

## مدلسازی تغییرات زمانی و مکانی شوری در مقیاس حوضه ای با استفاده از روش پویایی سیستم و مدل SWAT

بهنام شکرالهی<sup>۱</sup>، مسعود تجریشی<sup>۲</sup>، احمد ابریشم‌چی<sup>۳</sup>

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

۲- دانشیار دانشکده مهندسی عمران دانشگاه صنعتی شریف

۳-استاد دانشکده مهندسی عمران دانشگاه صنعتی شریف

Shokrolahi@mehr.sharif.edu

### خلاصه

مدیریت کمی و کیفی منابع آب نیازمند تصمیم‌گیری آینده‌نگر با رویکردی جامع است. روش پویایی سیستم، روش شبیه‌سازی شیء‌گرا و بر پایه بازخورد بوده که می‌تواند علاوه بر تشریح سیستم‌های پیچیده بر اساس واقعیت، امکان دخالت موثر کاربر در توسعه مدل و جلب اطمینان وی را در طول فرآیند مدلسازی فراهم نماید. در تحقیق حاضر مدلی به روش پویایی سیستم برای بررسی سناریوهای مختلف بهره‌برداری از منابع آب و خاک در تغییرات مکانی و زمانی شوری در مقیاس حوضه‌ای تهیه شده است. بیان آب و نمک در دو دشت ماهیدشت و سنجایی در حوضه کرخه مدل شده است. از نتایج مدل SWAT در مدلسازی هیدرولوژیکی استفاده شده است. مدل تهیه شده تغییرات غلظت و بار نمک منطقه ریشه، لایه آبده و جریان داخل رودخانه را شبیه‌سازی می‌کند. با استفاده از نتایج این مدل می‌توان اثرات اقدامات مدیریتی را پیش‌بینی نمود.

کلمات کلیدی: شوری، مدلسازی، مقیاس حوضه‌ای، پویایی سیستم، SWAT2000

### مقدمه

شور شدن منابع آب و خاک از جمله مسائلی است که بخصوص در نواحی خشک و نیمه‌خشک که کیفیت آب آبیاری پایین، میزان تبخیر و تعرق بالا و در برخی موارد سطح آب زیرزمینی در دشتهای بالاست اهمیت دو چندان پیدا می‌کند [1]. معمولاً مساله شوری در اثر تجمع املاح موجود در آب در ناحیه ریشه گیاه حائز اهمیت است که این مشکل بواسطه حرکت آب زیرزمینی به طرف ریشه گیاه و یا در اثر استفاده از آب آبیاری با کیفیت پایین بوجود می‌آید. در حدود ۲۰-۲۵ درصد زمینهای کشاورزی آبی جهان شامل ۲۷ درصد از زمینهای کشاورزی در امریکا تحت تاثیر شوری آب زیرزمینی با سطح بالا قرار گرفته اند [2,3]. براساس داده‌های موجود از کل ۱۶۵ میلیون هکتار زمینهای سطح کشور، مساحتی حدود ۲۳,۵ میلیون هکتار یا ۱۴,۲ درصد کل در مقادیر متفاوت با مشکلات شوری، سدیمی بودن، زهداری و حالت ماندابی روبرو بوده است. مقدار بیان شده مساوی ۳۰ درصد مساحت فلات‌های کم ارتفاع و دشتهای کشور نیز می‌باشد [4]. حوضه آبریز به عنوان یک واحد مناسب در تحلیل مسائل مدیریت منابع آب شناخته شده است [5]. عدم توجه به مدیریت آب در سطح حوضه آبریز باعث ایجاد مسائلی از قبیل تاثیرات نامناسب مصارف بالادست بر مصرف کنندگان پایین دست، عدم رعایت عدالت اجتماعی و بروز نابرابریها، تامین نشدن نیازهای حداقل زیست محیطی و تخریب محیط زیست، بهینه نبودن برآوردهای اقتصادی می‌شود. در تحقیق حاضر مدلی به روش پویایی سیستم برای بررسی تغییرات زمانی و مکانی شوری در مقیاس حوضه‌ای تهیه شده است.

