



## ارتباط بین مدل های شبیه سازی و بهینه سازی در مدیریت تلفیقی منابع آب سطحی و زیرزمینی با استفاده از منطق فازی

محمد علی علیجانیان<sup>۱</sup>، حمیدرضا صفوی<sup>۲</sup>، احمد ابریشمچی<sup>۳</sup>

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد مهندسی عمران-آب، دانشگاه صنعتی اصفهان

۲- استادیار دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه صنعتی اصفهان

۳- استاد دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه صنعتی شریف

[m\\_alijanian@cv.iut.ac.ir](mailto:m_alijanian@cv.iut.ac.ir)

### خلاصه

یک مسئله مدیریت تلفیقی منابع آب سطحی و زیرزمینی از سه بخش: مدل شبیه ساز، مدل بهینه ساز و ارتباط بین این دو مدل تشکیل شده است. ارتباط بین مدل شبیه ساز و بهینه ساز به خصوص در حالتیکه از نرم افزارهای شبیه ساز آب زیرزمینی استفاده می شود بسیار مهم و تأثیر گذار می باشد. برای این کار روش های متفاوتی چون توابع رگرسیون گیری، ماتریس پاسخ، تحلیل سلسله مراتبی و روش درونگذار وجود دارد. در این مقاله از روش رگرسیون خطی فازی برای تخمین یک مدل شبیه ساز ساخته شده با نرم افزار آب زیرزمینی استفاده شده است. با این روش علاوه بر تخمین مدل شبیه ساز عدم قطعیت های موجود را نیز می توان به صورت فازی در نظر گرفت. کلمات کلیدی: مدیریت تلفیقی، منابع آب سطحی، آب های زیرزمینی، رگرسیون خطی فازی.

### ۱-مقدمه

امروزه مساله کمبود منابع آب سطحی مناسب برای مصارف مختلف از قبیل شرب، کشاورزی و صنعت در فلات مرکزی ایران از یک طرف و محدودیت منابع آب زیرزمینی که بایستی ذخایر استاتیک آن برای جلوگیری از نشست زمین، کنترل آلودگی و مصارف آبی محافظت گردد، از طرف دیگر مساله مدیریت منابع آب و به خصوص در نظر گرفتن شرایط مدیریت تلفیقی منابع آب سطحی و زیرزمینی را پرنرنگتر نموده است. از آنجا که گام اول در مدیریت یک حوضه آبریز، یا یک آبخوان، شناخت خصوصیات و محدودیت های مختلف آن است، لذا برای مدیریت صحیح، شبیه سازی حوضه موردنظر اولین مرحله است. شبیه سازی یک حوضه با توجه به شرایط مرزی حوضه، نوع مصارف حوضه، نوع منابع تامین آب و دیگر پارامترهای موثر در آن با استفاده از روش های متفاوتی مثل مدل سازی عددی حوضه و یا استفاده از نرم افزارهای موجود انجام می گیرد. پس از شناخت و شبیه سازی مدل عددی حوضه مورد نظر، گام بعدی بهینه سازی مصارف و نیز استفاده از منابع آب با توجه و استفاده از مدل های شبیه سازی می باشد که با روش های مختلفی چون بهینه سازی خطی، بهینه ساز غیرخطی، مدل های بهینه سازی داده محور مثل شبکه های عصبی مصنوعی، الگوریتم ژنتیک، ماشین های بردار پشتیبان و روش های بهینه سازی فازی انجام می گیرد. از آنجا که استفاده از خروجی های نرم افزارهای شبیه سازی به صورت مستقیم برای مدل های بهینه سازی بسیار مشکل و وقت گیر است، و از طرف دیگر در مدل های بهینه سازی داده محور با توجه به تعداد اجرای زیادی از مدل استفاده مستقیم از مدل شبیه ساز در مدل بهینه ساز زمان رسیدن به جواب بهینه را بالا می برد، از مدل های اتصال دهنده مدل های شبیه ساز و بهینه ساز به عنوان یک رابط استفاده می شود. تکنیک اجرای درونگذار و ماتریس های پاسخ دو روش اصلی برای اتصال مدل شبیه ساز و بهینه ساز هستند. در تکنیک اجرای همزمان مدل بهینه ساز از روش های تقریب تفاضلات محدود یا اجزای محدود برای حل جریان با در نظر گرفتن و ارضای همزمان محدودیت های مدیریتی استفاده می کند. این روش برای حل مدل های مدیریتی تداخل جریان های آب شور توسط ویلز و فینی در سال ۱۹۸۸ [۱]، داس و داتا در سال ۱۹۹۹ استفاده شد [۲]. همچنین امچ و یه در سال ۱۹۹۸ از این روش به عنوان یک گزینه مناسب در حل مدل های مدیریتی اندرکنش آب های شور استفاده کردند [۳]. این مدل ها علاوه بر پیچیدگی های موجود در حالتیکه مدل شبیه ساز با استفاده از نرم افزارهای حل جریان آب زیرزمینی مثل MODFLOW ساخته شده، استفاده محدودتری خواهد داشت. ضمن آنکه برای استفاده آنها نیاز به امکانات سخت افزاری خاصی برای حل موازی مدل های شبیه ساز و بهینه ساز می باشد که منجر به بالا رفتن هزینه تامین امکانات و پیچیده شدن موضوع می گردد. اخیراً برای

<sup>۱</sup> دانشجوی کارشناسی ارشد مهندسی عمران-آب

<sup>۲</sup> استادیار

<sup>۳</sup> استاد



ساخت مدل اتصال اقدام به تقریب زدن یک مدل ساده تر از روی مدل شبیه ساز اصلی می نماید. این روش از نظر امکانات، هزینه و زمان بسیار مفیدتر خواهد بود. این تقریب با استفاده از ابزارهای مختلفی انجام می شود. ساده ترین روش برای تقریب مدل شبیه ساز اصلی استفاده از مدل رگرسیون خطی است.

