

## برآورد مقدار بهینه آبدهی ویژه و تخمین تغذیه آب زیرزمینی آبخوان آزاددشت گلگیر، استان خوزستان

سعید ترک قشقایی نژاد<sup>۱</sup>، منوچهر چیت‌سازان<sup>۲\*</sup>

۱. دانشجوی دکتری آب‌های زیرزمینی، دانشکده علوم زمین، دانشگاه شهید چمران اهواز

۲. استاد، دانشکده علوم زمین، دانشگاه شهید چمران اهواز

(تاریخ دریافت ۱۳۹۵/۱۱/۱۰؛ تاریخ تصویب ۱۳۹۶/۰۲/۳۱)

### چکیده

روش نوسانات سطح آب (WTF) بر پایه صعود سطح آب بر اثر تغذیه آب زیرزمینی استوار است. به‌کارگیری این روش، مستلزم تخمین مناسب مقدار آبدهی ویژه در محدوده نوسانات سطح آب زیرزمینی است. در این مقاله، مقدار آبدهی ویژه از روش لاگ چاه‌های حفاری (DWL)، روش پوشش خط مستقیم (ESL) و روش سونداژ الکتریکی قائم (VES) تخمین زده شد. به‌منظور ارزیابی و انتخاب روش مناسب، مقدار آبدهی ویژه از داده‌های هیدرولوژیکی و هیدروژئولوژیکی هشت‌ساله (۱۳۸۵ تا ۱۳۹۲) دشت گلگیر با ضریب همبستگی برای رابطه بین تغذیه- بارندگی و تغذیه- جریان پایه در روش پوشش خط مستقیم (ESL) به ترتیب با  $r^2 = 0/79$  و  $r^2 = 0/90$  به دست آمد. همچنین، با توجه به ضریب همبستگی مناسب روش ESL، مقدار بهینه آبدهی ویژه برای دشت گلگیر برابر  $0/12$  تخمین زده شد. ضریب همبستگی به دست آمده از رابطه بین میزان تغذیه آب زیرزمینی، جریان پایه و بارندگی در روش‌های DWL، ESL و VES نیز دقت زیاد روش ESL را نشان داد که روش ESL با  $r^2 = 0/90$  بهترین تخمین مقدار آبدهی ویژه را دارد. بنابراین، با توجه به اهمیت مقدار تغذیه در مدیریت و برنامه‌ریزی منابع آب زیرزمینی و تأثیر زیاد مقدار آبدهی ویژه در روش WTF، تخمین تغذیه آب زیرزمینی با استفاده از مقدار بهینه آبدهی ویژه کمک شایانی به محققان علوم آب می‌کند.

**کلیدواژگان:** آبدهی ویژه، تغذیه آب زیرزمینی، دشت گلگیر، روش WTF.

## مقدمه

به منظور تخمین تغذیه آب زیرزمینی، هیدروژئولوژیست‌ها از روش‌های فیزیکی، شیمیایی و روش‌های عددی استفاده کرده‌اند [۱]. یکی از این روش‌ها، بیلان آبی است که به‌طور گسترده توسط هیدروژئولوژیست‌ها استفاده شده است [۲]. به‌ر حال، در زمینه مطالعه تغذیه آب زیرزمینی با استفاده از روش بیلان آبی مشکلات زیادی همچنان باقی است، زیرا شناخت مؤلفه‌های بیلان و تخمین دقیق آنها و همچنین حصول اطمینان از مقادیر محاسبه‌شده آنها بسیار مشکل است.

در میان روش‌های تخمین تغذیه، یک گروه از آنها به دلیل سادگی، بیشتر از روش‌های دیگر استفاده می‌شود. روش نوسانات سطح آب زیرزمینی (WTF)، تغییرات سطح آب زیرزمینی را با فرض اینکه هر تغییری در سطح آب زیرزمینی بیشتر به دلیل تغذیه است، بررسی می‌کند [۳]. در واقع آنچه روش WTF را از دیگر روش‌ها مجزا می‌کند، اندازه‌گیری مستقیم تغییرات سطح آب زیرزمینی و بی‌نیازی به محاسبه و شناخت مؤلفه‌های فراوان دیگر (برخلاف روش بیلان آبی) است. در زمینه مطالعات تخمین تغذیه آب زیرزمینی، محققان بسیاری از روش WTF استفاده کرده‌اند [۴ و ۵]. در اینجا تغذیه به حرکت رو به پایین آب زیرزمینی از منطقه غیراشباع به منطقه اشباع اشاره می‌کند [۶]. همچنین روش WTF برای سیستم آبخوان‌های آزاد قابل استفاده است [۷].

اگرچه روش WTF به منظور تخمین تغذیه آب زیرزمینی روش ساده‌ای است، کاربرد این روش بستگی زیادی به تخمین صحیح مقدار آبدهی ویژه و داده‌های سطح آب زیرزمینی موجود، شرایط هیدرولوژیکی و مقیاس مطالعات دارد. مقدار تغذیه اساساً از نوسانات سطح آب به دست می‌آید و نسبت به دیگر روش‌ها همچون بیلان جرمی کلراید، روش داریسی، سنیابی رادیو کربن‌ها و مدل‌های ریاضی، بیشتر استفاده شده است. حتی اگر از روش‌های ریاضی برای تعیین تغذیه استفاده شود، در نهایت داده‌های نوسانات سطح آب زیرزمینی برای صحت‌سنجی آنها لازم است [۸].

در مناطق نیمه‌خشک، استفاده از روش نوسانات سطح آب (WTF) به دلیل دقت زیاد، آسان و کم‌هزینه بودن، شایان توجه است [۷]. همان‌گونه که شرح داده شد، به منظور تخمین مناسب تغذیه آب زیرزمینی علاوه بر داده‌های ثبت‌شده سطح آب زیرزمینی، پارامتر آبدهی ویژه (Sy) نیز

کارکرد مؤثری در تخمین تغذیه دارد که تخمین صحیح آن به شناخت و در دسترس بودن اطلاعات کافی از وضعیت منطقه مطالعه‌شده نیاز دارد. کروسبی و همکارانش [۹] روش‌های گوناگونی را به منظور تخمین Sy در دو منطقه به کار بردند. این روش‌ها شامل تعیین منحنی نگهداشت در آزمایشگاه و آنالیز پاسخ سطح آب زیرزمینی توسط تست پمپاژ بود. نتایج بعد از تست نشان داد بهترین تخمین مربوط به روش پاسخ سطح آب زیرزمینی به بارندگی است.

اگرچه مناسب‌ترین روش به منظور تعیین مقدار آبدهی ویژه آبخوان استفاده از داده‌های آزمون پمپاژ است [۱۰]، به دلیل اینکه روش تست پمپاژ بسیار پرهزینه و زمان‌بر است و همچنین امکان استفاده از این روش با پراکنش مناسب در دشت گلگیر برای تخمین مقدار آبدهی ویژه وجود ندارد، تصمیم گرفته شد برای منطقه مطالعاتی از سه روش جایگزین مانند روش‌های استفاده از لاگ چاه‌های حفاری (Drilling Well Logging -DWL)، روش خط‌پوش مستقیم (Envelope Straight Line -ESL) و روش استفاده از سونداژهای قائم الکتریکی (vertical electrical sounding -VES) به منظور تعیین مقدار آبدهی ویژه (Sy) منطقه و تخمین مقدار تغذیه با استفاده از روش WTF انجام شود. هر چند وجود داده‌های روزانه تغییرات سطح آب و بارندگی حائز اهمیت است و نتایج دقیق‌تری می‌دهد، به علت فقدان چنین اطلاعاتی در کشورهای در حال توسعه، استفاده از داده‌های موجود و کاربرد بهینه این اطلاعات کمک شایانی به مدیریت سیستم آبخوان‌ها و حوضه‌های آبی این کشورها می‌کند. تحلیل رابطه بین تغذیه آب زیرزمینی و بارندگی به شناخت مؤلفه‌های مؤثر دیگر بر سیستم تغذیه آبخوان نیز کمک می‌کند.

در این پژوهش، تلاش شد تا به سه روش DWL، ESL، VES میزان آبدهی ویژه در دشت گلگیر در استان خوزستان اندازه‌گیری شود. همچنین از رابطه بین تغذیه آب زیرزمینی - بارندگی و تغذیه آب زیرزمینی - جریان پایه مقدار دقیق‌تر آبدهی ویژه معرفی شود.