<sup>۱</sup> دانشجوی کارشناسی ارشد مهندسی عمران-آب، دانشگاه صنعتی شریف

<sup>۲</sup> دانشیار دانشکده مهندسی عمران دانشگاه صنعتی شریف

<sup>۳</sup> استاد دانشکده مهندسی عمران دانشگاه صنعتی شریف

روش تحقیق

الف- روش پویایی سیستم

از جمله مفاهیم با اهمیت در روش پویایی سیستم، قانون پیوستگی است که در مباحث بهره‌برداري از مخازن از مفاهیم اساسی است. ابزار مورد استفاده در این روش شامل ذخیره‌ها<sup>۱</sup>، جریانها<sup>۲</sup>، رابطهها<sup>۳</sup> و مبدلها<sup>۴</sup> می‌باشند. ذخیره‌ها با متغیرهای حالت، انبارهایی هستند که حالات سیستم را مشخص می‌کنند و اطلاعاتی که برای تصمیم‌گیری و اجراء لازم است توسط آنها تولید می‌شود. ذخیره، نیروی اینرسی و حافظه سیستم است. نمایش فرآیند بازخورد مهم‌ترین هنر این روش است به همراه ساختار ذخیره و جریان، توابع غیرخطی<sup>۵</sup> و تاخیر زمانی<sup>۶</sup>، دینامیک سیستم را تعریف می‌کنند. پیچیده‌ترین رفتارها از تقابلها (بازخوردها)ی میان اجزای سیستم نتیجه می‌شود نه از پیچیدگی خود اجزاء. بازخورد در بردارنده این مفهوم است که تغییرات یک متغیر سرانجام بر مقدار آتی خود آن نیز اثر خواهد داشت. پویایی سیستم از دو نوع حلقه‌های بازخوردی مثبت (خود تقویت‌کننده) و منفی (خود اصلاح کننده) بوجود می‌آید. حلقه‌های منفی باعث ایجاد تعادل و پایداری در سیستم می‌گردند [6,7].

ب- توصیف مدل SWAT2000

مدل SWAT یک Extension تحت نرم افزار Arc View به نام AVSWAT2000 می‌باشد. فرآیندهای هیدرولوژیکی اصلی که توسط مدل شبیه سازی می‌شوند شامل تبخیر و تعرق، رواناب سطحی، ذوب برف، نفوذ سطحی، نفوذ عمقی و جریان آب زیرزمینی و جریانهای زیرسطحی می‌باشد. مدل SWAT در شبیه‌سازی چرخه هیدرولوژیکی از معادله توازن هیدرولوژیک زیر استفاده می‌کند:

$$\Delta SW = \sum_{i=1}^I (R_{day} - Q_{surf} - E_a - W_{seep} - Q_{gw}) \quad (1)$$

که در این رابطه  $\Delta SW$  = آب ذخیره شده در خاک،  $R_{day}$  = بارش روزانه،  $Q_{surf}$  = رواناب سطحی،  $E_a$  = تبخیر و تعرق واقعی،  $W_{seep}$  = آبی که از پروفیل خاک به منطقه غیر اشباع وارد می‌شود و  $Q_{gw}$  = جریان آب زیرزمینی خروجی به رودخانه می‌باشد [8].

ج) مدل شوری

مدل بیلان نمک در مقیاس حوضه‌ای با در نظر گرفتن اجزاء موثر در این بیلان تهیه شد. شماتیک مدل شوری و اجزاء موثر در این بیلان به همراه برخی اجزاء بیلان آب (اجزاء در نظر گرفته شده مطابق با اجزاء بیلان آب در مدل SWAT) در شکل (۱) آمده است. این روابط با توجه به داده‌های موجود و دردسترس و هدف پروژه با در نظر گرفتن پایدار بودن نمک و مفهوم چرخه نمک در مدل لحاظ شد. برخی از این روابط عبارتند از:

$$C_I = \frac{D_{sur,irr} C_{stream} + D_{gw,irr} C_{GW}}{D_{sur,irr} + D_{gw,irr}} \quad (2) \text{ شوری آب‌آبیاری}$$

$$C_{sw} = \frac{D_{irr} C_I + D_{gw,intrusion} C_{GW} + D_{effect,rain} C_p + S_{store}}{D_{irr} + D_{gw,intrusion} + D_{effect,rain}} \quad (3) \text{ شوری آب خاک منطقه}$$

$$C_R = E_L C_{SW} + (1 - E_L) C_I \quad (4) \text{ شوری آب تخلیه شده از منطقه ریشه}$$

(۵) شوری آب زیرزمینی

$$C_{GW} = \frac{D_{GW-RCH} C_R + S_{gw,store} - D_{gw,irr} C_{GW} - D_{GW-Q} C_{GW} - D_{Out} C_{GW} - D_{Spring} C_{GW}}{D_{GW-RCH} + D_{gw,content} - D_{gw,irr} - D_{GW-Q} - D_{Out} - D_{Spring}}$$

$$C_{SURQ} = \alpha \frac{D_{SURQ} C_p + D_{INTERFLOW} C_{SW}}{D_{SURQ} + D_{INTERFLOW}} \quad (6) \text{ شوری رواناب}$$