کارآموز و همکاران در سال ۲۰۰۴ اقدام به تقریب از مدل شبیه سازی ساخته شده برای حوضه آبریز جنوب تهران با استفاده از روش رگرسیون خطی نموده اند [۴]. آلی در سال ۱۹۸۶ یک سری معادلات رگرسیون را برای بسط میزان تغییرات پمپاژ و آهنگ تغذیه برای پنج چاه تصمیم گیری در نه ناحیه کنترلی توسعه داد [۵]. لِفکاف و گارلیک در سال ۱۹۹۰ یک مدل رگرسیون چند متغیره را برای تقریب میزان انتقال آب در یک حوضه ارائه نمودند [۶]. یکی دیگر از گزینه های موجود برای تقریب شبیه ساز استفاده از شبکه های عصبی مصنوعی *ANN* می باشد. مرشد و کالوراچی ۱۹۹۸ یک مدل شبکه عصبی برای تخصیص *Concentration break-through curves* در یک جریان یک بعدی غیراشباع ارائه نمودند [۷]. جانسون و راجرز در سال ۲۰۰۰ اثرات استفاده از مدل های شبکه عصبی و تقریب دهنده های خطی در تلفیق با دو مدل دو بعدی متفاوت از جریان های آبهای زیرزمینی را بررسی نمودند [۸]. راجیب کومار و داتا در سال ۲۰۰۵ از یک تقریب دهنده شبکه عصبی مصنوعی برای اتصال بین یک مدل شبیه ساز عددی و مدل بهینه ساز *GA* استفاده نمودند [۹]. درزی در سال ۱۳۸۶ از یک تقریب زن شبکه عصبی مصنوعی برای تقریب یک مدل شبیه ساز تلفیقی ساخته شده توسط نرم افزار *Groundwater Vistas* کمک گرفته و از آن در مدل بهینه ساز با استفاده از روش *GA* در شرایط خاص کم آبی را استفاده نمودند [۱۰]. روش های گفته شده اقدام به تقریب مدل های شبیه ساز به صورت قطعی می نمایند در حالیکه پارامترهای مدیریتی وجود دارد که قابلیت توجه به آنها به صورت غیرقطعی و فازی وجود دارد. یکی از روش های تقریبی مورد استفاده رگرسیون خطی فازی است که اولین بار تئوری آن در سال ۱۹۸۲ توسط تاناکا و همکاران بسط داده شده است [۱۱]. پس از آن محققین زیادی روش های متفاوت رگرسیون خطی فازی را ارائه نموده اند. در این مقاله اقدام به تقریب نتایج مدل شبیه ساز ساخته شده با مدل *Groundwater Vistas* در دشت نجف آباد با استفاده از این روش شده است.

### رگرسیون خطی فازی

شکل کلی معادله رگرسیون خطی کلاسیک به صورت رابطه زیر می باشد؛

$$y = a_0 + a_1x_1 + \dots + a_nx_n \quad (1)$$

که در آن  $y$  متغیر خروجی،  $x_1, x_2, \dots, x_n$  متغیرهای ورودی و  $a_1, a_2, \dots, a_n$  ضرایب معادله به حساب می آیند. در این فرم به ازای هر سری از متغیرهای ورودی، تنها یک مقدار مشخص برای متغیر خروجی محاسبه می گردد در حالیکه رگرسیون فازی بازه ای از مقادیر ممکن را برای متغیر خروجی تخمین می زند. این مقادیر به وسیله یک توزیع امکانی که به وسیله تابع عضویت نشان داده می شود، مشخص می گردند. بنابراین برخلاف رگرسیون کلاسیک که مبتنی بر تئوری احتمال است رگرسیون فازی بر اساس تئوری امکان و تئوری مجموعه های فازی پایه گذاری شده است. محققین زیادی روش های مختلف جهت حل مسایل رگرسیون فازی ارائه نموده اند. تاناکا و همکاران برای اولین بار به این مسأله پرداخته و از آن پس به طور گسترده ای تحقیقات در این زمینه ادامه یافته است [۱۲]. به طور کلی برای برازش یک معادله رگرسیون خطی فازی سه دسته مدل رگرسیون امکانی فازی، رگرسیون کمترین مربعات فازی و رگرسیون مبتنی بر تحلیل بازه ای وجود دارد.

### مدل رگرسیون امکانی فازی

این مدل اولین بار توسط تاناکا و همکاران در سال ۱۹۸۲ ارائه گردید. مدل های رگرسیون امکانی فازی بهترین معادله رگرسیون را به دست می آورند. این کار با مینیمم کردن مجموع کل پهنای توابع عضویت ضرایب فازی معادله رگرسیون انجام می گیرد. بنابراین برای رسیدن به بهترین برازش بایستی یک مدل بهینه سازی تهیه گردد. در صورت استفاده از توابع عضویت مثلثی متقارن برای نمایش اعداد فازی این مدل ها استفاده شود، رگرسیون خطی فازی را می توان در قالب یک مسأله برنامه ریزی خطی فرموله و حل کرد. در این مقاله مدل هایی که ورودی و خروجی مشاهده ای اعداد غیرفازی می باشند را بررسی می کنیم. واضح است که خروجی های محاسباتی اعداد فازی خواهند بود. در این نوع رگرسیون فازی ارتباط بین متغیرهای ورودی و خروجی به شکل زیر در نظر گرفته می شود:

$$\tilde{y} = \tilde{A}_0 + \tilde{A}_1x_1 + \dots + \tilde{A}_nx_n \quad (2)$$

به طوریکه ضرایب این معادله یعنی  $\tilde{A}_0, \tilde{A}_1, \dots, \tilde{A}_n$  اعداد فازی و متغیرهای ورودی مشاهده ای یعنی  $x_1, x_2, \dots, x_n$  اعداد معمولی می باشند. با توجه به رابطه ۲، برای هر  $n$  متغیر ورودی، یک عدد فازی مانند  $\tilde{y}$  به عنوان خروجی به دست آورده می شود. هدف این است که بر اساس یک مجموعه از داده های مشاهده ای، ضرایب فازی مربوط به رابطه ۲ یعنی  $\tilde{A}_0, \tilde{A}_1, \dots, \tilde{A}_n$  به گونه ای به دست آورده شود که معادله مزبور بهترین برازش را بر روی داده ها داشته باشد. فرض کنید تعداد داده های مشاهده ای برابر  $m$  و تعداد متغیرهای ورودی یعنی  $x_{ij}$  برابر  $n$