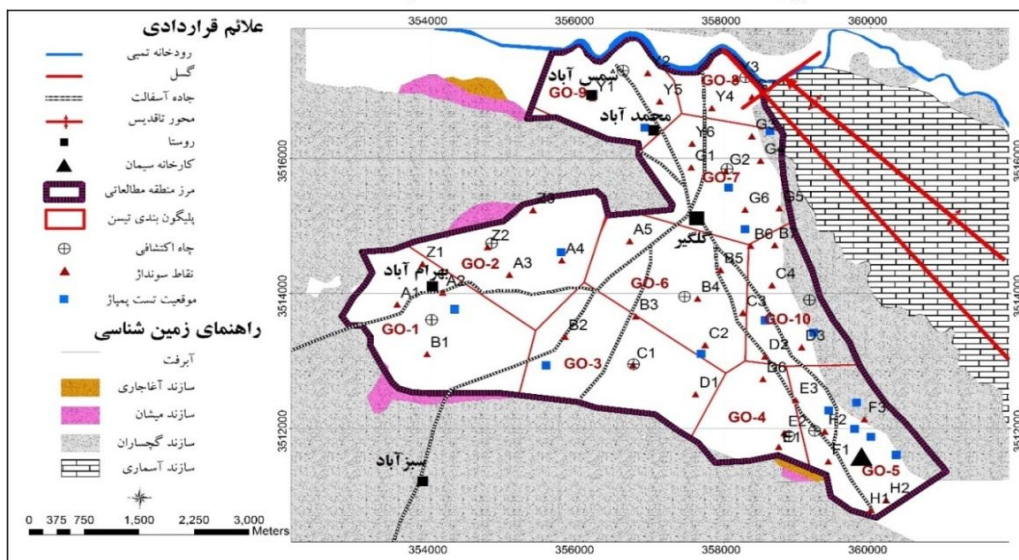
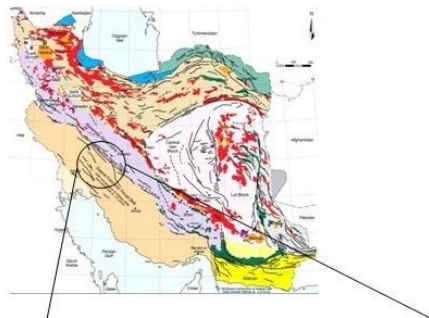
## مواد و روش‌ها

## منطقه مطالعه‌شده

منطقه مطالعه‌شده در ۹۰ کیلومتری شمال شرق اهواز و ۲۰ کیلومتری جنوب غرب شهرستان مسجدسلیمان در حوضه

چینه‌شناسی در محدوده استان خوزستان از پایین به بالا شامل سازندهای پابده، آسماری، گچساران، میشان و آعاجری در اطراف این منطقه مشاهده می‌شود [۱۱]. موقعیت جغرافیایی، نقشه زمین‌شناسی و شبکه تیس‌بندی منطقه مطالعه‌شده در شکل ۱ نشان داده شده است.

کارون میانی در طول جغرافیایی "۴۵' ۲۶' ۴۹° تا "۳۳' ۳۲' ۴۹° درجه شرقی و عرض جغرافیایی "۲۰' ۴۳' ۳۱° تا "۱۲' ۴۷' ۳۱° درجه شمالی واقع شده است. منطقه گلگیر دشت آبرفتی است که در نتیجه فعالیت تکتونیکی و فرسایش سازندهای مجاور ایجاد شده است. توالی



شکل ۱. موقعیت جغرافیایی، نقشه زمین‌شناسی و شبکه تیس‌بندی منطقه مطالعه‌شده

گلگیر، از نقشه‌های زمین‌شناسی مسجدسلیمان و کوه آسماری با مقیاس‌های ۱/۱۰۰۰۰۰، لاگ چاه‌های اکتشافی، مطالعات میدانی و تصاویر ماهواره‌ای لندست حسگر ETM<sup>+</sup> استفاده شد.

رودخانه تمبی (شور) با حوضه‌ای حدود ۲۵۸۶ کیلومترمربع تنها منبع اصلی آب سطحی در این منطقه است که به‌علت شوری بسیار زیاد (با EC حدود ۲۵ هزار میکروموس بر سانتی‌متر) عملاً غیرقابل استفاده و بدون کاربرد در این منطقه است. ضخامت آبخوان آبرفتی گلگیر از شش تا ۹۰ متر متغیر است که بیشترین ضخامت در بخش جنوب شرقی دشت در حاشیه تقادیس آسماری دیده می‌شود. کیفیت آب زیرزمینی دشت گلگیر از شرق به غرب

رسوبات آبرفتی دشت گلگیر به‌طور کلی نشئت‌گرفته از دو سازند آسماری و گچساران هستند. فرسایش سازند آسماری سبب ته‌نشینی رسوبات گراولی همراه با کمی رس و آبدھی نسبتاً مناسب با کیفیت خوب شده است. نتایج به‌دست‌آمده از لاگ چاه‌های حفاری نشان داد با فاصله‌گرفتن از تقادیس آسماری از شرق به غرب، بر حجم رسوبات دانه‌ریز به‌دست‌آمده از فرسایش سازند گچساران افزوده می‌شود. نیمرخ شماتیک چگونگی رسوب‌گذاری دشت گلگیر در شکل ۲ نشان داده شده است. فرسایش سازند گچساران سبب افزایش رسوبات سیلتی، رسی و همچنین حضور کانی‌های سولفاته ژیبس و انیدریت در آبرفت دشت گلگیر شده است [۱۲]. به‌منظور شناخت بهتر وضعیت زمین‌شناسی دشت

کاربری زمین و برداشت از چاه‌های بهره‌برداری) در شناخت تغذیه منابع آبی مفید است. همچنین روش WTF برای تعیین تغییرات زمانی تغذیه بسیار کاراست. معادله ۱ به‌منظور تعیین نوسانات سطح آب برای تخمین تغذیه آب زیرزمینی به‌کار می‌رود [۹]:

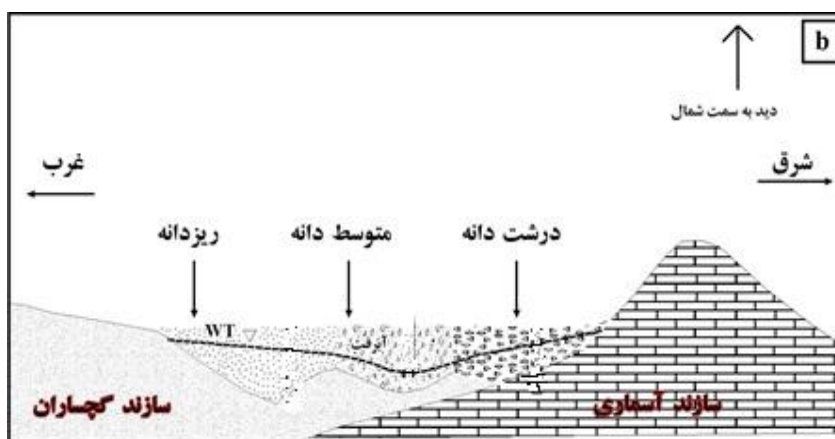
$$R = \Delta S_{gw} = S_y \frac{dh}{dt} = S_y \frac{\Delta h}{\Delta t} \quad (1)$$

که در آن R تغذیه آب زیرزمینی،  $\Delta S_{gw}$  تغییرات ذخیره آب زیرزمینی،  $\Delta h$  تغییرات سطح آب زیرزمینی و t زمان است. این روش بر اساس صعود سطح آب در آبخوان‌های آزاد، به‌علت تغذیه تحت تأثیر بارندگی است [۶]. در این مطالعه برای تخمین مقدار بهینه آبدهی ویژه و تخمین تغذیه از داده‌های ثبت‌شده ماهانه سطح آب زیرزمینی و بارندگی به‌مدت هشت سال از ۱۰ پیژومتر (GO-1 تا GO-10) استفاده شد. تخمین تغذیه با استفاده از روش WTF به اطلاعات کافی از مقدار آبدهی ویژه آبخوان نیاز دارد.

