

## برآورد تغذیه‌ی آب زیرزمینی دشت نیشابور به روش نوسانات سطح ایستابی (WTF)

t\_ahmadi8965@yahoo.com  
an-ziaei@yahoo.com  
arasoulzadeh@gmail.com  
k.davary@gmail.com

طیبه احمدی<sup>۱</sup>، علی نقی ضیایی<sup>۲</sup>، علی رسولزاده<sup>۳</sup>، کامران داوری<sup>۴</sup>  
<sup>۱</sup> دانشجوی کارشناسی ارشد مهندسی منابع آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد  
<sup>۲</sup> استادیاری بخش مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد  
<sup>۳</sup> استادیار گروه مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه محقق اردبیلی  
<sup>۴</sup> دانشیار گروه مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد

### چکیده

به منظور مدیریت بهینه‌ی منابع آب زیرزمینی، برآورد قابل قبول ورودی‌ها (تغذیه) و خروجی‌ها (پمپاژ و تخلیه‌ی طبیعی) در هر حوضه‌ی آب زیرزمینی ضروری است. این رفتار باید به گونه‌ای باشد که رفتار بلندمدت آبخوان و عملکرد پایدار آن را بتوان برآورد یا مجدداً ارزیابی نمود. در بررسی‌های منابع آب، اغلب از مدل‌های آب زیرزمینی بمنظور شبیه‌سازی جریان آب در آبخوانه استفاده می‌گردد، در استفاده از این مدل‌ها نیز برآورد نواحی مختلف تغذیه از اهمیت بسزایی برخوردار است. لذا در این پژوهش مدلی موسوم به روش نوسانات سطح ایستابی (WTF) که رویکردی آسان، ساده و مبتنی بر بیلان آب زیرزمینی است بکار گرفته شد. با استفاده از مدلسازی معکوس درصد نفوذ حاصل از بارندگی و برگشت آب آبیاری تعیین گردید. برای این منظور با تیسرن بندی منطقه‌ی مورد مطالعه (دشت نیشابور) بر حسب چاه‌های مشاهده‌ای و اعمال مدل مذکور، مقدار تغذیه و ضرایب نفوذ برای هر تیسرن در مقیاس ماهانه برآورد گردید. نتایج نشان داد که حداقل و حداکثر مقدار تغذیه‌ی حاصل از بارندگی به ترتیب ۴۶/۱ و ۱۰۱/۶ میلیون مترمکعب بود. نتایج همچنین حاکی از آن بود که حداکثر ۲۲۱/۷ میلیون مترمکعب و حداقل ۱۹۸/۸ میلیون مترمکعب برگشت آب آبیاری سبب تغذیه‌ی آب زیرزمینی در دشت مورد مطالعه می‌شود.

**واژه‌های کلیدی:** تغذیه‌ی آب زیرزمینی، عملکرد پایدار، مدل نوسانات سطح ایستابی، مدیریت بهینه.

### مقدمه

برآورد تغذیه در هرگونه تحلیل سیستم‌های آب زیرزمینی و اثرات استحصال محلی آب از آنها یک ضرورت بشمار می‌آید، هرچند که به کمیت درآوردن آن بسیار دشوار است.

منطقه‌ی مورد مطالعه در این تحقیق، بدلیل استحصال بی‌رویه از منابع آب زیرزمینی و اضافه برداشت‌های متعدد در بخش کشاورزی با افت بیش از حد آب زیرزمینی روبه‌رو بوده و با وجود اعلام ممنوعیت دشت از سوی شرکت سهامی آب منطقه‌ی خراسان رضوی در سال ۱۳۶۶ (گزارش نهایی سال ۱۳۸۹) با بحران شدیدی روبه‌رو بوده و پایداری منابع آب زیرزمینی را زیر سؤال برده است. از این رو، برآورد تغذیه‌ی آب زیرزمینی در برنامه ریزی و استفاده‌ی بهینه‌ی منابع آبی سودمند خواهد بود. بمنظور برآورد تغذیه، روش‌های متنوعی ذکر گردیده است، که هر یک دارای نقاط ضعف و قوت خاص خود می‌باشد. اسکاتلون و همکاران (۲۰۰۲) تکنیک‌های برآورد تغذیه براساس نواحی هیدرولوژیکی (ناحیه‌ی آب سطحی، ناحیه‌ی اشباع، و ناحیه‌ی غیراشباع) را به انواع مختلفی تقسیم می‌کنند. نواحی مختلف در مقیاس‌های زمانی و مکانی متغیر، برآوردهایی از تغذیه ارائه می‌دهند. در هر ناحیه‌ی هیدرولوژیکی، تکنیک‌های فیزیکی، ردیاب (شیمیایی) یا مدلسازی عددی می‌تواند بکار رود. تکنیک‌های برآورد در نواحی سطحی و غیراشباع عموماً برآوردی از تغذیه‌ی پتانسیل ارائه می‌دهند، درحالی‌که تکنیک‌های ناحیه‌ی اشباع تغذیه‌ی واقعی را برآورد می‌کنند، چرا که آب به سطح ایستابی رسیده است. بسیاری از این تکنیک‌ها براساس معادله‌ی بیلان آب هستند.