باشد. آن گاه زوج داده‌های مشاهداتی به صورت  $(x_{ij}, y_j)$  خواهند بود و تابع عضویت ضرایب معادله رگرسیون همان گونه که در شکل ۱ آمده به صورت زیر است [۱۲]:

$$\mu_{\tilde{A}_i}(a_i) = \begin{cases} 1 - \frac{|p_i - a_i|}{c_i} & p_i - c_i \leq a_i \leq p_i + c_i \\ 0 & \text{otherwise} \end{cases} \quad (3)$$

در رابطه ۳،  $p_i$  و  $c_i$  به ترتیب مرکز و پهنای تابع عضویت می‌باشند. بنابراین  $\tilde{A}_i$  یک عدد فازی برای نشان دادن مقدار "تقریباً برابر  $p_i$ " بوده و  $c_i$  نشانگر میزان فازی بودن آن می‌باشد، این مفهوم به شکل  $\tilde{A}_i = (p_i, c_i)$  نمایش داده می‌شود. بنابراین رابطه ۲ را می‌توان به صورت زیر نوشت:

$$\tilde{y} = (p_0, c_0) + (p_1, c_1)x_1 + \dots + (p_n, c_n)x_n \quad (4)$$

آن گاه تابع عضویت متغیر فازی خروجی یعنی  $\tilde{y}$ ، به شکل زیر ارائه می‌شود:

$$\mu_{\tilde{y}}(y) = \begin{cases} \max(\min_i [\mu_{\tilde{A}_i}(a_i)]) & \{a | y = f(x, a)\} \neq \phi \\ 0 & \text{otherwise} \end{cases} \quad (5)$$

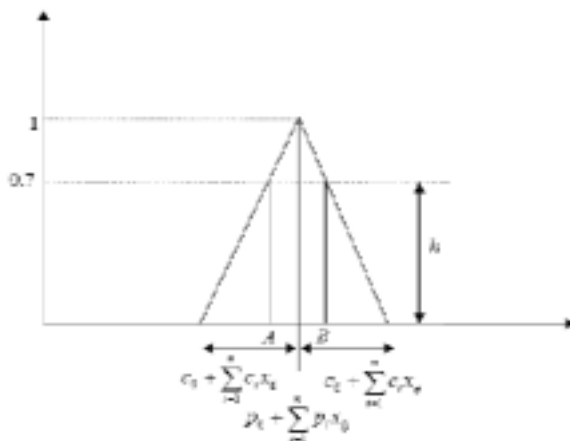
با جایگذاری رابطه ۳ در رابطه ۵ می‌توان نوشت:

$$\mu_{\tilde{y}}(y) = \begin{cases} 1 - \frac{|y - p_0 - \sum_{i=1}^n p_i x_i|}{c_0 + \sum_{i=1}^n c_i |x_i|} & ; x_i \neq 0 \\ 1 & ; x_i = 0 \quad y = 0 \\ 0 & ; x_i = 0 \quad y \neq 0 \end{cases} \quad (6)$$

همان گونه که قبلاً ذکر شد برای حل مسأله رگرسیون خطی فازی به یک مسأله برنامه‌ریزی خطی نیاز می‌باشد. در این حالت که داده‌ها غیرفازی می‌باشند، هدف مدل رگرسیون تعیین مقادیر بهینه  $\tilde{A}^*$ ، به گونه‌ای که درجه عضویت متغیر خروجی فازی برای تمام داده‌ها از یک مقدار معین مانند  $h$  که توسط کاربر تعیین می‌گردد بزرگتر باشد. به بیان دیگر رابطه زیر باید برای مقادیر  $j = 1, 2, \dots, m$  صادق باشد:

$$\mu_{\tilde{y}_j}(y_j) \geq h \quad (7)$$

با افزایش مقدار  $h$  میزان فازی بودن خروجی‌ها نیز افزایش می‌یابد. شکل ۲ تابع عضویت خروجی فازی را نشان می‌دهد [۱۲].



شکل ۲- تابع عضویت خروجی فازی



شکل ۱- تابع عضویت ضرایب فازی



رابطه ۷ بیان می‌کند که خروجی فازی باید بین دو مقدار  $A$  و  $B$  که در شکل ۲ آمده قرار گیرد. با توجه به رابطه ۶ مرکز و پهنای تابع عضویت خروجی به ترتیب برابر  $p_0 + \sum_{i=1}^n p_i x_{ij}$  و  $c_0 + \sum_{i=1}^n c_i x_{ij}$  در نظر گرفته می‌شود. حال ما به دنبال این هستیم که ضرایب فازی را به گونه‌ای تعیین کنیم که پهنای خروجی فازی برای تمام مجموعه‌های داده‌ها مینیمم گردد. بنابراین تابع هدف و قیود مسأله به صورت روابط زیر خواهد بود:

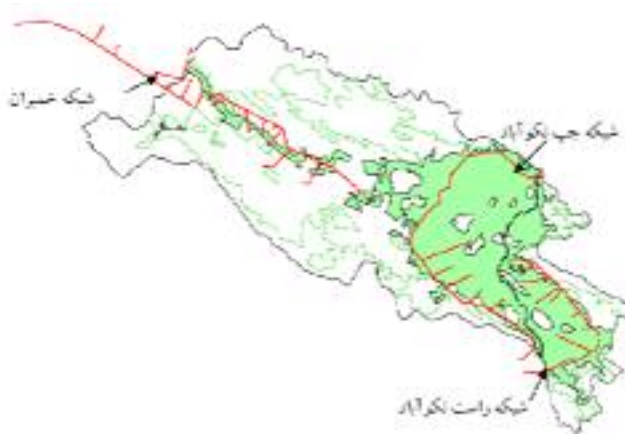
$$\text{Minimize: } mc_0 + \sum_{j=1}^m \sum_{i=1}^n c_i |x_{ij}| \quad (8)$$

$$p_0 + \sum_{i=1}^n p_i x_{ij} - (1-h) \left[ c_0 + \sum_{i=1}^n c_i x_{ij} \right] \leq y_i \quad (9)$$

$$p_0 + \sum_{i=1}^n p_i x_{ij} - (1-h) \left[ c_0 + \sum_{i=1}^n c_i x_{ij} \right] \geq y_i \quad (10)$$