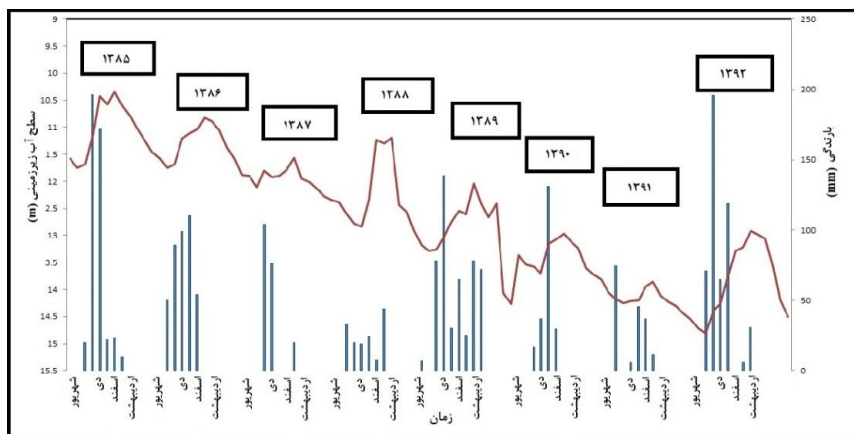
به‌دلیل افزایش رسوبات گچی ناشی از واریزه‌های سازند گچساران کاهش پیدا می‌کند. در نزدیکی تاقدیس آسماری به‌دلیل جنس رسوبات آهکی فرسایش‌یافته از سازند آسماری و همچنین تغذیه توسط آبخوان آهکی، کیفیت آب مطلوب است [۱۳].

تحلیل ماهیانه سطح آب زیرزمینی به‌مدت هشت سال در آبخوان گلگیر در ۱۰ پیژومتر (GO-1 تا GO-10) انجام شد. هیدروگراف معرف هشت‌ساله دشت گلگیر در شکل ۳ نشان داده شده است. سطح آب زیرزمینی توسط سازمان آب و برق خوزستان به‌صورت ماهانه اندازه‌گیری شده است. در این مدت هشت‌ساله عمق آب زیرزمینی بین ۹/۹ تا ۱۴/۸ متر قرار داشت.

روش WTF بر اساس فرایند تغذیه تحت تأثیر بارش‌های صورت‌گرفته پایه‌ریزی شده است. آنالیز دقیق داده‌های به‌دست‌آمده از تغییرات سطح آب زیرزمینی به‌علت نوسانات اقلیمی و فرایندهای دیگر (مانند آبیاری،



شکل ۲. نیم‌رخ شماتیک چگونگی رسوب‌گذاری در دشت آبرفتی گلگیر



شکل ۳. هیدروگراف معرف و بارندگی دشت گلگیر

در این مطالعه با توجه به داده‌های ثبت‌شده موجود، مقدار آبدی ویژه به سه روش: ۱. لاگ چاه‌های مشاهده‌ای (DWL)؛ ۲. خط‌پوش مستقیم (ESL) و ۳. روش سونداژ الکتریکی قائم (VES) در پلیگون‌های GO-1 تا GO-10 تخمین زده شد که در شکل ۱ نشان داده شده است.

#### لاگ چاه‌های حفاری (DWL)

مطالعات زیادی برای تعیین مقدار Sy با استفاده از نوع رسوب در آزمایشگاه انجام شده است. کینگ و اسلیچتر [۱۷] با مطالعات دو سال و نیم خود مقدار Sy برای ماسه ریزدانه را برابر ۰/۲ تعیین کرد. مقادیر متغیری برای مقدار Sy ذرات خاک در نمونه‌های ناهمگن بیان شده است و روش‌های مختلفی برای تعیین Sy استفاده شده است که برای تعیین آنها به زمان زیادی نیاز است. جانسون [۱۸] مقادیر Sy در ۱۷ مطالعه انجام‌شده را جمع‌آوری کرد و نشان داد مقدار Sy با افزایش سایز دانه‌ها افزایش پیدا می‌کند. همچنین مقدار Sy برای انواع نوع خاک را تعیین کرد. مانگی و همکارانش [۱۹] فرمول ساده‌ای را به‌منظور تخمین میانگین آبدی ویژه برای تخمین مقدار میانگین Sy با استفاده از لاگ چاه‌های حفاری شده، پیشنهاد دادند:

$$S_{yAve} = \frac{\sum_{j=1}^m b_j S_{y_j}}{\sum_{j=1}^m b_j} \quad (2)$$

که در این معادله Sy مقدار Sy برای هر نوع خاک با ضخامت  $b_j$  است و m تعداد نوع خاک مشاهده‌شده در هر چاه مشاهده‌ای است. جدول ۱ میزان آبدی ویژه برای مواد تشکیل‌دهنده آبخوان را نشان می‌دهد.

برای تعیین  $S_{yAve}$  از داده‌های لاگ چاه‌های مشاهده‌ای حفاری‌شده (GO-1 تا GO-10) تا عمق برخورد به سنگ کف دشت گلگیر استفاده شد. عمق نوسانات سطح آب به‌منظور کاربرد معادله ۲ مد نظر قرار گرفت. در نهایت، مقدار آبدی ویژه میانگین برای هر پلیگون محاسبه شد. بیشترین مقدار Sy برای پلیگون GO-8 با مقدار ۰/۱۸ و کمترین مقدار آن برای پلیگون GO-1 با مقدار ۰/۰۶ و میانگین ۰/۱۲ برای کل دشت برآورد شد.

#### روش خط‌پوش مستقیم (ESL)

واری و همکارانش [۲۰] به‌منظور تخمین مقدار میانگین Sy دشت پامپا با استفاده از روش (ESL) و مقایسه با چندین روش دیگر انجام‌شده برای تخمین مقدار Sy در دشت پامپا

هدف اصلی مقایسه روش‌های تخمین آبدی ویژه (Sy) در عمق نوسانات سطح آب زیرزمینی و تخمین مقدار تغذیه در آبخوان گلگیر است.

وقتی مقدار جریان زیرسطحی، تبخیر و تعرق و دیگر مؤلفه‌های خروجی آب از یک حوضه یا آبخوان کم باشد، جریان پایه می‌تواند تقریبی از تغذیه آب زیرزمینی باشد [۱۴]. فرضیات اصلی در کاربرد جریان پایه به‌منظور تخمین تغذیه بر این اصل استوار است که جریان پایه برابر تخلیه آب زیرزمینی است و تخلیه آب زیرزمینی تقریباً برابر تغذیه است [۵].

در آبخوان گلگیر، جریان زیرسطحی قابل صرف نظر کردن نیست، پس جریان پایه با تغذیه برابر نیست. بنابراین، طبق قانون علت و معلولی ما علاقه‌مند به یافتن رابطه بین میزان تغذیه- بارش و تغذیه- جریان پایه هستیم. همچنین با توجه به تأثیر بسیار زیاد آبدی ویژه در تخمین تغذیه آبخوان به روش نوسانات سطح ایستایی (WTF) در این مقاله سعی شد با به‌کاررفتن روش‌های گوناگون، با تقریب بهتری مقدار آبدی ویژه تخمین زده شود.

#### بحث و نتایج

روش نوسانات سطح آب زیرزمینی (معادله ۱)، برای تخمین تغذیه آبخوان آزاد گلگیر (از سال ۱۳۸۵ تا ۱۳۹۲) استفاده شد. مهم‌ترین مؤلفه در تخمین مقدار تغذیه یک حوضه یا دشت با استفاده از روش نوسانات سطح آب زیرزمینی، مقدار آبدی ویژه (Sy) است. روش‌های گوناگونی برای تعیین مقدار Sy وجود دارد که استفاده از این روش‌ها به داده‌های موجود، هیدروژئولوژی و زمین‌شناسی منطقه بستگی دارد. مناسب‌ترین روش برای تخمین آبدی ویژه آبخوان، استفاده از داده‌های پمپاژ است [۱۰]. با این حال، تحلیل روش‌های موجود می‌تواند اقدامی مناسب برای کاهش هزینه‌ها و زمان ناشی از آزمون‌های پمپاژ باشد.