تکنیک نوسانات سطح ایستابی (WTF) نیز روشی مبتنی بر بیلان آب در آبخوان بوده و نسبت به سایر روش‌ها به داده‌های غیرقطعی کمتری احتیاج دارد، در این پژوهش استفاده گردیده است. مطالعات گسترده‌ای در سراسر دنیا با استفاده از این

روش صورت گرفته است. هیلی و کوک (۲۰۰۲) مروری بر تئوری و کاربرد مدل WTF در برآورد تغذیه‌ی آب زیرزمینی انجام داده و محدودیت‌های روش را مشخص نمودند. اسکالون و همکاران (۲۰۰۲) نرخ تغذیه‌ی سالانه را با استفاده از روش WTF از ۵ میلی‌متر در عربستان سعودی تا ۲۴۷ میلی‌متر در شرق ایالات متحده برآورد کردند. مون و همکاران (۲۰۰۴) از روش WTF اصلاح شده و آنالیز آماری هیدروگراف آب زیرزمینی برای برآورد تغذیه حوضه‌ی رودخانه‌ای واقع در کره‌ی جنوبی استفاده نمودند. رسول‌زاده و موسوی (۱۳۸۷) با استفاده از روش معکوس و با در نظر گرفتن مدل WTF بعنوان مدل پیشرو، مقادیر پارامترهای مدل مذکور و تغذیه‌ی آب زیرزمینی دشت توابع ارسنجان فارس را برآورد نمودند. گنجی خرم‌دل و همکاران (۱۳۸۷) بمنظور بهینه‌سازی شبکه‌ی چاه‌های مشاهده‌ای برای تخمین بیلان آب زیرزمینی دشت آستانه-کوچصفهان در استان گیلان از روش نوسان دوگانه‌ی سطح آب زیرزمینی استفاده نمودند. نتیجه حاکی از این بود که شبکه‌ی بهینه‌ی حاصل با استفاده از نقاط اندازه‌گیری کمتر یعنی ۳۳ چاه، می‌تواند مقدار بیلان آب زیرزمینی را بدون تغییر قابل ملاحظه‌ای بدست دهد.

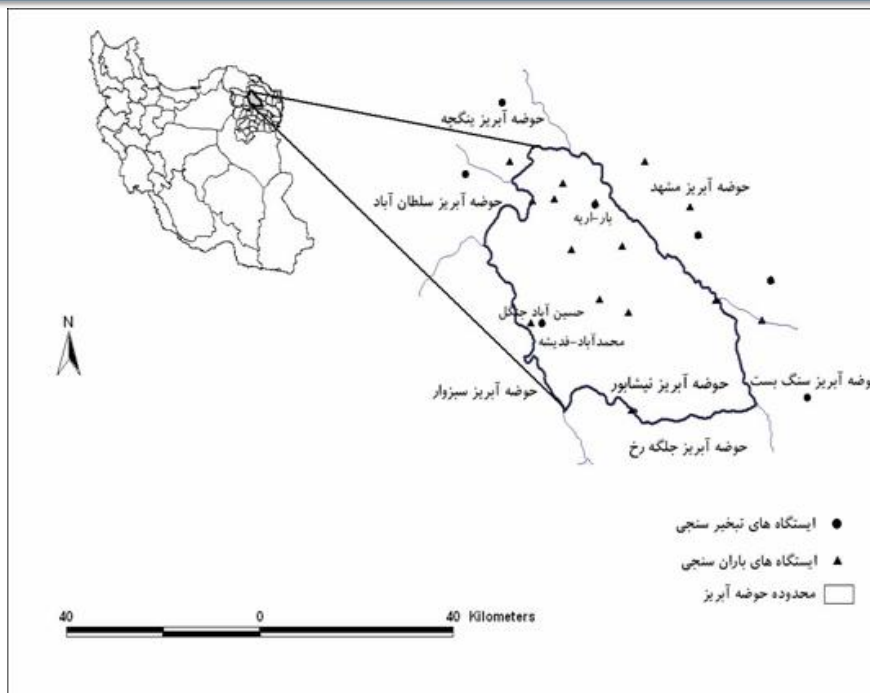
در پژوهش حاضر با استفاده از رویکرد مدلسازی معکوس، میزان تغذیه در اثر بارندگی و همچنین آب برگشتی حاصل از آبیاری در مقیاس ماهانه برای دشت نیشابور برآورد گردید.

## مواد و روش‌ها

### ویژگی‌های منطقه‌ی مورد مطالعه

دشت نیشابور جزئی از حوضه آبریز کالشور نیشابور می‌باشد که در دامنه جنوبی ارتفاعات بینالود و در شمال شرق کویر مرکزی واقع شده است. این حوضه در طول جغرافیایی  $13^{\circ} 58'$  تا  $30^{\circ} 59'$  و عرض جغرافیایی  $35^{\circ} 40'$  تا  $36^{\circ} 39'$  واقع شده و از شمال به خط‌الرأس ارتفاعات بینالود، از شرق به بلندی‌های لیلجوق و یال‌پلنگ، از جنوب به تپه ماهورهای نیزه‌بند، سیاه کوه و کوه نمک و از غرب به حوضه‌ی آبریز دشت سبزوار محدود می‌شود (ولایتی و توسلی، ۱۳۷۰). شکل (۱) موقعیت منطقه‌ی مورد مطالعه در استان خراسان رضوی را نشان می‌دهد.

وسعت کل حوضه ۷۳۵۰ کیلومتر مربع است که ۳۱۶۰ کیلومتر مربع آن را ارتفاعات و بقیه‌ی آن یعنی ۴۱۹۰ کیلومتر مربع را دشت تشکیل می‌دهد. دشت در محدوده‌ی ارتفاعات بینالود دارای بافت آبرفتی و تحت تاثیر تغذیه‌ی سطحی و زیرزمینی قرار دارد، و در نیمه‌ی جنوبی و غربی دارای بافت ریزدانه‌ی آبرفتی و سازندهای دانه‌ریز ماری و سایر رسوبات تبخیریست که سبب شده از نظر دانه‌بندی این قسمت از آبرفت مطلوب نباشد. پایین‌ترین نقطه در محل خروجی دشت (حسین‌آباد جنگل) در سمت غربی دشت قرار دارد که حدود ۱۰۵۰ متر از سطح دریا بلندتر است (ولایتی و توسلی، ۱۳۷۰). آب و هوای منطقه بری، نیمه خشک تا خشک است. میانگین دمای ماهانه در ایستگاه بار (معرف مناطق کوهستانی) ۱۳ درجه سانتی‌گراد و در ایستگاه محمدآباد - فدیشه (معرف مناطق دشتی) ۱۳/۸ درجه سانتی‌گراد است. متوسط بارندگی در کل حوضه معادل ۲۳۴ میلی‌متر است. میزان تبخیر به علت بالا بودن درجه حرارت هوا زیاد و حدوداً ۲۳۳۵ میلی‌متر در سال می‌باشد.