### مطالعه موردی

زیرحوضه آبریز نجف آباد و آبخوان مربوطه با مساحتی به ترتیب ۱۷۲۰ و ۱۱۴۳ کیلومتر مربع بخشی از حوضه آبریز بزرگ زاینده رود در فلات مرکزی ایران می‌باشند. در محدوده حوضه آبریز تنها یک سفره آبرفتی قرار گرفته است که از لحاظ هیدروژئولوژیکی و با توجه به مشخصات هیدرودینامیکی لایه آبدار، آبخوان به دو بخش دره نجف آباد و محدوده لنجان سفلی تقسیم بندی می‌شود. محدوده دره نجف آباد که بخش مرکزی و غربی حوضه است با توجه به کمبود تغذیه آبخوان فقیر می‌باشد، اما در محدوده لنجان سفلی با توجه به تغذیه سفره از طریق رودخانه زاینده رود و جریان برگشتی آب کشاورزی، آبخوان دارای وضعیت مناسبی است. رودخانه زاینده رود با طول عبوری ۳۶ کیلومتر از این منطقه مهمترین منبع تامین آب سطحی است. ضمن آنکه دریافت آب به طور غیرمستقیم و از طریق شبکه آبیاری نکوآباد راست و چپ نیز صورت می‌گیرد. این شبکه‌ها از سد تنظیمی نکوآباد شروع شده و آب سطحی را در اراضی سمت راست و چپ رودخانه زاینده رود مشروب می‌کند. شکل ۳ موقعیت شبکه‌های آبیاری نکوآباد و جدول شماره ۱ خصوصیات آنها را نشان می‌دهد. شکل ۴ الف، روند تغییرات میزان آب تخصیص یافته به شبکه راست و چپ نکوآباد در طول سال‌های ۸۳-۱۳۷۲ و شکل ۴ ب، متوسط برداشت ماهانه از سیستم درسال آبی ۸۲-۱۳۸۱ را نشان می‌دهد. استحصال از منابع آب زیرزمینی منطقه به وسیله چاه، قنات و چشمه صورت می‌گیرد. اکثریت چاه‌ها به صورت نیمه عمیق با عمق حدود ۱۵ تا ۲۰ متر حفاری گردیده‌اند. شکل ۵ متوسط برداشت از منابع آب زیرزمینی منطقه را در طول یک دوره ۷ ساله نشان می‌دهد.

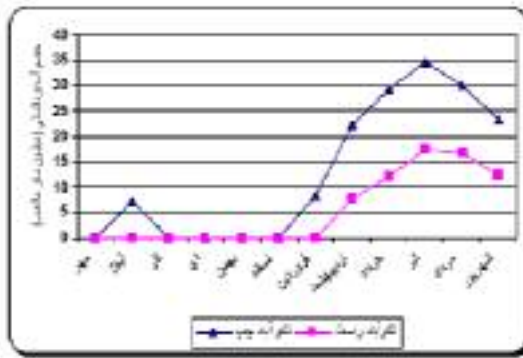


شکل ۳- موقعیت شبکه نکوآباد و اراضی تحت پوشش در دشت نجف آباد.

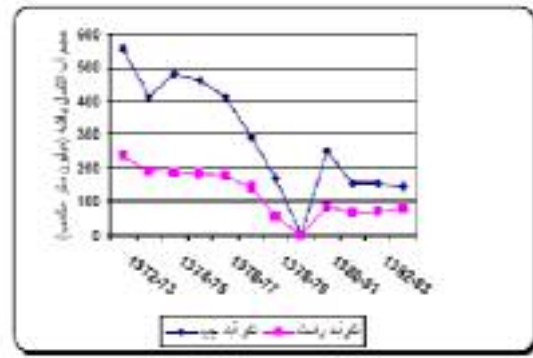
جدول ۱- خصوصیات شبکه‌های آبیاری نکوآباد				
نام شبکه	سطح زیر کشت (هکتار)	دبی طراحی (متر مکعب بر ثانیه)	طول کانال اصلی (کیلومتر)	طول کانال‌های فرعی (کیلومتر)
راست نکوآباد	۱۳۵۰۰	۱۳	۳۵/۵	۴۵
چپ نکوآباد	۴۸۰۰۰	۴۵	۵۹/۴	۷۶/۶

### شبیه سازی آبخوان دشت نجف آباد

به منظور شبیه سازی آبخوان دشت نجف آباد پس از جمع آوری اطلاعات مورد نیاز ورودی به آن شبکه اصلی توسط سلولهای به ابعاد ۵۰۰ در ۵۰۰ متر در نظر گرفته شد. جدول شماره ۲ خصوصیات کلی مدل را به صورت خلاصه نشان می‌دهد. در طول دوره زمانی کلیه شرایط مرزی چون رودخانه، چاه و برخی خواص سلولها مثل تغذیه ثابت می‌باشند. شکل ۶ شمایی کلی از منطقه مدلسازی را نشان می‌دهد [۱۳].