#### تخمین آبدی ویژه

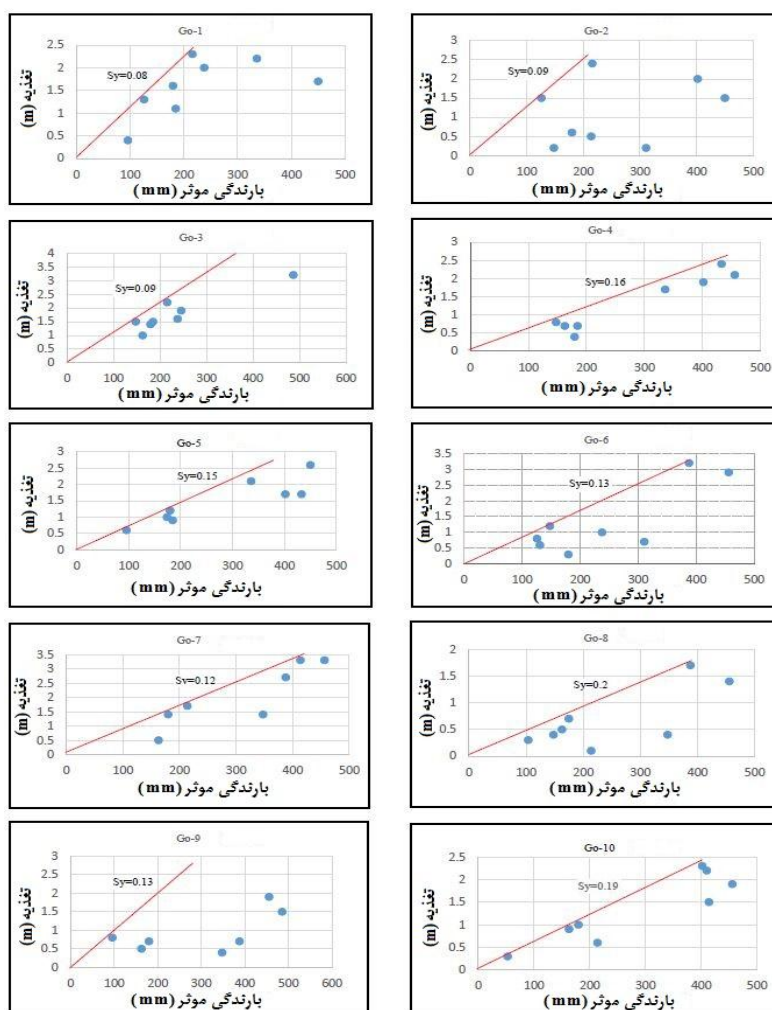
آبدی ویژه (Sy) عبارت است از حجم آبی از یک آبخوان آزاد که در واحد سطح به ازای افت یک واحد سطح آب زیرزمینی از آن خارج می‌شود [۱۵]. روش‌های استفاده‌شده برای تعیین آبدی ویژه، تحلیل داده‌های افت- زمان با استفاده از آزمون پمپاژ است. همچنین محاسبات بیلان آبی اساساً بر پایه نوسانات سطح آب در پاسخ به تغذیه یا تخلیه آبخوان است [۱۶].

پلیگون GO-1 با مقدار ۰/۰۸ و میانگین ۰/۱۳ برای کل دشت برآورد شد که در جدول ۲ ارائه شده است.

جدول ۱. آبدهی ویژه مواد آبخوان [۲۱]

میانگین	مواد آبخوان
۰/۲۱	ماسه سنگ (ریزدانه)
۰/۲۷	ماسه سنگ (متوسطدانه)
۰/۱۲	سیلت استون
۰/۳۳	ماسه (ریزدانه)
۰/۳۲	ماسه (متوسطدانه)
۰/۳۰	ماسه (درشتدانه)
۰/۲۸	گراول (ریزدانه)
۰/۲۴	گراول (متوسطدانه)
۰/۲۱	گراول (درشتدانه)
۰/۲۰	سیلت
۰/۰۶	رس

(شامل بیلان آب و خاک، روش‌های آزمایشگاهی، بیلان جرمی کلر و استفاده از تصاویر ماهواره‌ای) به این نتیجه رسیدند که رابطه مستقیم و قوی بین میزان بارندگی و تغذیه آب زیرزمینی وجود دارد و می‌توان مقدار Sy را با رسم کردن داده‌های بارش در مقابل مقدار صعود سطح آب زیرزمینی تخمین زد. با وجود داده‌های چندین ساله سطح آب، بارندگی و همچنین پراکنش مناسب پیژومترها در سطح دشت، تصمیم گرفته شد از روش ESL به‌عنوان یکی از روش‌های مناسب برای تعیین Sy استفاده شود. همانند روش DWL در این روش پلیگون‌بندی تیسن در دشت گلگیر به‌منظور افزایش دقت در تحلیل و محاسبه نتایج به‌کار گرفته شد و برای هشت سال مقدار بالآمدگی سطح آب در مقابل بارش مؤثر رسم شد که در شکل ۴ ارائه شده است. مقدار Sy هر پلیگون به کمک روش ESL محاسبه شد. بیشترین مقدار Sy برای پلیگون GO-8 با مقدار ۰/۲ و کمترین مقدار آن برای



شکل ۴. رابطه بین بارندگی مؤثر و صعود سطح آب زیرزمینی در پلیگون‌های GO-1 تا GO-10 به‌منظور تخمین مقدار آبدهی ویژه

سونداژها پراکندگی مناسبی در نزدیکی گمانه‌ها و محل‌های دارای آزمون پمپاژ به‌منظور تطبیق با نتایج آنها دارند [۱۲]. موقعیت گمانه‌ها و چاه‌های دارای آزمون پمپاژ در شکل ۱ نشان داده شده است.

تفسیر اولیه داده‌های سونداژ الکتریکی قائم با استفاده از نرم‌افزار IPI2win و تکنیک یکسان‌سازی منحنی جزئی معمولی انجام شد؛ در این زمینه از مطالعات کوفورد و همکارانش [۲۷] بهره گرفته شد. با استفاده از این برنامه مقاومت لایه و ضخامت به‌دست‌آمده تخمین به کمک رایانه تفسیر شد. بنابراین، کمی کردن نتایج سونداژ عمقی الکتریکی با استفاده از مقاومت لایه مربوط به آن و ویژگی‌های آب منفذی امکان‌پذیر بود. همانند روش DWL و ESL منطقه مطالعاتی با توجه به پراکنش پیژومترها به کمک روش پلیگون‌بندی تیسن به ۱۰ بخش تقسیم شد و مقدار آبدی ویژه در هر بخش به‌دست آمد. بیشترین مقدار Sy برای پلیگون GO-10 با مقدار ۰/۱۴ و کمترین مقدار آن برای پلیگون GO-2 با مقدار ۰/۰۶ و میانگین ۰/۱۱ برای کل دشت برآورد شد که در جدول ۲ ارائه شده است.

#### تخمین تغذیه به سه روش DWL، ESL و VES

تغذیه آب زیرزمینی دشت گلگیر با استفاده از نتایج به‌دست‌آمده از ۱۰ پیژومتر تخمین زده شد. به‌منظور افزایش دقت استفاده از روش‌های تخمین آبدی ویژه، میزان Sy برای محدوده هر پیژومتر به سه روش استفاده از لاگ چاه‌های مشاهده‌ای (DWL)، استفاده از گراف نوسانات سطح آب زیرزمینی در مقابل بارندگی (ESL) و روش VES به‌دست آمد.

مقدار تغذیه برای هشت سال با استفاده از روش نوسانات سطح آب زیرزمینی (WTF) به کمک معادله ۱ برای سه مقدار Sy (با میانگین Sy برای کل دشت  $Sy_{DWL}=0/12$  و  $Sy_{ESL}=0/13$  و  $Sy_{VES}=0/11$ ) تخمین زده شد. میزان تغذیه به‌دست‌آمده برای هشت سال (از ۱۳۸۵ تا ۱۳۹۲) در جدول ۳ ارائه شده است. میزان ضریب همبستگی به‌دست‌آمده از معادله رگرسیونی میزان تغذیه در برابر مقدار بارش سالیانه برابر  $r^2_{VES}=0/75$  و  $r^2_{DWL}=0/70$  و  $r^2_{ESL}=0/79$  به‌دست آمد. رابطه بین تغذیه آب زیرزمینی و بارندگی سالانه برای روش‌های ESL، DWL و VES در شکل ۵ نشان داده شده است.