شکل (۱): موقعیت منطقه‌ی مورد مطالعه

از نظر زمین‌شناسی، حوضه‌ی مذکور را می‌توان به دو بخش متمایز تقسیم‌بندی نمود. بخش نخست عمدتاً شامل ارتفاعات شمال شرق دشت بوده و مشخصه‌ی اصلی آن عملکرد گسل تراستی جنوب بینالود می‌باشد که بین واحدهای سنگی مرتفع پرکامبرین و پالئوزوئیک تحتانی تا ژوراسیک و سازندهای دوران سوم حاشیه شمال شرق دشت نیشابور امتداد یافته است. سازندهای واقع در این ناحیه عمدتاً شامل آهک و دولومیت دوونین و سیلورین، شیل، سنگ‌های سیلتی و آهک‌های ژوراسیک در مجاورت رسوبات ائوسن و نئوژن می‌باشد. بخش دوم ارتفاعات جنوب شرق، جنوب، و غرب حوضه را تشکیل می‌دهد، که بطور کلی از مجموعه‌ای افیولیتی کرتاسه فوقانی (جنوب شرق و غرب) و سنگ‌های ولکانیکی و ولکانوسدیمنتی ائوسن تشکیل می‌گردد. از دیدگاه تقسیمات زمین‌شناسی ایران، بخش نخست در ناحیه‌ی بینالود و بخش دوم در ناحیه ایران مرکزی واقع شده است (زراعتی نیشابوری، ۱۳۸۵).

#### تئوری روش نوسانات سطح ایستابی (WTF)

روش نوسانات سطح ایستابی (WTF) با تجزیه و تحلیل قراردادان نوسانات سطح آب زیرزمینی برآوردی از تغذیه‌ی آب زیرزمینی ارائه می‌دهد. تنها اطلاعاتی که برای این روش مورد نیاز است داده‌های سطح آب زیرزمینی و آبدهی ویژه است. این روش بر این فرض استوار است که افزایش سطح آب زیرزمینی در آبخانه‌های آزاد بخاطر آب تغذیه‌ی رسیده به سطح ایستابی است. تغذیه‌ی حاصل از این روش با رابطه‌ی زیر برآورد می‌شود (هیلی و کوک، ۲۰۰۲):

$$R = S_y \frac{dh}{dt} = S_y \frac{\Delta h}{\Delta t} \quad (1)$$

که در آن  $R$ : تغذیه‌ی آب زیرزمینی ( $L/T$ )،  $\Delta h$ : افزایش سطح آب در دوره‌ی زمانی تغذیه ( $L$ )،  $\Delta t$ : طول دوره‌ی زمانی تغذیه ( $T$ )،  $S_y$ : آبدهی ویژه (بدون بعد) می‌باشد.

در استخراج معادله‌ی (۱) فرض می‌شود که آب رسیده به سطح ایستابی بلافاصله به ذخیره‌ی آب زیرزمینی تبدیل می‌شود و سایر مولفه‌های بیلان، از جمله جریان‌های جانبی حین دوره‌ی زمانی تغذیه، صفر هستند (اسکانلون و همکاران، ۲۰۰۲؛ هیلی و کوک، ۲۰۰۲).

یک تاخیر زمانی بین رسیدن آب حین وقوع تغذیه و توزیع مجدد آن بین سایر مولفه‌های بیلان رخ می‌دهد. چنانچه این روش حین تاخیر زمانی بکار گرفته شود، تمام آبی که به تغذیه تبدیل می‌شود را می‌توان توضیح داد. این فرضیه در دوره‌های

زمانی کوتاه (چند ساعت یا چندروز) بسیار معتبر است، و این چارچوب زمانبست که بکارگیری این روش را بسیار مناسب جلوه می‌دهد. طول تاخیر زمانی در موفقیت این روش بسیار مهم است.

### رویکرد مدل‌سازی معکوس

رابطه‌ی (۱) را می‌توان به فرم زیر نیز نوشت:

$$dh/dt = R/S_y \quad (2)$$

معادله‌ی فوق تغذیه را بصورت کلی در نظر گرفته است. تغذیه ممکن است ناشی از بارندگی (P)، نفوذ عمقی از آب آبیاری (Q<sub>Irrigation</sub>)، و خالص جریان زیرسطحی (Q<sub>InOut</sub>) به آبخانه باشد. با در نظر گرفتن این پارامترها در معادله‌ی (۲) که در واقع اجزای تغذیه را تشکیل می‌دهند، معادله‌ی مذکور به شکل زیر در می‌آید (رسول‌زاده و موسوی، ۱۳۸۷):

$$\frac{dh}{dt} = \frac{\beta P}{S_y} + \frac{\lambda Q_{Irrigation}}{S_y} - \frac{Q_{pumpage}}{S_y} + \frac{Q_{InOut}}{S_y} \quad (3)$$

که در آن  $\lambda$  و  $\beta$  به ترتیب کسری از مقدار آب آبیاری و کسری از مقدار بارندگی که سبب تغذیه می‌شوند و از فرآیند شبیه‌سازی بدست می‌آیند (بدون بعد)، و  $Q_{pumpage}$ : مقدار پمپاژ (L/T) می‌باشد.