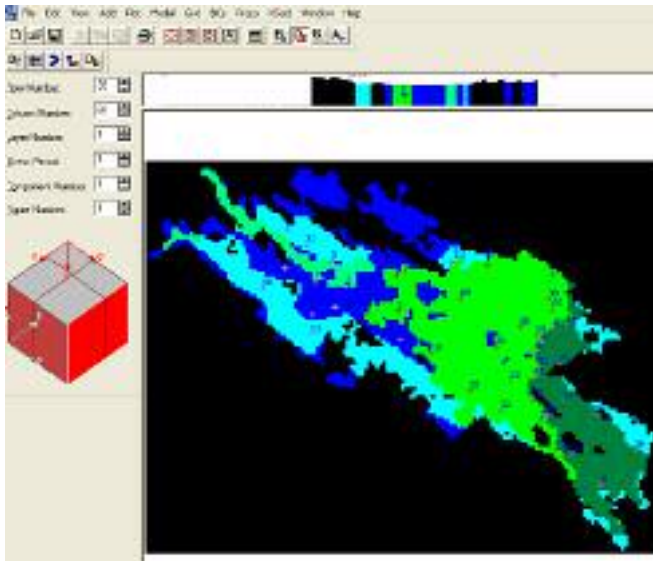


(ب)

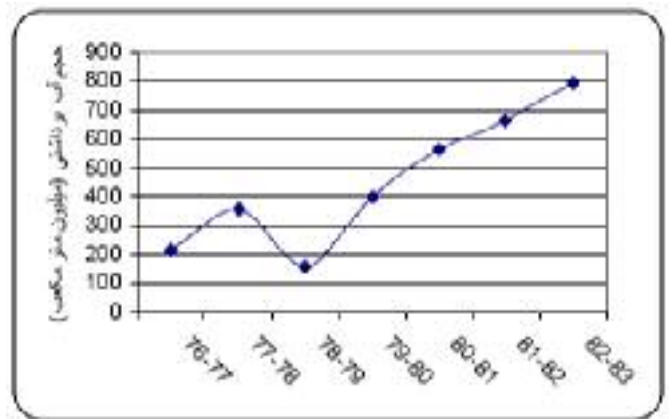


(الف)

شکل ۴- الف) حجم آب انتقال یافته به شبکه، ب) متوسط برداشت ماهانه از شبکه آبیاری



شکل ۶- محدوده دشت و مناطق همگن تغذیه مدل سازی شده



شکل ۵- برداشت آب زیر زمینی از دشت نجف آباد

جدول ۲- مشخصات کلی مدل شبیه سازی دشت نجف آباد

مقدار	مشخصه	مقدار	مشخصه
۱۶، ۳ ماهه	تعداد و طول دوره زمانی	۱۱۴۳ کیلو متر مربع	مساحت آبخوان
۱۵ روز	طول گام زمانی	۲۲۲۴	تعداد سلول چاه
۰/۱۶۱-۱/۰ متر برروز	ضریب هدایت هیدرولیکی	۵۰۶۰۰ کیلو متر مربع	سطح کشاورزی
۰/۰۴-۰/۰۷۸	آبدهی ویژه	۷۹-۸۳	دوره شبیه سازی
۴۹	تعداد چاههای مشاهده ای	۷۹ شهریور	شرایط اولیه

### مدل رگرسیون خطی فازی دشت نجف آباد

با توجه به توضیحات فوق تخمین نتایج مدل شبیه ساز برای مقدار متوسط افت آب زیر زمینی در سه بخش مجزای ساحل سمت راست رودخانه زاینده رود، ساحل سمت چپ رودخانه و منطقه شمال غربی حوضه نجف آباد موسوم به خمیران با استفاده از رگرسیون خطی فازی به دو صورت متوسط افت در انتهای هر فصل به صورت تابعی از میزان برداشت، و نیز متوسط افت در انتهای فصل به صورت تابعی از میزان برداشت فصلی و متوسط تراز آب زیر زمینی در ابتدای فصل برداشت آب برای سه سطح مختلف  $0/33$  و  $0/67$  و  $0/95$  انجام گرفت. در حالت اول مقدار برداشت فصلی آب زیر زمینی هر یک از سه منطقه ساحل راست، ساحل چپ و خمیران از داده های آماری مربوط ۱۶ فصل از فصل پاییز سال آبی ۸۰-۷۹ تا تابستان ۸۳-۸۲، که مدل شبیه ساز براساس آن تهیه شده و کلیه مراحل واسنجی روی آن انجام شده است، به عنوان متغیر مستقل و میزان متوسط افت در هر یک از سه ناحیه به عنوان متغیر وابسته رگرسیون فازی در نظر گرفته شد. جدول ۳ مقادیر متوسط افت در انتهای هر فصل، برداشت های فصلی و متوسط تراز سطح ایستابی در ابتدای فصل را نشان می دهد.



جدول ۳- داده های مورد استفاده برای تقریب مدل شبیه ساز با استفاده از رگرسیون خطی فازی