#### روش سونداژ الکتریکی قائم (VES)

روش‌های سونداژ الکتریکی قائم به‌دلیل سادگی، سرعت و ارزانی در مطالعات آب زیرزمینی کارکرد بسزایی دارد و استفاده از آنها نیز روزبه‌روز از نظر کیفی و کمی گسترده‌تر می‌شود [۲۲]. در سال‌های اخیر تلاش‌های زیادی توسط محققان به‌منظور تخمین پارامترهای هیدرولیکی از سونداژهای مقاومت‌سنجی شده است [۲۳]. محققان مقدار آبدی ویژه (Sy) با استفاده از روابط تجربی و نیمه‌تجربی تخمین زده‌اند [۲۴ و ۲۵]. اگرچه مطالعاتی در گذشته برای بررسی ارتباط بین پارامترهای ژئوالکتریکی و هیدروژئولوژیکی انجام شده است، در مناطقی با زمین‌شناسی یکنواخت روابط تجربی به‌دست‌آمده کاربرد بیشتری دارد.

نقطه شروع روش تخمین مقدار آبدی ویژه به کمک سونداژهای ژئوالکتریکی توسط آرچی [۲۶]، با ارتباط دادن مقاومت لایه استخراج‌شده از منحنی ژئوالکتریکی به مقاومت آب منفذی و تخلخل و سیمانی شدن لایه‌ها بود. آرچی [۲۶] معادله ۳ را به‌منظور تخمین مقدار آبدی ویژه پیشنهاد کرد:

$$S_y = \left( \frac{\rho_w}{\rho_{sat}} \right)^{\frac{1}{m}} \left[ 1 - \left( \frac{\rho_{sat}}{\rho_{unsat}} \right)^{\frac{1}{n}} \right] \quad (3)$$

که  $\rho_{unsat}$  مقاومت ویژه لایه غیراشباع،  $\rho_{sat}$  مقاومت ویژه لایه اشباع،  $\rho_w$  مقاومت ویژه آب، M و n مقدار ثابتی است که به نوع خاک بستگی دارد.  $\rho_{sat}$  و  $\rho_{unsat}$  از سونداژ عمقی ژئوالکتریکی به‌دست آمده‌اند. در مطالعه حاضر برای خاک‌های حاوی رس و ماسه مقدار m برابر ۱/۵ و مقدار n برابر ۲ فرض شده است. برای محاسبه  $\rho_w$  می‌توان از معادله ۴ استفاده کرد:

$$\rho_w = \frac{10^4}{EC} \quad (4)$$

که در آن  $\rho_w$  مقاومت ویژه آب بر حسب  $\Omega m$ ، EC هدایت الکتریکی بر حسب  $\frac{\mu mhos}{cm}$  است.

۵۶ سونداژ الکتریکی قائم در دشت گلگیر در مساحتی حدود ۲۵ کیلومتر مربع توسط سازمان آب و برق خوزستان در سال ۱۳۸۵ انجام شده است که ۴۴ عدد از آنها به‌دلیل واقع شدن در محدوده مطالعاتی استفاده شد. از روش شلمبرژر با فاصله حداقل ۳ متر تا حداکثر ۳۰۰ متر در انجام مطالعات ژئوفیزیکی دشت گلگیر استفاده شده است.

تقویت می‌کند که تأثیر تاقدیس کارستی آسماری و مرز ورودی جنوب شرقی دشت شایان توجه است. چیت‌سازان و همکارانش [۱۳] با استفاده از مدل‌سازی عددی دشت گلگیر نشان دادند تاقدیس آسماری در بخش شمال شرقی دشت و مرز جنوب شرقی دشت کارکرد تغذیه‌ای مؤثری دارند.

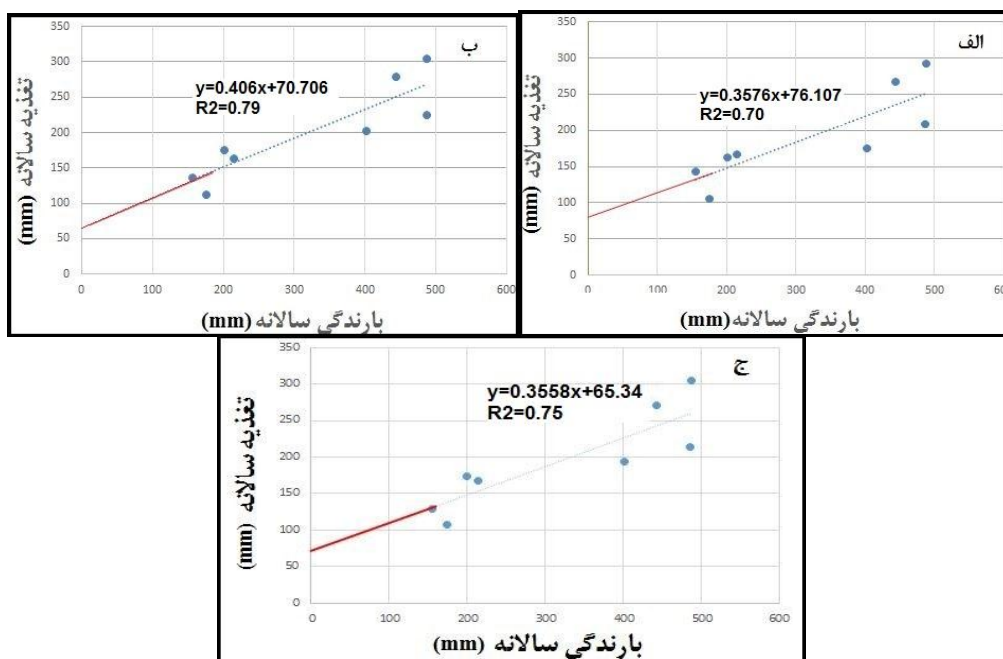
محل تقاطع تابع به‌دست‌آمده با محور عرض‌ها مقدار تغذیه بدون رخداد بارندگی را نشان می‌دهد که این مقدار برای  $Sy_{DWL}$  برابر ۷۶ میلی‌متر، برای  $Sy_{ESL}$  برابر ۷۰ میلی‌متر و برای  $Sy_{VES}$  برابر ۶۵ میلی‌متر در سال است. به‌علت اینکه تغذیه به‌شدت به بارندگی وابسته است، مقدار تغذیه بدون وقوع بارندگی وجود یک یا چند منبع تغذیه را

جدول ۲. مقدار آبدهی ویژه تخمینی در پلیگون‌های Go-1 تا Go-10 به‌همراه مقدار ماکزیمم، مینیمم و میانگین آنها

پیزومتر	Go-1	Go-2	Go-3	Go-4	Go-5	Go-6	Go-7	Go-8	Go-9	Go-10	کمترین	بیشترین	میانگین
Sy-DWL	۰/۰۶	۰/۰۸	۰/۰۹	۰/۱۴	۰/۱۳	۰/۱۶	۰/۱۵	۰/۱۸	۰/۱۱	۰/۱۰	۰/۰۶	۰/۱۸	۰/۱۲
Sy-ESL	۰/۰۸	۰/۰۹	۰/۰۹	۰/۱۶	۰/۱۵	۰/۱۳	۰/۱۲	۰/۲۰	۰/۱۳	۰/۱۹	۰/۰۸	۰/۲۰	۰/۱۳
Sy-VES	۰/۰۷	۰/۰۶	۰/۱۲	۰/۱۱	۰/۱۲	۰/۱۳	۰/۱۱	۰/۱۱	۰/۱۲	۰/۱۴	۰/۰۶	۰/۱۴	۰/۱۱

جدول ۳. مقدار تغذیه تخمینی برای سه روش DWL، ESL و VES در سال‌های ۱۳۸۵ تا ۱۳۹۲

سال	تغذیه (mm/y) $Sy_{DWL}=0/12$	تغذیه (mm/y) $Sy_{ESL}=0/13$	تغذیه (mm/y) $Sy_{VES}=0/11$
۱۳۸۵	۲۵۹/۹	۲۷۹	۲۴۹/۳
۱۳۸۶	۱۷۲/۹	۲۰۲/۹	۱۷۶/۸
۱۳۸۷	۱۴۱/۹	۱۵۸/۴	۱۴۲/۵
۱۳۸۸	۱۶۰/۳	۱۵۴/۴	۱۳۴/۴
۱۳۸۹	۲۰۹/۲	۲۲۲/۲	۱۹۵/۸
۱۳۹۰	۱۵۹/۸	۱۶۳/۴	۱۵۴/۹
۱۳۹۱	۱۰۳/۶	۱۱۳	۱۰۰/۶
۱۳۹۲	۲۸۵/۵	۳۰۵	۲۸۰/۲
میانگین	۱۸۶/۶	۱۹۹/۸	۱۷۹/۳