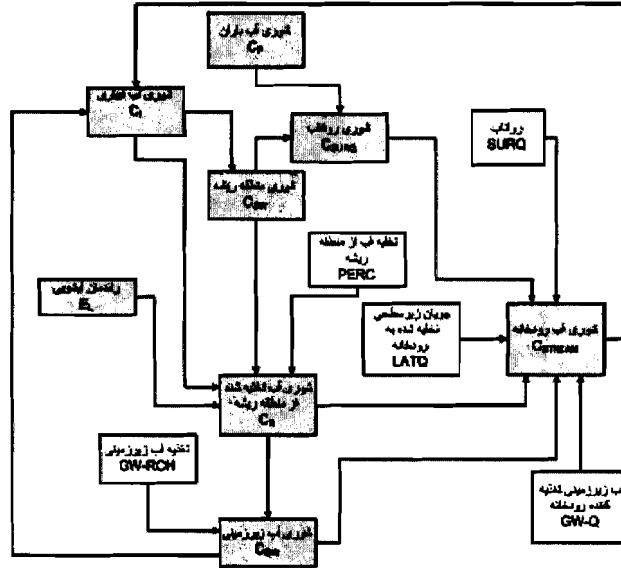
(۷) شوری آب رودخانه

$$C_{stream} = \frac{D_{SURQ} C_{SURQ} + D_{GW-Q} C_{GW} + D_{LATQ} C_R - D_{sur,irr} C_{stream} + D_{Spring} C_{GW}}{D_{SURQ} + D_{GW-Q} + D_{LATQ} + D_{Spring} - D_{sur,irr}}$$

در این روابط:  $D_{sur,irr}$  عمق آب سطحی در آب‌آبیاری،  $D_{gw,irr}$  عمق آب زیرزمین در آب‌آبیاری،  $D_{irr}$  عمق آب‌آبیاری ذخیره‌شده در منطقه ریشه،

1 Stocks  
2 Flows  
3 Connectors  
4 Converters  
5 Nonlinear Functions  
6 Delay Time

عمق  $D_{gw.intrusion}$  عمق آب زیرزمینی نفوذ کرده به منطقه ریشه در مناطق با سطح آب زیرزمینی بالا،  $D_{effect.rain}$  عمق بارندگی موثر،  $D_{GW-RCH}$  عمق آب تغذیه کننده آب زیرزمینی،  $D_{GW-Q}$  عمق آب زیرزمینی تخلیه شده به رودخانه بواسطه گرادیان هیدرولیکی،  $D_{Out}$  عمق آب تخلیه شده به لایه آبدۀ دشت‌های مجاور،  $D_{SURQ}$  عمق رواناب،  $D_{INTERFLOW}$  عمق جریان زیرقشری،  $D_{Spring}$  عمق آب تخلیه شده از لایه آبدۀ بواسطه چشمه ها،  $D_{LATQ}$  عمق آب جریان زیرسطحی برحسب  $(m/month)$  و  $C_{stream}$  غلظت نمک آب سطحی،  $C_{GW}$  غلظت نمک آب زیرزمینی و  $C_1$  غلظت نمک آب‌آباری،  $C_p$  غلظت نمک آب‌باران،  $C_{stream}$  غلظت نمک جریان رودخانه،  $C_R$  غلظت نمک آب تخلیه شده از منطقه ریشه،  $C_{SURQ}$  غلظت نمک رواناب،  $C_{sw}$  غلظت نمک آب موجود در منطقه ریشه برحسب  $(mg/l)$ ،  $S_{store}$  بار نمک ذخیره شده در منطقه ریشه  $(gr)$ ،  $S_{gw.store}$  بار نمک موجود در لایه آبدۀ  $(gr)$ ،  $E_L$  راندمان آبشویی و  $\alpha$  ضریبی است که از کالیبراسیون بدست می‌آید.