ساحل راست			ساحل چپ			خمیران			ناحیه
افت (متر)	برداشت (متر مکعب بر روز)	تراز (متر)	افت (متر)	برداشت (متر مکعب بر روز)	تراز (متر)	افت (متر)	برداشت (متر مکعب بر روز)	تراز (متر)	پارامتر
-۰/۵۲۴	۵۳۴۵۵۶	۱۶۰۹/۶۱	-۰/۰۶۸	۴۹۷۱۱۹	۱۵۹۶/۸۲۸	۰/۲۵۹	۱۱۳۳۶	۱۶۸۵/۸۵	پاییز ۱۳۷۹
-۰/۴۸۱	۱۹۵۴۱۹	۱۶۱۰/۰۸	-۰/۷۷۴	۱۹۴۹۳۷	۱۵۹۶/۹۴۳	-۰/۱۲۹	۲۸۱	۱۶۸۵/۶۲۴	زمستان ۱۳۷۹
۱/۱۸۹	۱۸۳۵۵۱۸	۱۶۱۰/۳۶	۰/۵۳۸	۸۳۸۷۸۶	۱۵۹۷/۵۶۵	۰/۳۵۶	۱۳۴۹۰	۱۶۸۵/۷۰۳	بهار ۱۳۷۹
۱/۰۶۱	۱۸۴۶۵۵۵	۱۶۰۹/۲	۰/۸۳۱	۸۲۲۲۹۶	۱۵۹۷/۰۰۱	۰/۵۹	۱۳۴۹۰	۱۶۸۵/۳۲۴	تابستان ۱۳۷۹
-۰/۳۵۵	۲۹۶۰۰۲	۱۶۰۸/۳۱	۱/۲۸۷	۵۰۱۸۱۸	۱۵۹۶/۱۱۸	۰/۷۱۱	۱۷۸۲۵	۱۶۸۴/۷۱۷	پاییز ۱۳۸۰
-۰/۶۳۱	۹۹۳۰۲	۱۶۰۸/۶۹	-۰/۷۱۶	۱۷۲۴۹۷	۱۵۹۵/۰۵۹	-۰/۱۶۸	۴۴۲	۱۶۸۴/۱۰۶	زمستان ۱۳۸۰
۱/۵۱	۱۱۰۱۰۲۳	۱۶۰۹/۰۶	۱/۲۷	۹۶۹۷۴۹	۱۵۹۵/۵۴۵	۰/۷۰۴	۲۱۲۱۲	۱۶۸۴/۱۷۸	بهار ۱۳۸۰
۰/۴۵	۱۰۷۶۲۲۷	۱۶۰۷/۷	۰/۴۳۷	۹۴۸۹۹۰	۱۵۹۴/۳۷۷	۰/۳۷۸	۲۱۲۱۲	۱۶۸۳/۵۱۳	تابستان ۱۳۸۰
-۰/۲۸۸	۲۸۰۵۲۲	۱۶۰۷/۳۳	۰/۰۹۸	۵۵۰۸۵۹	۱۵۹۳/۹۷۱	۰/۱۶۴	۱۶۸۷۸	۱۶۸۳/۱۵	پاییز ۱۳۸۱
-۰/۶۷۴	۸۹۴۳۱	۱۶۰۷/۶۶	۰/۱۲۶	۱۸۹۶۱۲	۱۵۹۳/۸۷۱	۰/۲۷۷	۳۳۷۶	۱۶۸۲/۹۷۷	زمستان ۱۳۸۱
۲/۲۲۵	۱۱۵۴۶۲۲	۱۶۰۷/۹۸	۲/۲۲۶	۱۲۲۷۵۷۴	۱۵۹۳/۵۱	۱/۲۱۲	۲۸۶۹۱	۱۶۸۲/۶۰۲	بهار ۱۳۸۱
۱/۱۲۱	۱۰۲۶۴۲۶	۱۶۰۵/۹۱	۱/۹۹۹	۱۲۱۵۴۷۹	۱۵۹۱/۳۲۱	۱/۰۹	۲۵۳۱۶	۱۶۸۱/۴۱۲	تابستان ۱۳۸۱
-۰/۴۱۶	۴۹۱۲۶۱	۱۶۰۴/۹۶	۰/۸۱۷	۶۶۰۰۹۱	۱۵۹۸/۴۵۱	۰/۵۹۳	۸۴۲۵	۱۶۸۰/۳۶۱	پاییز ۱۳۸۲
-۰/۸۴۲	۱۴۷۷۹۴	۱۶۰۵/۴۲	۰/۰۴۹	۲۴۴۴۲۶	۱۵۸۸/۷۱۷	۰/۲۵۹	۱۶۸۵	۱۶۷۹/۸۱	زمستان ۱۳۸۲
۲/۷۸۹	۱۸۲۲۱۹۸	۱۶۰۵/۸۲	۲/۵۷۶	۱۴۲۷۱۴۹	۱۵۸۸/۳۸۲	۱/۴۵۶	۱۵۱۶۵	۱۶۷۹/۴۲	بهار ۱۳۸۲
۱/۳۸۲	۱۶۰۶۲۴۸	۱۶۰۳/۲۳	۲/۰۰۵	۱۳۸۳۴۹۹	۱۵۸۵/۸۸۳	۱/۱۵۱	۱۵۱۶۵	۱۶۷۸/۰۰۷	تابستان ۱۳۸۲

با توجه به رابطه ۸ تابع هدف در حالت اول که در آن  $m$  تعداد مشاهدات برای هر منطقه که برابر ۱۶ می باشد و  $X_{ij}$  حجم آب زیرزمینی برداشتی از هر منطقه است و در روابط ۹ و ۱۰ برای قیود که در آن  $h$  بیانگر میزان دقت در محدوده فازی سازی رگرسیون است و  $Y_i$  مقدار متوسط افت در هریک از شانزده فصل مشاهده ای است، توابع هدف و قیود به صورت زیر بسط داده شد. در مورد قیود برای هریک از مناطق تعداد سی و دو قیود وجود دارد که داده های آن و به عنوان نمونه قیود اول برای هر منطقه در زیر ذکر شده است:

$$\text{Minimize: } 16 * C_0 + 13603104 * C_1 \quad \text{تابع هدف بهینه سازی خطی در ساحل راست}$$

$$\text{Minimize: } 16 * C_0 + 11844879 * C_1 \quad \text{تابع هدف بهینه سازی خطی در ساحل چپ}$$

$$\text{Minimize: } 16 * C_0 + 213988 * C_1 \quad \text{تابع هدف بهینه سازی خطی در خمیران}$$

$$P_0 + 534556 * P_1 - (1 - h) * (C_0 + 534556 * C_1) \leq -0.524 \quad \text{قیود اول بهینه سازی خطی در ساحل راست}$$

$$P_0 + 497119 * P_1 - (1 - h) * (C_0 + 497119 * C_1) \leq -0.068 \quad \text{قیود اول بهینه سازی خطی در ساحل چپ}$$

$$P_0 + 11336 * P_1 - (1 - h) * (C_0 + 11336 * C_1) \leq -0.524 \quad \text{قیود اول بهینه سازی خطی در خمیران}$$

در طی بهینه سازی خطی مطرح شده مقدار ضرایب  $C_0, C_1, P_0, P_1$  بطوریکه به دقیق ترین مقدار فازی برای افت برسیم بدست می آید. نتایج بهینه سازی برای حالت اول در سطوح مختلف دقت در جدول ۴ آمده است. شکل ۷ نتایج رگرسیون خطی فازی را با رگرسیون خطی معمولی و داده های مشاهداتی خروجی نرم افزار شبیه سازی مقایسه می کند. در جدول ۵ بین نتایج حاصل از رگرسیون خطی فازی در حالت اول و مقدار بدست آمده از نرم افزار شبیه ساز آب زیرزمینی برای ساحل راست و برداشت در فصل هشتم مقایسه انجام شده است. در حالت دوم متغیر مستقل دوم که متوسط تراز سطح ایستابی در ابتدای فصل می باشد را به روند رگرسیون اضافه می کنیم که نتایج آن در جدول ۶ آمده است. مقایسه بین نتایج تخمین مدل شبیه ساز نرم افزار آب زیرزمینی به وسیله رگرسیون فازی در حالت دوم با مقادیر افت بدست آمده از مدل شبیه ساز برای ساحل راست و در فصل تابستان ۱۳۸۱ در جدول ۷ آمده است.