شکل ۵. معادله رگرسیونی میزان تغذیه در برابر مقدار بارش سالیانه (الف) روش DWL؛ (ب) روش ESL و (ج) روش VES



آب زیرزمینی دشت گلگیر ۱/۴۹ متر (با حداقل ۰/۷ و حداکثر ۲/۲) با ضریب تغییرات ۰/۳۲ است، که بیشتر بودن ضریب تغییرات بارندگی نسبت به صعود سطح آب زیرزمینی شایان توجه است. بیشترین مقدار تغذیه سالانه در هر سه روش DWL، ESL و VES در سال ۱۳۹۲ و به ترتیب برابر ۲۸۵، ۳۰۴ و ۲۸۰ میلی‌متر در سال و کمترین تغذیه سالانه در هر سه روش DWL، ESL و VES در سال ۱۳۹۱ و به ترتیب برابر ۱۰۳، ۱۱۳ و ۱۰۱ میلی‌متر در سال رخ داده است. در سال ۱۳۹۱ خشکسالی شدیدی در منطقه اتفاق افتاده است که دلیل کاهش مقدار تغذیه است. میانگین تغذیه سالانه برای دوره هشت‌ساله به کمک Sy به دست آمده از سه روش DWL، ESL و VES به ترتیب برابر ۱۸۶، ۲۰۰ و ۱۷۹ میلی‌متر در سال بوده است.

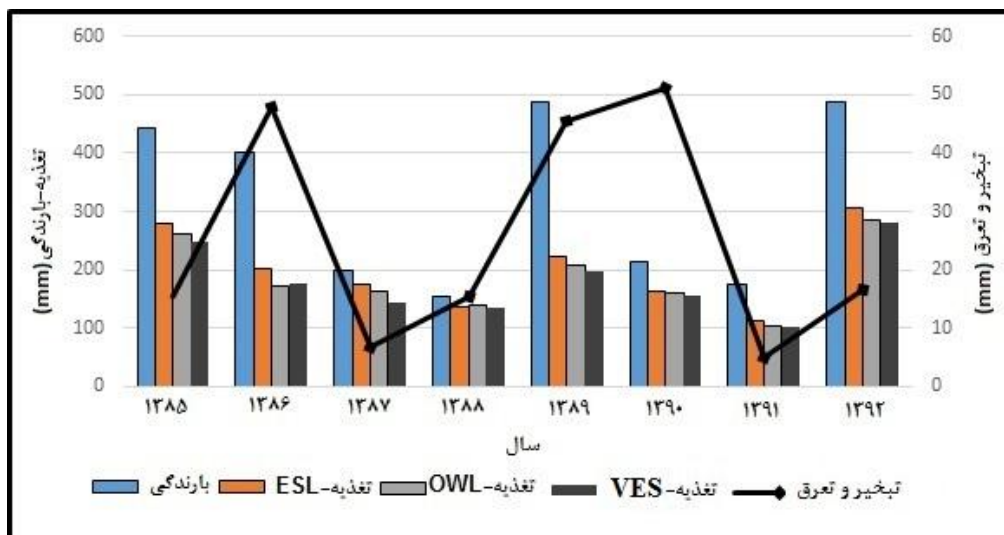
**روابط تغذیه آب زیرزمینی و جریان پایه**

بیشترین سطح آب در یک حوضه، بیشترین مقدار آب ذخیره شده در آبخوان خواهد بود. بنابراین، آب ذخیره شده به طور نسبی با مقدار تغذیه مرتبط است (وقتی تنها آب ورودی به آبخوان از طریق تغذیه است) و تغذیه باید رابطه مستقیمی با افزایش دبی جریان پایه داشته باشد [۲۰]. شکل ۶ با ضریب همبستگی  $r^2_{ESL}=0/90$  و  $r^2_{DWL}=0/83$  و  $r^2_{VES}=0/89$  این فرضیه را تأیید می‌کند.

میانگین بارندگی سالانه برای سال‌های ۱۳۸۵ تا ۱۳۹۲ و میانگین سالانه صعود سطح آب پیزومترهای Go-1 تا Go-10 برای هشت سال با مقدار کمترین و بیشترین آنها نیز در جدول ۴ ارائه شده است.

تغییرات سالیانه بارندگی و تغذیه برای آبدھی‌های به دست آمده از روش‌های SyDWL، SyESL و SyVES به همراه تغییرات تبخیر و تعرق در شکل ۶ نشان داده شده است. با توجه به اینکه مقدار تغذیه تحت تأثیر تغییرات بارندگی است، اما در بعضی سال‌ها به علت تغییرات دمایی، شدت بارش‌ها و تبدیل شدن آنها به رواناب و هدررفت بارش تغییرات خاصی در تغذیه مشاهده نمی‌شود. همچنین به علت وجود تاقدیس کارستی آسماری در مجاورت محدوده مطالعاتی و توسعه کارستی فیکیشن تاقدیس آسماری، زمان تأخیری در رسیدن آب تغذیه‌ای از تاقدیس به دشت گلگیر وجود دارد. در سال ۱۳۹۱ روند عمومی تبخیر و تعرق با میزان بارش همخوانی ندارد که علت آن تفاوت میانگین دمایی سال ۱۳۹۱ نسبت به دیگر سال‌های مطالعاتی است. شکل ۵ میزان بارندگی سالیانه و تغذیه با توجه به آبدھی ویژه به دست آمده از روش‌های SyDWL، SyESL و SyVES و تبخیر و تعرق واقعی را نشان می‌دهد.

میانگین بارندگی سالیانه در دوره هشت‌ساله ۳۲۰ میلی‌متر با ضریب تغییرات ۰/۴۶ است. میانگین صعود سطح



شکل ۶. میزان بارندگی سالیانه و تغذیه با توجه به آبدھی ویژه به دست آمده از روش‌های SyDWL، SyESL و SyVES و تبخیر و تعرق واقعی

جدول ۴. بارندگی سالانه (mm)، دمای سالانه (°C)، ارتفاع آب در پیزومترها (m)، متوسط عمق اندازه‌گیری شده (m)، تغییرات سطح آب سالیانه (m)، بالآمدگی سطح آب شبکه (استفاده شده در محاسبه تغذیه)، کاهش سطح سالیانه شبکه (m) و نسبت میزان تغذیه به بارندگی برای سه روش DWL, ESL و VES