رویکرد مدل‌سازی معکوس (Inverse Method) با در نظر گرفتن مدل WTF بعنوان مدل پیشرو (forward) (معادله‌ی (۳)) را بر داده‌ها برازش داده و سپس با کمک یکی از الگوریتم‌های بهینه‌سازی جهت حداقل ساختن تابع هدف (اختلاف بین مقادیر شبیه‌سازی شده‌ی نوسانات سطح آب زیرزمینی با مدل WTF و مقادیر مشاهده‌ای) که به فرم رابطه‌ی ذیل می‌باشد:

$$RMSE = \frac{\sqrt{\sum (F(x_1, x_2, \dots, x_n) - f(x_1, x_2, \dots, x_n))^2}}{n} \quad (4)$$

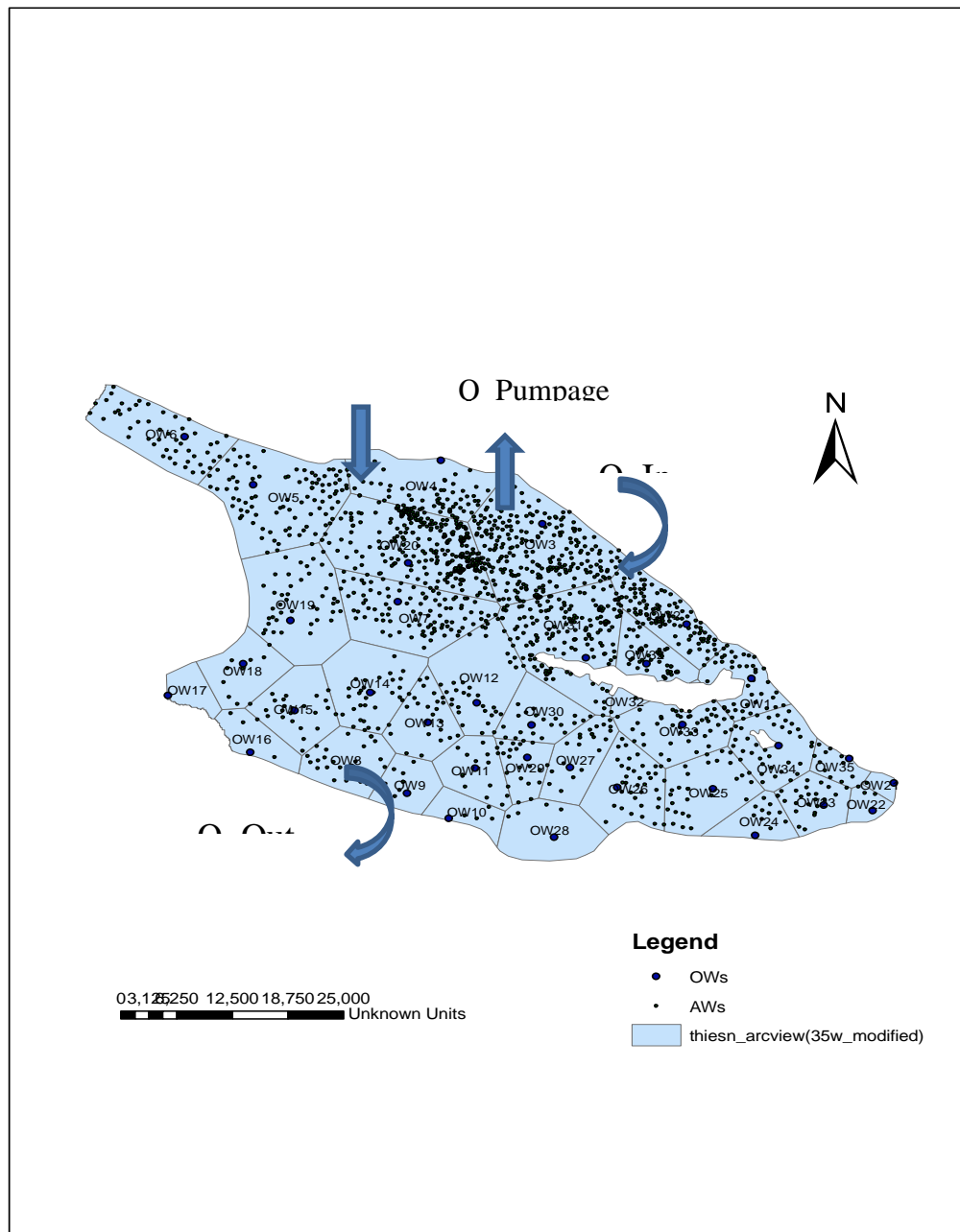
که در آن  $F$ : مقادیر مشاهده‌ای،  $f$ : مقادیر شبیه‌سازی شده،  $n$ : تعداد مشاهدات می‌باشد. پارامترهای مجهول مدل WTF یعنی  $\lambda$  و  $\beta$  حاصل می‌گردند.

بمنظور برآورد پارامترهای مجهول مدل WTF از عملگر رگرسیون غیرخطی تعبیه‌شده در نرم افزار Spss 18.0 استفاده گردید، که در این نرم افزار از دو الگوریتم بهینه‌سازی لونیبرگ-مارگوارت (Levenberg-Marquardt) و برنامه‌ریزی غیرخطی ترتیبی (Sequential Quadratic Programming) بمنظور بهینه‌ساختن توابع هدف استفاده می‌شود.

### مدل مفهومی منطقه مورد مطالعه

بمنظور تهیه‌ی مدل مفهومی منطقه و آماده‌سازی داده‌های موردنیاز، ابتدا موقعیت چاه‌های مشاهده‌ای موجود (۳۵ چاه مشاهده‌ای) در دشت با کمک نرم‌افزار ARCGIS مشخص گردید و سپس بر حسب آن‌ها تیسن‌بندی دشت با کمک نرم‌افزار ARCVIEW صورت گرفت. شکل (۲) مدل مفهومی منطقه به‌مراه تیسن‌بندی دشت را نشان می‌دهد.

برای هریک از این چاه‌های مشاهده‌ای داده‌های اندازه‌گیری‌شده‌ی ماهانه‌ی تراز آب برای دوره‌ی آماری ده ساله‌ی مهر ۱۳۷۹ (اکتبر ۲۰۰۰) تا شهریور ۱۳۸۹ (سپتامبر ۲۰۱۰) در محیط نرم‌افزار MS Excel مرتب گردید. سپس ستون داده‌های بارندگی ماهانه و خالص جریان زیرسطحی به آن‌ها اضافه گردید.