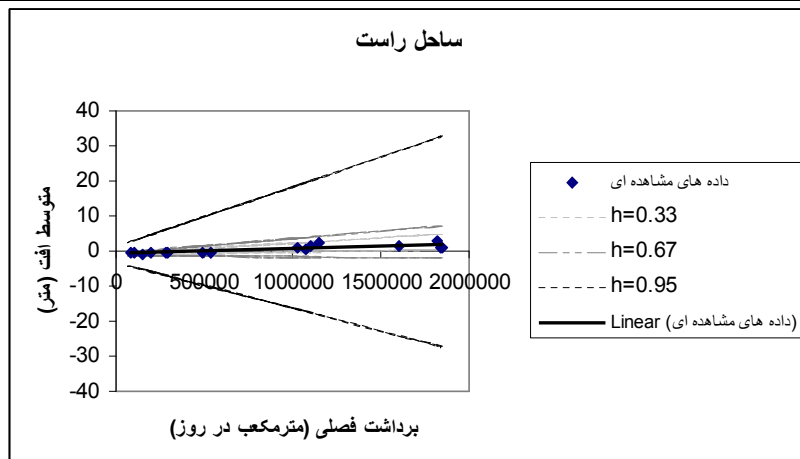
### نتیجه گیری

با توجه به عدم قطعیت های موجود در تحلیل سیستمهای تلفیقی منابع آب های سطحی و زیرزمینی، که دارای نشانه های مختلفی نظیر عدم قطعیت در آوردها، مصارف، پارامترها و ضرایب معادلات حاکم به ویژه ضرایب هیدرودینامیکی لایه های آبدار است، استفاده از منطق فازی



جدول ۴- نتایج بهینه سازی خطی برای بدست آوردن رگرسیون خطی فازی از متوسط افت براساس برداشت در مناطق مختلف در حالت اول

منطقه				ساحل چپ				ساحل راست				ضرایب	
$C_0$	$C_1$	$P_0$	$P_1$	$C_0$	$C_1$	$P_0$	$P_1$	$C_0$	$C_1$	$P_0$	$P_1$		
													$h=0.33$
۰/۲۰۵	-۶ ۱/۱۱۲e	-۱/۰۳۵	-۶ ۱/۹۶e	۱/۲۵	-۷ -۱/۶e	-۰/۲۵	۱/۵e-۶	۰/۲۱	۵/۱e-۵	-۰/۰۳۴			
$Y=(-1.025,0.205)+(1.96e-6,1.112e-6)Q$				$Y=(-0.25,1.25)+(1.5e-6,-1.6e-7)Q$				$Y=(-0.034,0.21)+(5.5e-5,5.1e-5)Q$					
													$h=0.67$
۰/۴۰۹	۲/۲۷e-۶	-۱/۰۳۵	-۶ ۱/۹۶e	۲/۵۴	-۷ -۲/۲e	-۰/۲۵	۱/۵e-۶	۰/۴۳	-۴ ۱/۰۳e	-۰/۰۳۴			
$Y=(-1.025,0.409)+(1.96e-6,2.27e-6)Q$				$Y=(-0.25,2.54)+(1.5e-6,-3.2e-7)Q$				$Y=(-0.034,0.43)+(5.5e-5,1.03e-4)Q$					
													$h=0.95$
۲/۲۷	۱/۵e-۵	-۱/۰۳۵	-۶ ۱/۹۶e	۱/۷۵ ۱۶	-۶ -۲/۱e	-۰/۲۵	۱/۵e-۶	۲/۱۸۶	۶/۱e-۴	-۰/۰۳۴			
$Y=(-1.025,2.27)+(1.96e-6,1.5e-5)Q$				$Y=(-0.25,16.75)+(1.5e-6,-2.1e-6)Q$				$Y=(-0.034,2.86)+(5.5e-5,6.8e-4)Q$					



شکل ۷- نتایج رگرسیون خطی فازی حالت اول در سه سطح مختلف را برای ساحل راست

جدول ۵- مقایسه بین نتایج تخمینی رگرسیون خطی فازی در حالت اول و مقادیر حاصل از مدل شبیه ساز آب زیرزمینی برای ساحل راست، تابستان ۱۳۸۰

برداشت (MCM/day)	متوسط افت نرم افزار (m)	متوسط افت حد پائین فازی	متوسط افت حد بالای فازی	
۱/۰۸	۰/۴۵	-۰/۳۲	۲/۴۸	$h=0.33$
۱/۰۸	۰/۴۵	-۱/۷۷	۳/۹۳	$h=0.67$
۱/۰۸	۰/۴۵	-۱۷/۳	۱۹/۵	$h=0.95$

می تواند مفید باشد. در هنگام اتصال مدل شبیه سازی به مدل بهینه سازی، به ویژه در مقیاسهای بزرگ نظیر حوضه های آبریز، با استفاده از این منطق به جای رگرسیون های معمول، می توان به رگرسیونهای با انعطاف پذیری بیشتری دست یافت. در این مقاله با کاربرد مدل شبیه سازی تلفیقی آبهای سطحی و زیرحوضه نجف آباد، روش رگرسیون خطی فازی برای محاسبه افت به ازای برداشتهای مختلف از آبخوان بکارگرفته شد. بر این اساس بازه های محدودی جهت محاسبه افت به ازاء درجات مختلف فازی بودن به دست آمد. نتایج نشان داد که مقدار کمتر درجه فازی بودن ( $h=0.33$ )، جواب دقیقتری نسبت به مدل های شبیه ساز ارائه می دهد. همچنین با زیاد شدن متغیرهای مستقل در سطح پایین  $h$ ، تغییرات قابل ملاحظه ای در مقادیر افت متوسط ایجاد نمی گردد، در حالی که در سطوح بالای  $h$ ، دقت رگرسیون به