سال	بارندگی (mm)	دما (°C)	نام پیزومترها و عمق سطح آب زیرزمینی										شبکه						
			GO-1	GO-2	GO-3	GO-4	GO-5	GO-6	GO-7	GO-8	GO-9	GO-10	میانگین عمق	Δh (m)	صعود آب (mm)	آب نزول (m)	%R/P-ESL	%R/P-DWL	%R/P-VES
۱۳۸۵	۴۳۳	۲۵/۵	۴/۳	۵/۵	۲/۳	۱/۹	۱/۷۳	۵/۱	۱/۸۸	۱/۷۳	۱۳/۵	۱/۴	۲/۱۷	۱/۷۵	۱/۷۳	۲/۱۵	۰/۶۳	۰/۵۹	۰/۵۶
۱۳۸۶	۴۰۲	۲۵/۴	۴/۴	۶/۱	۲/۳	۱/۶	۱/۷۳	۶/۱	۱۹/۳	۱/۷۳	۱۳/۹	۱/۶	۲/۱۷	۱/۴	۱/۸	۲/۳	۰/۵۰	۰/۴۳	۰/۴۴
۱۳۸۷	۲۰۰	۲۵/۳	۵/۱	۷/۳	۲/۱	۱/۳۴	۱/۷۳	۷/۶	۱۹/۸	۱/۷۳	۱۴/۳	۱/۶	۲/۱۷	۰/۴	۱	۰/۶	۰/۸۷	۰/۸۱	۰/۷۱
۱۳۸۸	۱۵۵	۲۵/۹	۶/۶	۸/۶	۴/۴	۱/۲۹	۱/۷۸	۷/۹	۱۷	۱/۷	۱۴/۵	۱/۱	۲/۲۴	-۰/۸	۱/۸	۷/۶	۰/۸۹	۰/۸۹	۰/۸۷
۱۳۸۹	۴۸۶	۲۵/۵	۷/۱	۹/۳	۴/۹	۱۵/۹	۱/۸۵	۸	۱۵/۴	۱/۸۵	۱۲/۴	۱/۸	۲/۲۷	-۱	۱/۵	۷/۵	۰/۴۶	۰/۴۳	۰/۴۰
۱۳۹۰	۲۱۴	۲۷/۲	۸/۴	۱۰/۱	۶/۱	۱/۷۳	۲۰	۹	۱۵/۳	۱۵/۳	۱۷/۴	۱/۵	۳۳	-۰/۹	۱/۶	۲/۵	۰/۷۶	۰/۷۴	۰/۷۲
۱۳۹۱	۱۷۴	۲۵/۳	۹/۳	۱۰/۷	۷/۶	۱/۸۱	۲/۱۳	۹/۳	۱۵/۸	۱۵/۸	۱۴/۸	۱/۶	۲۳/۷	۱	۰/۷	۲/۵	۰/۶۵	۰/۵۹	۰/۵۸
۱۳۹۲	۴۸۷	۲۴/۸	۹/۳	۱۰/۵	۶/۹	۱/۷۸	۲۰/۳	۸/۶	۱۵/۳	۱۵/۳	۱۴/۵	۱/۳	۲۳/۶	-۰/۵	۲/۳	۲/۱۵	۰/۶۳	۰/۵۹	۰/۵۸
میانگین	۳۲۰	۲۵/۶	۶/۸	۸/۵	۴/۷	۱۴/۹	۱/۸۷	۷/۷	۱۷	۱۷	۱۴	۱/۱۱	۲/۲۶	-۰/۳۱	۱/۴۹	۱/۸۰	۰/۶۷	۰/۶۳	۰/۶۱
کمترین	۱۵۵	۲۴/۸	۴/۳	۵/۵	۲/۳	۱/۶	۱/۷۳	۵/۱	۱۵/۳	۱۵/۳	۱۲/۴	۱/۴	۲/۱۷	-۱	۰/۷۰	۲/۳۰	۰/۴۶	۰/۴۳	۰/۴۰
بیشترین	۴۸۷	۲۷/۲	۹/۳	۱۰/۷	۷/۶	۱/۸۱	۲/۱۳	۹/۳	۱۹/۸	۱۹/۸	۱۴/۸	۱/۸	۲۳/۷	۱	۲/۳۰	۲/۶۰	۰/۸۹	۰/۸۹	۰/۸۷
انحراف از معیار	۱۳۷	۰/۷۱	۲/۰۶	۲/۰۲	۲/۰۶	۲/۰	۱/۵۹	۱/۴۳	۱/۹۶	۱/۹۶	۰/۵۵	۰/۵۳	۰/۸۳	۰/۷۳	۱/۰۶	۱/۰۶	۰/۱۶	۰/۱۷	۰/۱۵
ضریب تغییرات	۰/۴۶	۰/۳	۰/۳۰	۰/۳۴	۰/۴۴	۰/۱۸	۰/۰۹	۰/۱۹	۰/۱۲	۰/۱۲	۰/۰۴	۰/۰۵	۰/۰۴	۰/۳۳	۰/۵۹	۰/۳۳	۰/۳۷	۰/۳۷	۰/۲۵

$$Q_{bf} = 0.02P + 0.13R + 19/98 \quad (7)$$

با  $r^2_{VES} = 0/83$  و  $r^2_{DWL} = 0/80$ ،  $r^2_{ESL} = 0/90$  که R تغذیه آب زیرزمینی (mm)،  $Q_{bf}$  جریان پایه (m<sup>3</sup>/y) و P بارندگی (mm) است. چون روابط به‌طور جداگانه بین R و  $Q_{bf}$  خطی است، رابطه خطی استفاده شد. رابطه بین تغذیه و جریان پایه در شکل ۷ برای روش‌های ESL, DWL و VES نشان داده شده است. این روابط به‌منظور درک بهتر سیستم آبی منطقه‌ای مفید است.

اگر دبی جریان پایه وابسته به تغذیه آب زیرزمینی و بارندگی سالانه باشد، تلاش به‌منظور به‌دست‌آوردن رابطه بین تغذیه آب زیرزمینی، جریان پایه و بارندگی سالانه قابل قبول است [۲۰]. معادلات تجربی ۵-۷ برای تعیین رابطه بین جریان پایه، بارندگی و تغذیه آب زیرزمینی به‌ترتیب برای سه روش DWL, ESL و VES به‌دست آمد.

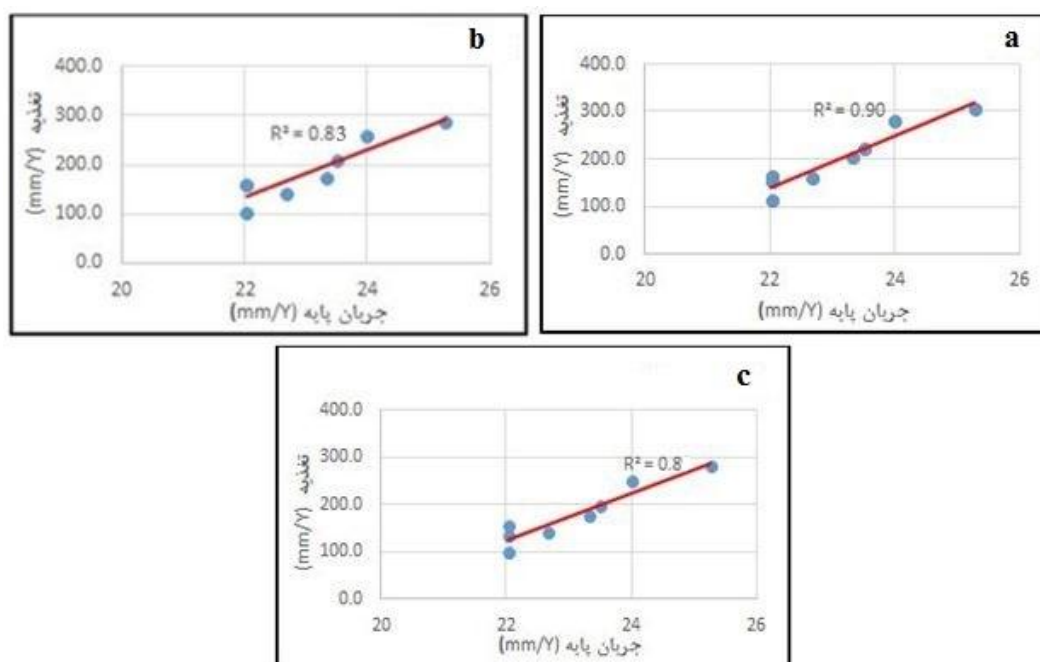
$$Q_{bf} = 0.02P + 0.14R + 19/78 \quad (5)$$

$$Q_{bf} = 0.003P + 0.17R + 19/56 \quad (6)$$

جدول ۵. میانگین جریان پایه سالانه

سال	جریان پایه ( $m^3/Y$ )
۱۳۸۵	۲۶۰۰۰۰
۱۳۸۶	۲۴۰۰۰۰
۱۳۸۷	۲۲۰۰۰۰
۱۳۸۸	۲۱۰۰۰۰
۱۳۸۹	۲۷۰۰۰۰
۱۳۹۰	۲۲۰۰۰۰
۱۳۹۱	۲۲۰۰۰۰
۱۳۹۲	۲۶۰۰۰۰

بر اساس اصل امساک، حل ساده همیشه ترجیح داده می‌شود [۲۰]. در نهایت، رابطه بین جریان پایه با بارندگی و میانگین سالیانه تغذیه آب زیرزمینی را یافتیم. میانگین جریان پایه برای هشت سال در جدول ۵ آورده شده است. نتایج نشان داد بهترین رابطه خطی با تناسب خوب  $r^2=0/90$  برای روش ESL وجود دارد. بنابراین، اگر جریان پایه بتواند به‌صورت بارندگی و تغذیه آب زیرزمینی توصیف شود، پس باید ارتباط خوبی بین تغذیه، بارندگی و جریان پایه وجود داشته باشد.