شکل (۲). مدل مفهومی منطقه‌ی مورد مطالعه

خالص جریان زیرسطحی دشت با کمک نرم‌افزار ARCGIS و تابع جریان دارسی (Darcy Flow) زیرمجموعه‌ی آن بصورت ماهانه برای کل دشت محاسبه و سپس مقدار مجموع جریان ماهانه برای محدوده‌ی هر چاه مشاهده‌ای تعیین گردید. نظر به اینکه منبع تامین آب آبیاری، از منابع زیرزمینی می‌باشد، لذا از اطلاعات پمپاژ از آبخانه برای داده‌های آب آبیاری استفاده می‌گردد که بصورت ماهانه برای هر یک از نواحی شبکه‌ی تیسن فراهم گردید. اطلاعات پمپاژ و موقعیت هر چاه پمپاژ برای کل دشت مشخص بود که به کمک نرم‌افزار ARCGIS کل حجم برداشت از هر محدوده‌ی چاه مشاهده‌ای بصورت ماهانه برای کل دوره‌ی آمار مشخص و در محیط نرم‌افزار MS Excel مرتب شد.

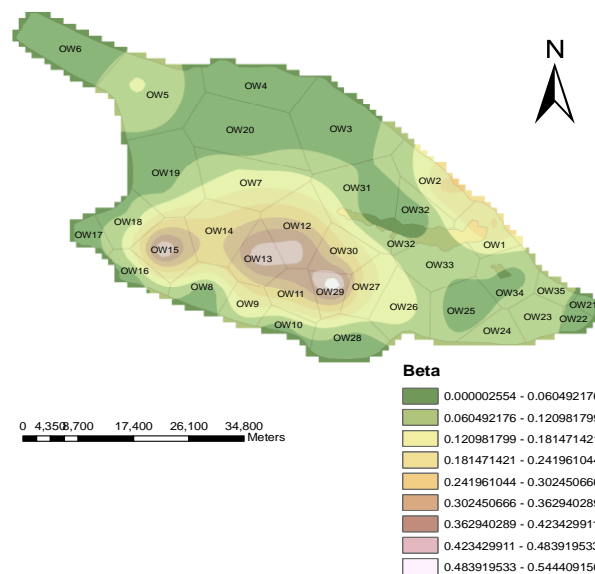
## نتایج و بحث

مقادیر پارامترهای آبدهی ویژه ( $S_y$ )، ضریب برگشت آب آبیاری ( $\beta$ ) و ضریب نفوذ حاصل از بارندگی ( $\lambda$ ) برای کل دوره‌ی آمار ۱۲۰ ماهه دشت و برای هر یک از چاه‌های مشاهده‌ای که با اعمال روش WTF و با حداقل سازی ریشه‌ی میانگین مربع خطا (RMSE) حاصل شده‌اند به صورت جدول (۱) می‌باشد.

جدول (۱): مقادیر پارامترهای آبدهی ویژه ( $S_y$ )، ضرایب برگشت آب آبیاری ( $\beta$ ) و نفوذ حاصل از بارندگی ( $\lambda$ ) برای هر یک از چاه‌های مشاهده‌ای عملکرد.

ID	$\beta$	$\lambda$	$S_y$	ID	$\beta$	$\lambda$	$S_y$	ID	$\beta$	$\lambda$	$S_y$	ID	$\beta$	$\lambda$	$S_y$	ID	$\beta$	$\lambda$	$S_y$
OW1	0.249	0.684	0.126	OW8	0.000	0.000	0.085	OW15	0.530	0.000	0.096	OW22	0.014	0.000	0.198	OW29	0.576	0.000	0.193
OW2	0.26	0.54	0.02	OW9	0.178	0.000	0.119	OW16	0.000	0.579	0.087	OW23	0.109	0.117	0.111	OW30	0.328	0.000	0.092
OW3	0.002	0.963	0.036	OW10	0.000	0.771	0.131	OW17	0.022	0.000	0.018	OW24	0.101	0.500	0.123	OW31	0.000	0.882	0.033
OW4	0.000	0.000	0.350	OW11	0.323	0.000	0.155	OW18	0.067	0.000	0.024	OW25	0.022	0.354	0.146	OW32	0.000	0.000	0.400
OW5	0.137	0.512	0.024	OW12	0.448	0.000	0.086	OW19	0.030	0.397	0.028	OW26	0.175	0.000	0.111	OW33	0.066	0.000	0.249
OW6	0.000	0.000	0.111	OW13	0.478	0.000	0.114	OW20	0.000	0.000	0.333	OW27	0.198	0.000	0.156	OW34	0.038	0.500	0.258
OW7	0.125	0.046	0.237	OW14	0.292	0.027	0.132	OW21	0.000	0.972	0.035	OW28	0.000	0.265	0.349	OW35	0.088	0.098	0.170

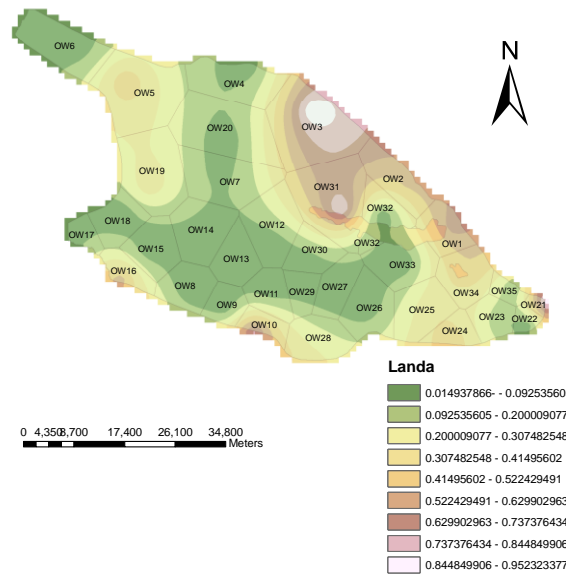
همانطور که مشاهده می‌گردد در نقاط مرکزی و جنوب غربی دشت بدلیل وجود مسیل‌ها و رودخانه‌های فصلی ضریب نفوذ حاصل از بارندگی بیشتر بوده و در نقاط شمال دشت این کسری از بارندگی که سبب تغذیه می‌شود کمتر نمود پیدا می‌کند. زیرا در بخش شمالی، عمده‌ی جریان تغذیه حاصل از جریان زیرسطحی می‌باشد که از طریق مخروطه افکنه‌های دامنه‌ی بینالود به این سمت سرازیر می‌شود. شکل (۳) پهنه‌بندی کسری از بارندگی که سبب تغذیه می‌شود ( $\beta$ ) را نشان می‌دهد.