جدول ۶- نتایج بهینه سازی خطی برای بدست آوردن رگرسیون خطی فازی از متوسط افت براساس برداشت در مناطق مختلف در حالت دوم

راست						چپ						منطقه
C0	C1	C2	P0	P1	P2	C0	C1	C2	P0	P1	P2	ضرایب
۰/۰	۱/۱۲e-۶	-۴ ۱/۲۵e	۰/۰	-۶ ۱/۹۶e	-۰/۰۰۰۰۶	۰/۰	-۱/۵۵e-۷	۰/۰۰۰۰۷۸	۰/۰	۱/۰۰۰۰۳۳ .	-۰/۰۰۰۰۱۶	$h=0.33$
$Y=(1.96e-6, 1.12e-6)Q+(-0.0006, 1.25e-4)H$						$Y=(0.000033, -1.55e-7)Q+(0.00016, 0.00078)H$						
۰/۰	۲/۲۵e-۶	۲/۲e-۴	۵۴/۲	-۶ ۱/۹۶e	-۰/۰۳۴۴	۰/۰	-۴/۷۳e-۷	۰/۰۰۰۱۶	۳۳/۸۹	۱/۰۰۰۰۵۴ .	-۰/۰۲۱	$h=0.67$
$Y=54.2+(1.94e-6, 2.25e-6)Q+(-0.0344, 2.2e-4)H$						$Y=33.89+(0.000054, -4.73e-7)Q+(0.021, 0.0016)H$						
۲/۷	۱/۵e-۵	۱/۰۰۱۵ .	۵۴/۲	-۶ ۱/۹۶e	-۰/۰۳۴۴	۰/۰	-۳/۱۲e-۶	۰/۰۱۱	۳۳/۸۹	۱/۰۰۰۰۵۴ .	-۰/۰۲۱	$h=0.95$
$Y=54.2+(1.94e-6, 1.5e-5)Q+(-0.0344, 0.0015)H$						$Y=33.89+(0.000054, -3.12e-6)Q+(-0.021, 0.011)H$						

جدول ۷- مقایسه بین نتایج تخمینی رگرسیون خطی فازی در حالت دوم و مقادیر حاصل از مدل شبیه ساز آب زیرزمینی برای ساحل راست، تابستان ۱۳۸۰

برداشت (MCM/day)	متوسط افت نرم افزار (m)	متوسط افت حد پائین فازی	متوسط افت حد بالای فازی	
۱/۰۸	۰/۴۵	-۰/۲۶۲	۲/۵۵	$h=0.33$
۱/۰۸	۰/۴۵	-۱/۷۹	۳/۷۶	$h=0.67$
۱/۰۸	۰/۴۵	-۱۴۴	۲۱۶	$h=0.95$

شدت کاهش می یابد. در مجموع با کاربرد این روش بر اساس درجه پائین فازی، اتصال مدل شبیه ساز به بهینه ساز بصورت ساده و با پارامترهای غیرقطعی صورت می گیرد، که می تواند در بهره برداری بهینه از سیستم های تلفیقی منابع آب کاربرد گسترده ای داشته باشد.

#### منابع

- Willis, R. and Finney, B.A. (1988) Planning model for optimal control of saltwater intrusion. *J. Water Resour. Plan. Manage.* **114**(2), 163–178.
- Das, A. and Datta, B., (1999a). Development of management models for sustainable use of coastal aquifers. *J. Irrig. Drainage Eng.* **125**(3), 112–121.
- Emch, P.G. and Yeh, W. (1998) Management model for conjunctive use of coastal surface water and groundwater. *J. Water Resour. Plan. Manage.* **124**(3), 129–139.
- Karamouse, M., Kerachian, R. and Zahraie, B. (2004). Monthly water resources and irrigation planning case study of conjunctive use. *J. Irrig. Drainage Eng.* **130**(5), 391–402.
- Alley, W. M., (1986) Regression approximation for transport model constraint sets in combined aquifer simulation-optimization studies. *J. Water Resour. Res.* **22**(4), 581–586.
- Lefkoff, L.J. and Gorelick, S.M. (1990) Simulating physical processes and economic behavior in saline, irrigated agriculture: Model development. *J. Water Resour. Res.* **26**(7), 1359–1369.
- Morshed, J. and Kaluarachchi, J.J. (1998) Application of artificial neural networks and genetic algorithms in flow and transport simulation. *Adv. Water Resour.* **22**(2), 145–158.
- Johnson, V.M. and Rogers, L.L. (2000) Accuracy of neural network approximations in simulation–Optimization. *J. Water Resour. Plan. Manage.* **126**(2), 48–56.
- Kumar, R. and Data, B. (2005) Optimal management of coastal aquifers using linked simulation optimization approach. *J. Water Resources Management*, 19, 295–320.
۱۰. درزی، ف. (۱۳۸۶) مدیریت تلفیقی منابع آب سطحی و زیرزمینی در شرایط کم آبی، پایان نامه کارشناسی ارشد مهندسی آب، دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه صنعتی اصفهان.
- Tanaka, H., Uejima, S., and Asai, K. (1982) Linear regression analysis with fuzzy model. *IEEE Transactions on System Man.*, **SMC-12**(6), 903–907
۱۲. کوره پزان دزفولی. الف. (۱۳۸۴) تئوری مجموعه های فازی و کاربرد آن در مهندسی آب، انتشارات جهاد دانشگاهی امیر کبیر.
۱۳. بحرینی، غ. (۱۳۸۵) مدل سازی تلفیقی آبهای سطحی و زیرزمینی با تاکید بر عدم قطعیت پارامترها و قابلیت اعتماد سیستم، پایان نامه کارشناسی ارشد مهندسی آب، دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه صنعتی اصفهان.