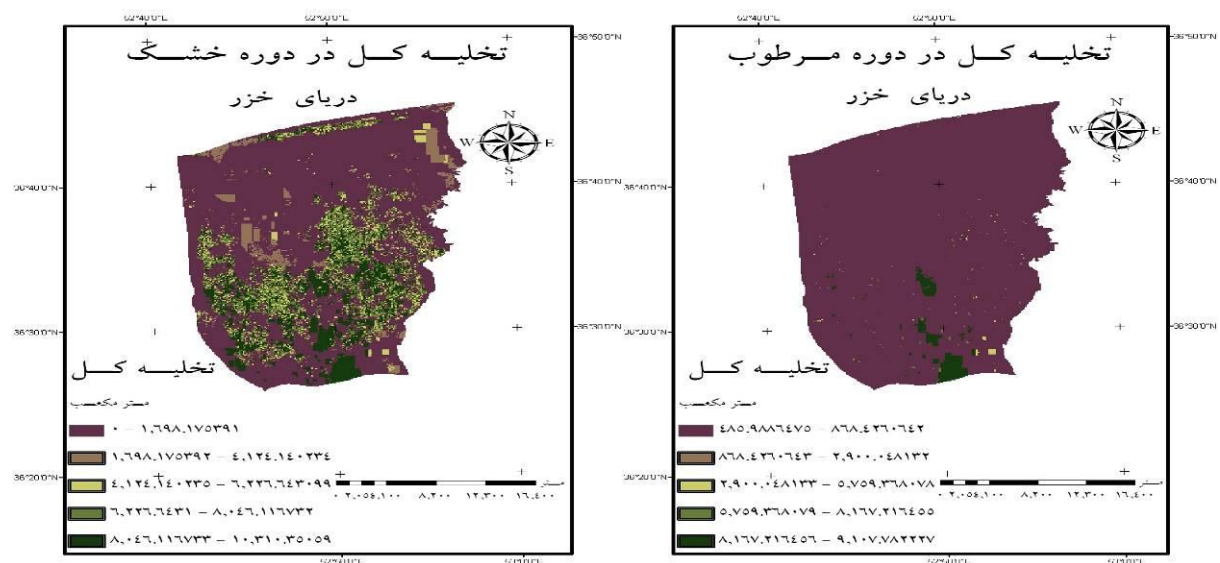
نقشه تخمینی تبخیر از سطح منطقه با استفاده از آمارهای ایستگاه‌های هواشناسی موجود در منطقه همچون مرحله قبل تهیه گردید و مشخص شد که مدل دایره‌ای برای دوره مرطوب و مدل نمایی برای دوره خشک به عنوان مناسب‌ترین مدل

جهت برآزش به تغییرنما می‌باشد. در ادامه با تلفیق نقشه بدست آمده با نقشه کلاس‌بندی شده در مرحله قبل، نقشه اصلاح شده تبخیر از سطح آب زیرزمینی توسط روش وایت به دست آمد (شکل 6). میزان تبخیر از سطح سفره آب زیرزمینی در دوره مرطوب و خشک به ترتیب 3/27 و 20/54 میلیون متر مکعب بدست آمد.



شکل 6: تبخیر از سطح آب زیرزمینی در دوره مرطوب و خشک

برداشت از 15168 حلقه چاه در دست بهره‌برداری از عوامل دیگر تخلیه کننده آب زیرزمینی می‌باشد. جهت برآورد توزیع مکانی آن، سطحی را که این برداشت صورت می‌گیرد براساس میزان برداشت آن در محیط GIS رستر گردید. لازم به ذکر است از آنجا که کشاورزی در دوره خشک سال اتفاق می‌افتد لذا برداشت از این چاه‌ها فقط در دوره خشک سال اتفاق می‌افتد. نقشه‌های تراز آب زیرزمینی نشان از حالت زهکش داشتن رودخانه‌های تالار و سیاهرود به ترتیب در نوحی شمالی و جنوبی در دوره مرطوب و خشک دارد. جهت برآورد توزیع مکانی آن با بهره‌گیری از قانون داریسی و بهره‌گیری از قابلیت‌های نرم‌افزار ArcGIS نقشه مربوطه تهیه گردید. با جمع جبری نقشه‌های مربوط به هر یک از عوامل تخلیه برای دوره‌های مرطوب و خشک بطور جداگانه، میزان کل تخلیه اتفاق افتاده برای هر یک از دو دوره خشک و مرطوب در محدوده بیان بدست می‌آید (شکل 7).