شکل (۳): پهنه‌بندی کسری از بارندگی که سبب تغذیه می‌شود ( $\beta$ )

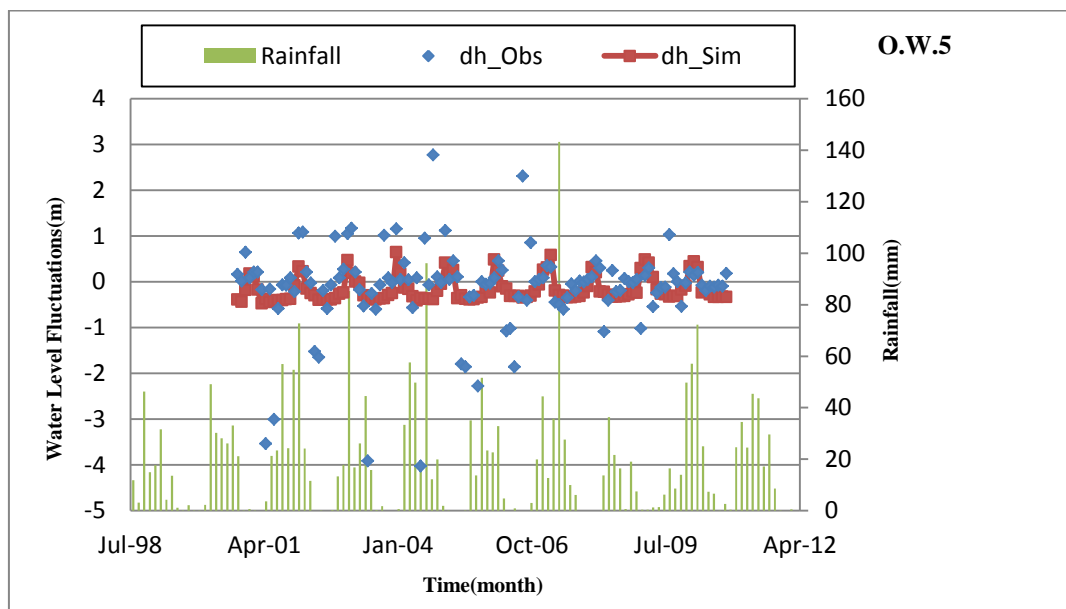
شکل (۴) پهنه‌بندی کسری تغذیه‌ی برگشت آب آبیاری ( $\lambda$ ) برای کل دشت را نشان می‌دهد. این کسر در قسمت شرقی دشت بدلیل وجود چاه‌های بهره‌برداری زیاد بیشترین مقدار را داراست، و از آنجا که در بخش مرکزی و غربی دشت تعداد چاه‌های بهره‌برداری و میزان استحصال آب از آبخوان کمتر است، مقدار کسر  $\lambda$  به حداقل می‌رسد. لازم به ذکر است که بدلیل

همبستگی بالای آبدهی ویژه ( $S_y$ ) و کسر تغذیه‌ی برگشت آب آبیاری ( $\lambda$ ) و در نظر نگرفتن درصد زمین‌های آیش، جاده‌ها و غیره، مقدار کسر  $\lambda$  بیش برآورد گردیده است.

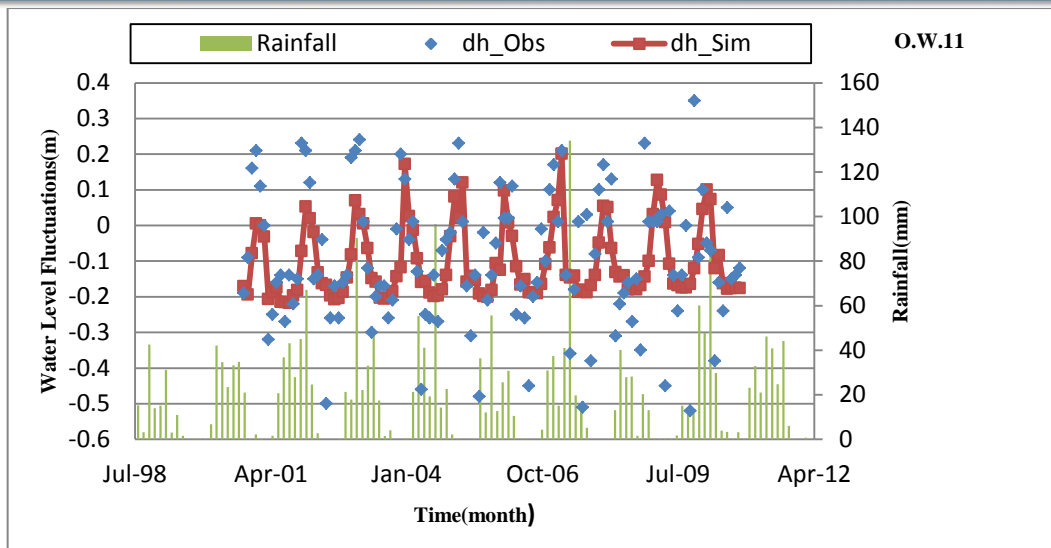


شکل (۴): پهنه‌بندی کسر تغذیه‌ی برگشت آب آبیاری ( $\lambda$ )