شکل ۷. رابطه بین تغذیه و جریان پایه  
(a) روش ESL؛ (b) روش DWL؛ (c) روش VES

برابر ۰/۱۲، ۰/۱۳ و ۰/۱۱ به‌دست آمد. برای تعیین مقدار دقیق‌تر آبدی ویژه، به کمک روابط بین تغذیه- بارندگی و تغذیه- جریان پایه مقدار بهینه Sy برای روش ESL به‌ترتیب با ضریب همبستگی  $r^2=0/79$  و  $r^2=0/90$  تخمین زده شد. همچنین، رابطه بین میزان تغذیه، جریان پایه و بارندگی با استفاده از آبدی ویژه به‌دست‌آمده از روش‌های ESL، DWL و VES نیز تعیین شد. مقادیر به‌دست‌آمده نشان داد روش ESL ضریب همبستگی مناسب‌تری ( $r^2=0/90$ ) نسبت به دو روش دیگر دارد. میانگین تغذیه سالانه دوره هشت‌ساله (۱۳۸۵ تا ۱۳۹۲) برای سه روش ESL، DWL و VES به‌ترتیب برابر

### نتیجه‌گیری

روش نوسانات سطح آب زیرزمینی (WTF) به‌منظور تخمین تغذیه در مناطقی با عمق کم سطح آب زیرزمینی توسعه یافته است. این روش برای توصیف تغییرات زمانی و مکانی تغذیه آب زیرزمینی بسیار مفید است.

وابستگی زیاد مقادیر تغذیه محاسبه‌شده در روش WTF به تعیین صحیح آبدی ویژه سبب شد تا در این مطالعه به محاسبه مقدار Sy پرداخته شود و نتایج و تأثیر آن در تخمین مقدار تغذیه بررسی شود. بدین‌منظور برای ارتقای کیفیت نتایج روش WTF، آبدی ویژه با استفاده از سه روش ESL، DWL و VES برای دشت گلگیر به‌ترتیب

- streamflow-hydrograph methods: Pennsylvania (No. 2005-1333); 2005.
- [6]. Scanlon BR, Healy RW, Cook PG. Choosing appropriate techniques for quantifying groundwater recharge. *Hydrogeology Journal*. 2002; 10(1):18-39.
- [7]. Healy RW, Cook PG. Using groundwater levels to estimate recharge. *Hydrogeology journal*. 2002; 10(1):91-109.
- [8]. Rabinowitz DD, Gross GW, Holmes CR. Environmental tritium as a hydrometeorologic tool in the Roswell basin, New Mexico, I. Tritium input function and precipitation-recharge relation. *Journal of Hydrology*. 1977; 32(1-2):3-17.
- [9]. Crosbie RS, Binning P, Kalma JD. A time series approach to inferring groundwater recharge using the water table fluctuation method. *Water Resources Research*. 2005; 41(1), Issue 1.
- [10]. Mohammadi Z. Using geostatistical methods to estimate the spatial distribution of hydraulic conductivity in the Golgir plain and the results of a mathematical model. *Khuzestan Department of Water and Power*; 2012. [Persian].
- [11]. Darvishzadeh A. *Geology of Iran*, Danesh-E-Emrouz pub., Teheran; 1991. [Persian].
- [12]. Khuzestan Department of Water and Power. *Studies on recognition of groundwater in Golgir plain region*. Ahwaz. Iran; 2005. [Persian].
- [13]. Chitsazan M, Orang M. Modeling and groundwater resource management with an emphasis on feasibility and impact subsurface dams in Golgir plain. groundwater master's thesis. Faculty of earth science and GIS. Shahid Chamran university; 2103. [Persian].
- [14]. Healy RW. *Estimating groundwater recharge*. 1st ed. New York. Cambridge University Press; 2010.
- [15]. Freeze RA, Cherry JA. *Groundwater* Prentice Hall Englewood Cliffs. 1st ed. New Jersey: the University of Michigan; 1979.
- [16]. Neuman SP. On methods of determining specific yield. *Ground Water*. 1987; 25(6):679-684.
- [17]. King FH, Slichter CS. *Principles and conditions of the movements of ground water*. Washington, D.C, Govt: Prtg. Off; 1899.
- [18]. Johnson AI. *Specific yield: compilation of specific yields for various materials*. US Government Printing Office. California. Department of Water Resources; 1967.

۱۷۹/۳ و ۱۹۹/۸، ۱۸۶/۶ شد. مطالعات گذشته نشان دادند تاقدیس آسماری واقع شده در مجاورت آبخوان گلگیر ارتباط هیدرولیکی با آبخوان دارد و به احتمال زیاد در تغذیه آبخوان تأثیر دارد. نتایج مطالعات حاضر نشان داد مقادیر تغذیه دشت بیان‌کننده تأثیر زیاد تاقدیس آسماری در تغذیه دشت گلگیر است که نتایج به دست آمده از مطالعات گذشته را تصدیق می‌کند.

نتایج نشان داد استفاده از روش ESL در منطقه مطالعه شده به منظور تخمین مقدار Sy نسبت به دیگر روش‌های مطالعه شده (مانند DWL و VES) علاوه بر داشتن تقریب درستی بیشتر، ساده‌تر و کم‌هزینه‌تر نیز است. بنابراین، با توجه به اهمیت تخمین تغذیه آب زیرزمینی در مدیریت و برنامه‌ریزی منابع آبی و وابستگی زیاد روش WTF به مقدار Sy، تخمین تغذیه آب زیرزمینی با استفاده از مقدار بهینه Sy کمک شایانی به متخصصان منابع آب به منظور پیشبرد اهداف و تصمیم‌گیری آنها می‌کند.

#### منابع

- [1]. Sophocleous M. Groundwater recharge estimation and regionalization: the Great Bend Prairie of central Kansas and its recharge statistics. *Journal of Hydrology*. 1992; 137(1):113-140.
- [2]. Pour Mohammadi S, Dastoorani MT, Jafari H, Rahimian MH, Goodarzi M, Masmarian Z, et al. Hamedan Tuyserkan groundwater balance analysis by using MODFLOW mathematical models. *Journal of Ecohydrology*. 2016; 2(4):371-382. [Persian].
- [3]. Jie Z, van Heyden J, Bendel D, Barthel R. Combination of soil-water balance models and water-table fluctuation methods for evaluation and improvement of groundwater recharge calculations. *Hydrogeology Journal*. 2011; 19(8):1487-1502.
- [4]. Ghobadian R, Bahrami Z, Dabagh Bagheri S. Applied management scenario to predict fluctuations in groundwater levels with MODFLOW conceptual and mathematical models (Case Study: Khazal-Nahavand plain). *Journal of Ecohydrology*. 2016; 3(3):303-319. [Persian].
- [5]. Risser DW, Conger RW, Ulrich JE, Asmussen MP. Estimates of ground-water recharge based on

- [19]. Manghi F, Mortazavi B, Crother C, Hamdi MR. Estimating regional groundwater recharge using a hydrological budget method. *Water resources management*. 2009; 23(12):2475-2489.
- [20]. Varni M, Comas R, Weinzettel P, Dietrich S. Application of the water table fluctuation method to characterize groundwater recharge in the Pampa plain, Argentina. *Hydrological Sciences Journal*. 2013; 58:7, 1445-1455.
- [21]. McWhorter DB, Sunada DK. *Ground-water hydrology and hydraulics*. 1st ed. Colorado. Water Resources Publication; 1977.
- [22]. Chen, J, Hubbard S, Rubin Y. Estimating the hydraulic conductivity at the South Oyster Site from geophysical tomographic data using Bayesian techniques based on the normal linear regression model. *Water Resources Research*. 2001; 37(6):1603-1613.
- [23]. Mazáč O, Kelly WE, Landa I. A hydrogeophysical model for relations between electrical and hydraulic properties of aquifers. *Journal of Hydrology*. 1985; 79(1):1-19.
- [24]. Torabi H, Dehghani R. The trend analysis of Cham Anjir basin change slightly by using non-parametric tests. *Journal of Ecohydrology*. 2016; 3(3):415-425. [Persian].
- [25]. Ashrafzadeh A, Aghajani M. Specific yield estimation in without statistic by using runoff regional analysis. *Journal of Ecohydrology*. 2017; 4(2):331-343. [Persian].
- [26]. Archie GE. The electrical resistivity log as an aid in determining some reservoir characteristics. *Transactions of the AIME*. 1942; 146(01):54-62.
- [27]. Koefoed O, Patra HP, Mallick K. *Geosounding principles*. Elsevier Science & Technology; 1979.