شکل 7: تخلیه کل در دوره مرطوب و خشک

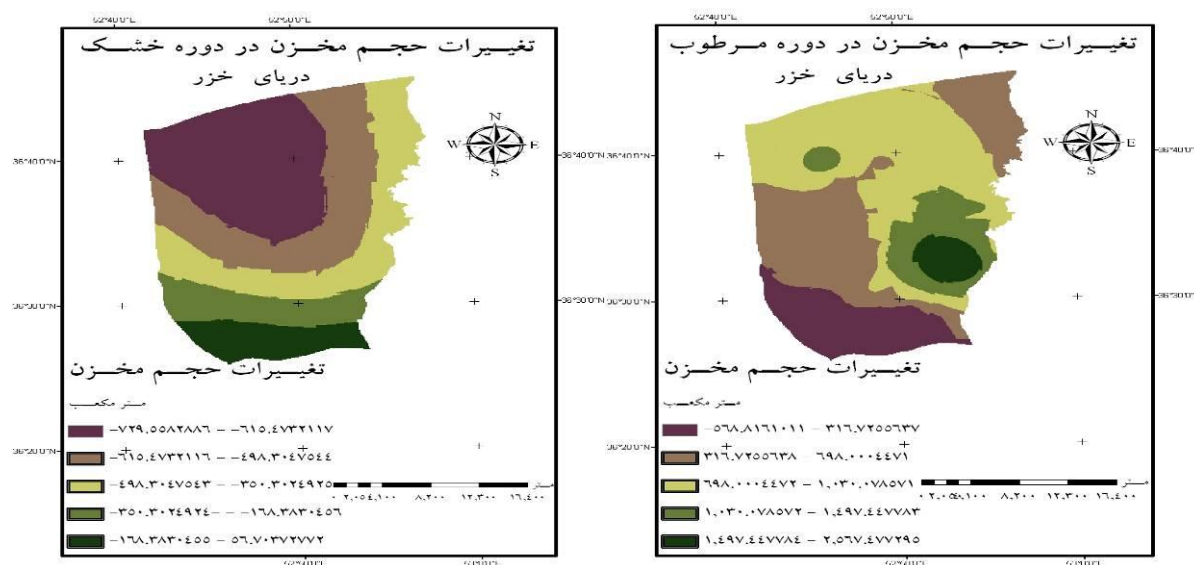
میزان تخلیه کل برای دوره مرطوب و خشک به ترتیب 19/44 و 166/23 میلیون متر مکعب برآورد گردید. خلاصه عوامل تخلیه کننده سفره آب زیرزمینی در جدول (2) ذکر شده است.

جدول 2: خلاصه عوامل تخلیه کننده سفره آب زیرزمینی

عوامل تخلیه	دوره مرطوب (میلیون متر مکعب)	دوره خشک (میلیون متر مکعب)	کل (میلیون متر مکعب)
تبخیر از آب زیرزمینی	3/27	20/54	23/81
برداشت از چاه‌های عمیق و نیمه عمیق	15/02	138/86	153/88
زهکشی توسط رودخانه‌ها	32/10	18/83	50/93
جمع عوامل خروجی	50/39	178/23	228/62

### 3-3- تغییرات حجم مخزن

جهت محاسبه و تعیین توزیع مکانی تغییرات حجم مخزن، تغییرات تراز سطح آب زیرزمینی مابین ماه حداقل و حداکثر (مهر 1382 و فروردین 1383) در دوره مرطوب و ماه حداکثر و حداقل (فروردین 1383 و مهر 1383) در دوره خشک محاسبه و با بهره‌گیری از قابلیت‌های زمین آماری نرم‌افزار ArcGIS نقشه مربوطه تهیه گردید. لازم به ذکر است که مدل نمائی برای دوره مرطوب و مدل گوسی برای دوره خشک به عنوان مناسب‌ترین مدل جهت برازش به تغییرنا انتخاب گردید. در ادامه با حل معادیه بیلان از طریق سعی و خطا، ضریب ذخیره مخزن برای دوره مرطوب و خشک تعیین گردید و با اعمال آن، نقشه تغییرات مکانی حجم مخزن محاسبه گردید (شکل 8). تغییرات حجم مخزن برای دوره مرطوب و خشک به ترتیب 46/78 و 31/80- میلیون متر مکعب برآورد گردید.