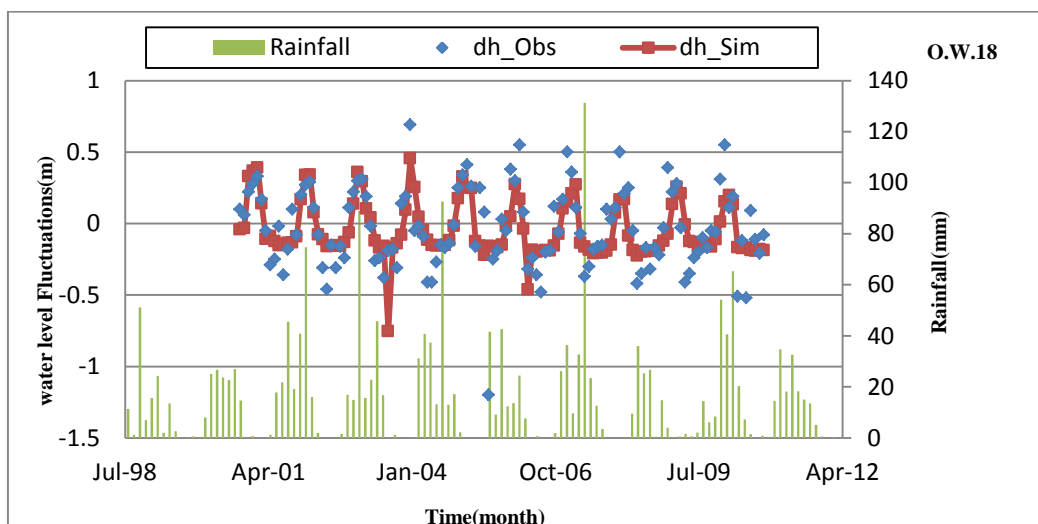
نتایج حاصل از اعمال روش WTF برای تعدادی از چاه‌های مشاهده‌ای بصورت شکل‌های (۵) تا (۸) نشان داده شده‌اند. همانطور که مشاهده می‌گردد مدل مذکور توانسته است برآزش خوبی با حداقل ساختن اختلاف بین مقادیر شبیه‌سازی شده ( $dh_{Sim}$ ) و مشاهده‌ای ( $dh_{Obs}$ ) تراز آب زیرزمینی (RMSE) حاصل سازد.



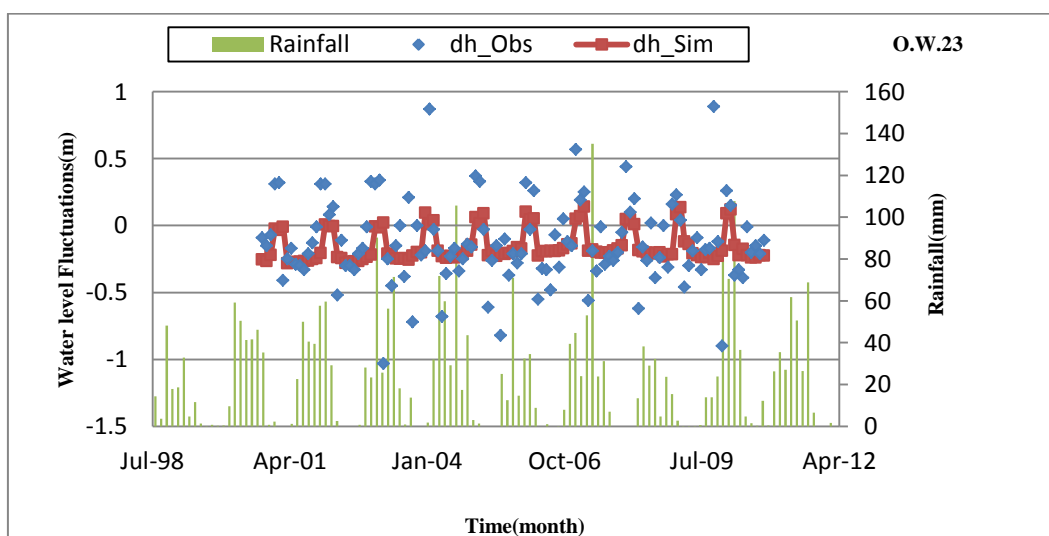
شکل (۵): تراز آب زیرزمینی شبیه‌سازی شده با روش WTF و مشاهده‌ای برای چاه مشاهده‌ای (OW5)



شکل (6): تراز آب زیرزمینی شبیه‌سازی شده با روش WTF و مشاهده‌ای برای چاه مشاهده‌ای (OW11)



شکل (7): تراز آب زیرزمینی شبیه‌سازی شده با روش WTF و مشاهده‌ای برای چاه مشاهده‌ای (OW18)



شکل (8): تراز آب زیرزمینی شبیه‌سازی شده با روش WTF و مشاهده‌ای برای چاه مشاهده‌ای (OW23)



مقادیر ریشه‌ی مربع میانگین خطا برای چاه‌های مشاهده‌ای به شرح جدول (۲) می‌باشد.

جدول (۲): مقادیر ریشه‌ی مربع میانگین خطا برای هر یک از چاه‌های مشاهده‌ای (OW)

<b>ID</b>	OW1	OW2	OW3	OW4	OW5	OW6	OW7
<b>RMSE</b>	0.332	0.682	0.174	0.143	0.902	0.142	0.175
<b>ID</b>	OW8	OW9	OW10	OW11	OW12	OW13	OW14
<b>RMSE</b>	0.197	0.276	0.172	0.151	0.392	0.372	0.495
<b>ID</b>	OW15	OW16	OW17	OW18	OW19	OW20	OW21
<b>RMSE</b>	0.516	0.161	0.170	0.203	0.245	0.176	0.117
<b>ID</b>	OW22	OW23	OW24	OW25	OW26	OW27	OW28
<b>RMSE</b>	0.095	0.275	0.196	0.102	0.135	0.184	0.124
<b>ID</b>	OW29	OW30	OW31	OW32	OW33	OW34	OW35
<b>RMSE</b>	0.234	0.334	0.133	0.230	0.187	0.093	0.295

مقادیر تغذیه‌ی سالانه‌ی دشت ناشی از برگشت آب آبیاری و نفوذ حاصل از بارندگی و جریان‌های سطحی برای ده سال آبی از ۸۰-۱۳۷۹ تا ۸۹-۱۳۸۸ مطابق جدول (۳) می‌باشد.

جدول (۳): مقادیر تغذیه‌ی سالانه‌ی دشت ناشی از برگشت آب آبیاری و نفوذ حاصل از بارندگی و جریان‌های سطحی

زمان (سال)	برداشت از آبخانه (میلیون مترمکعب)	بارندگی (میلیمتر)	تغذیه (میلیون مترمکعب)
1379-80	689.82	146.46	267.05
1380-81	679.03	208.91	285.52
1381-82	670.53	279.81	311.36
1382-83	663.43	260.15	303.30
1383-84	653.56	296.14	310.85
1384-85	643.29	188.22	269.29
1385-86	632.85	316.72	313.56
1386-87	622.52	142.01	245.84
1387-88	616.33	291.85	297.22
1388-89	616.33	249.71	281.12

### نتیجه‌گیری

بمنظور برآورد تغذیه‌ی طبیعی آبخانه روش WTF روشی آسان و کم هزینه بوده و نسبت به سایر روش‌های برآورد تغذیه به داده‌های غیرقطعی کمتری نیاز دارد. این روش با رویکرد مدلسازی معکوس با محدودیت‌هایی چون وابستگی زیاد پارامترها به یکدیگر و منحصر بفرودن آن‌ها مواجه می‌باشد. با این وجود، در عمده پلیگون‌های دشت مدل مذکور بهترین برازش را با حداقل سازی اختلاف بین مقادیر شبیه‌سازی شده و مشاهده‌ای (RMSE) حاصل ساخت. مقدار متوسط سالانه‌ی تغذیه با این روش برای کل دشت معادل ۲۸۸/۵۱ میلیون مترمکعب حاصل گردید، که در مقایسه مقدار حاصل شده با روش‌های دیگر بیان آب مقدار قابل قبولی می‌باشد.

### تقدیر و تشکر

بدین وسیله از جناب آقای مهندس عزیزالله ایزدی بخاطر در اختیار قراردادن داده‌های مورد نیاز مدل و تهیه‌ی مدل مفهومی دشت تشکر و قدردانی به عمل می‌آید.

## منابع

۱. رسول زاده، ع.؛ موسوی، ع. ا. (۱۳۸۷). بررسی عدم اطمینان در برآورد پارامترهای مدل آب زیرزمینی WTF با استفاده از روش معکوس. هفتمین کنفرانس هیدرولیک ایران. تهران.
۲. زراعتی نیشابوری، ح. ۱۳۸۵. تلفیق آبهای سطحی و زیرزمینی حوضه آبریز نیشابور. پروژه‌های کارشناسی موسسه علمی کاربردی، مشهد
۳. گنجی خرم دل ن.؛ محمدی ک.؛ منعم، م. ج. (۱۳۸۷). بهینه‌سازی شبکه چاه‌های مشاهده‌ای برای تخمین بیلان با روش نوسان دوگانه‌ی سطح آب زیرزمینی. مجله آب و خاک (علوم و صنایع کشاورزی)، جلد ۲۲، شماره ۲.
۴. گزارش پیشنهاد تمدید ممنوعیت دشت نیشابور. ۱۳۸۹. دفتر مطالعات آب‌های زیرزمینی اداره‌ی کل آب منطقه‌ی خراسان رضوی.
۵. ولایتی، س. و توسلی، س. ۱۳۷۰. منابع و مسائل آب خراسان. موسسه‌ی چاپ و انتشارات آستان قدس رضوی، مشهد.

1. Healy R.W., Cook P.G. 2002. Using groundwater levels to estimate recharge. Hydrogeol.J. 10:91-109
2. Scanlon, B.R., Healy, R.W., Cook, P.G. 2002. Choosing appropriate techniques for quantifying groundwater recharge. Hydrogeology Journal 10, 18–39
3. Moon, S., N. C. Woo, and K. S. Lee. 2004. Statistical analysis of hydrograph and water-table fluctuation to estimate groundwater recharge. Journal of Hydrology, 292, pp. 198-209

## Groundwater recharge estimation using water table fluctuations (WTF) method

T. Ahmadi<sup>1</sup>, A. N. Ziaei<sup>\*1</sup>, A. Rasoulzadeh<sup>2</sup>, K. Davary<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Water Engineering Dept., College of Agriculture, Ferdowsi University of Mashhad, Mashhad, Iran

<sup>2</sup>Water Engineering Dept., College of Agriculture, University of Mohaghegh Ardabili, Ardabil, Iran

\*Corresponding author email: t\_ahmadi8965@yahoo.com

### Abstract

Accurate information about the inputs (recharge) and outputs (pumpage and natural discharge) within each groundwater basin are essential to properly manage groundwater resources, so that the long-term behavior of the aquifer and its sustainable yield can be estimated or reassessed. In water resource investigations, groundwater models are often used to simulate the flow of water in aquifers. In these models, estimating of various zones of recharge is critical. Therefore, in this research, Water Table Fluctuations (WTF) method which was a simple, easy and water balanced- based approach was used. By using inverse modeling and also by considering recharge components, deep percolation of rainfall and percentage of irrigation return flow were determined. In order to achieve our goal the study area (Neishabour Plain) was classified to Thiessen polygons based on the existing observation wells. Thus, the natural recharge rate was estimated for each Thiessen polygon in monthly scale. The results were shown that the minimum and maximum groundwater recharge from precipitation were 46.1 MCM and 101.6 MCM, respectively as well as maximum amount of 221.7 MCM and minimum amount of 198.8 MCM of irrigation return flow were contributed to groundwater recharge of our study area.

**Key words:** groundwater recharge, optimal management, sustainable yield, water table fluctuations model