شکل 7: تغییرات حجم مخزن در دوره شک و مرطوب

خلاصه محاسبات بیلان برای دوره مرطوب و خشک در جدول (3) ارائه شده است. لازم به ذکر است، مقدار خطاء در این جدول مربوط به عدم توازن به واسطه خطاهای محاسباتی بوده و از تقسیم مقدار (ورودی - خروجی) تغییرات حجم مخزن) بر اختلاف بین ورودی‌ها و خروجی‌ها محاسبه گردید.



جدول 3: خلاصه محاسبات بیلان (میلیون متر مکعب)

کل (میلیون متر مکعب)	دوره خشک (میلیون متر مکعب)	دوره مرطوب (میلیون متر مکعب)	شرح بیلان
200/66	134/43	66/23	عوامل تغذیه
185/67	166/23	19/44	عوامل تخلیه
14/98	-31/80	46/78	تغییرات حجم مخزن
0/01	0/00	0/01	ورودی - خروجی $\pm$ تغییرات حجم مخزن
0/07	0/00	0/02	خطا (درصد)

#### 4- نتیجه گیری

با توجه به مقادیر محاسبه شده برای تبخیر از سطح آب زیرزمینی و زهکشی توسط رودخانه‌های تالار و سیاهرود، می‌توان پتانسیل افزایش برداشتی در حد 30 میلیون متر مکعب در سال را برای سفره آب زیرزمینی دشت قائمشهر - جویبار در نظر گرفت بدون آنکه سفره آب زیرزمینی با خطری روبرو گردد. البته باید این نکته را در نظر داشت که با توجه به توزیع مکانی محل برداشت از سفره آب زیرزمینی که عمدتاً در نواحی مرکزی دشت قرار دارند و همچنین عدم نیاز به برداشت تا حد افزایشی مورد نظر لذا توصیه می‌گردد، چنانچه افزایش برداشتی مورد نیاز بود در حد مقادیر تبخیر از سفره و از همان نواحی تبخیری صورت گیرد.

#### 5- منابع

- 1- بی‌نام، (1386)، مطالعات نیمه تفصیلی منابع آب زیرزمینی حوضه‌های آبریز محدوده‌های مطالعاتی بابل - آمل (1501) و قائمشهر - جویبار (1502). وزارت نیرو، شرکت آب منطقه‌ای استان مازندران.
- 2- پاک، ح. (1386)، زمین آمار (ژئواستاتستیک). انتشارات دانشگاه تهران.
- 3- حسام، م. (1373)، آزمون بیلان آبی ماهانه روش تورنت وایت و مطالعات منطقه‌ای هیدرولوژی در حوضه آبخیز خلیج گرگان، پایان‌نامه کارشناسی ارشد. دانشگاه تربیت مدرس.
- 4- صائمی، ا. و کمالی، غ. (1388)، روش‌های محاسبه بیلان و مدیریت بهینه منابع آب دشت نیریز. دومین همایش ملی اثرات خشکسالی و راهکارهای مدیریت آن.

- 5- Davis, S. N. and Deveist, R.J.M. 1966. Hydrogeology. John Willey & Sons Inc., New York, 463p.
- 6- Fetter, C. W. 1988. Applied hydrology. Merrill Publishing Columbus, OH, 592p.
- 7- Freeze, R. and Cherry, J. 1979. Groundwater. Prentice-Hall, Englewood cliffs, NJ, 604p.
- 8- Gundogdu, K.S. and Guney, I. 2007. Spatial analyses of groundwater levels using universal Kriging. Journal of Earth System Science, Vol. 116(1), pp. 49-55.
- 9- Kumar, V. and Remadevi, V. 2006. Kriging of groundwater levels - A case study. Journal of Spatial Hydrology, Vol. 6(1), pp. 81-92.
- 10- Marechal, J.C., Dewandel, B., Ahmen, S., Galeazzi, L. and Zaidi, F.K. 2006. Combined estimation of specific yield and natural recharge in a semi-arid groundwater basin with irrigated agriculture. Journal of Hydrology, Vol. 329, pp. 281-293.
- 11- Tilahun, K. and Merkel, B. J. 2009. Estimation of groundwater recharge using a GIS-based distributed water balance model in Dire Dawa, Ethiopia. Hydrogeology Journal, Vol. 17, pp. 1443-1457.
- 12- Todd, D. K. 1987. Groundwater Hydrology. John Willey & Sons Inc., New York, 535p.
- 13- Troisi, S., Fallico, C., Straface, S. and Migliari, E. 2000. Application of Kriging with external drift to estimate hydraulic conductivity from electrical-resistivity data in unconsolidated deposits near Montalto Uffugo, Italy. Hydrogeology Journal, Vol. 8(4), pp. 356-367.