شکل (۱) شماتیک مدل شوری

ب- ضرایب حاصل از تحلیل خروجیهای مدل SWAT

ضریب ۱: نسبت مقدار آب تخلیه شده از منطقه ریشه به مجموع رواناب و تخلیه شده از منطقه ریشه

$$Ratio(1) = \frac{PERC}{SURQ + PERC} \quad (7)$$

ضریب ۲: نسبت جریان زیرسطحی تخلیه شده به رودخانه به مجموع جریان زیرسطحی تخلیه شده به رودخانه و تغذیه آب زیرزمینی

$$Ratio(2) = \frac{LATQ}{LATQ + GW\_RCH} \quad (8)$$

ضریب ۳: نسبت تلفات به رواناب

$$Ratio(3) = \frac{TLOSS}{SURQ} \quad (9)$$

PERC مقدار آب تخلیه شده از منطقه ریشه به اعماق پایین تر در هر بازه زمانی تخلیه  $(mmH_2O)$ ، GW-RCH مقدار تغذیه لایه آبدۀ در هر بازه زمانی  $(mmH_2O)$ ، SURQ رواناب سطحی در هر بازه زمانی که بخشی از جریان رودخانه را تشکیل می‌دهد  $(mmH_2O)$ ، TLOSS تلفات انتقال آب در آبراهه‌ها در هر بازه زمانی که لایه‌های آبدۀ کم عمق را تغذیه می‌کند  $(mmH_2O)$ ، LATQ جریان زیرسطحی<sup>۱</sup>  $(mmH_2O)$ ، GW-Q آب- زیرزمینی تخلیه شده در رودخانه بواسطه گرادیان هیدرولیکی در هر بازه زمانی  $(mmH_2O)$  می باشد.

<sup>1</sup> Lateral Flow

مروری بر ادبیات

الف-مدلسازی به روش پویایی سیستم

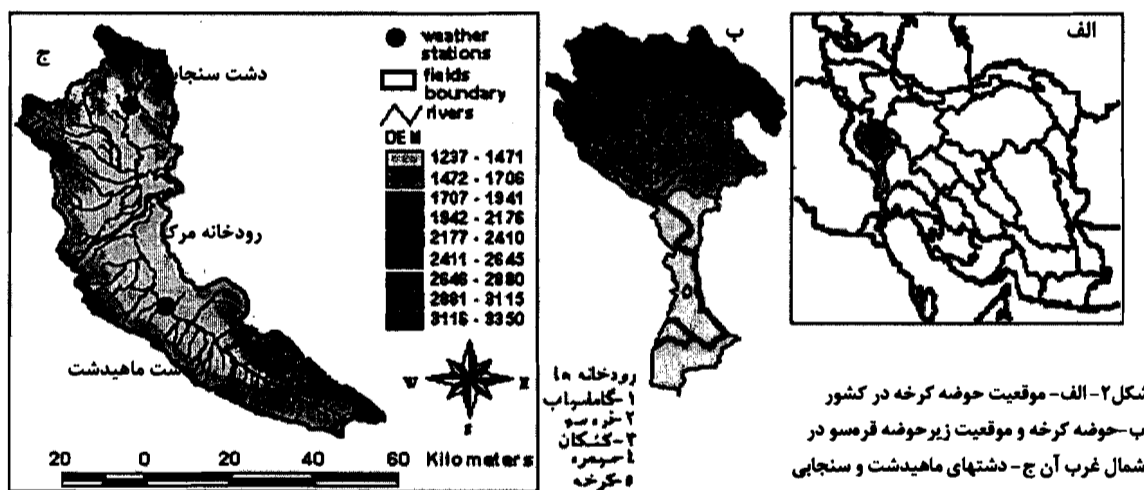
Palmer و Keyes این روش را در شبیه سازی مطالعات خشکسالی به کار گرفتند [9]. Fletcher این روش را به عنوان یک روش تحلیل تصمیم در مدیریت کم آبی استفاده نمود [10]. Simonovic و Fahmy از روش فوق در ارزیابی دراز مدت منابع آب و تحلیل سیاستهای اعمالی در حوضه رودخانه نیل در مصر بهره جستند [11]. Ahmad و Simonovic از پویایی سیستم در محاسبه خسارات ناشی از سیلاب استفاده کردند [12]. Barlas و Saysel از پویایی سیستم در پاسخ به سوالات در مورد میزان تولید نیروی برق آبی، توسعه کشاورزی، انتخاب نوع کشت، مولفه های زیست محیطی و تولیدات کشاورزی در جنوب شرقی ترکیه استفاده کردند [13]. مومنی و همکاران نیز این روش را در شبیه سازی حوضه زاینده رود و بررسی تاثیر راندمان آبیاری بر آب برگشتی کشاورزی و سطح آب زیرزمینی استفاده کردند [14].

ب- تحقیقات و مدلسازی شوری در مقیاس بزرگ

Tedeschi و همکارانش مطالعاتی در حوضه آبریز Ebro بمنظور ارزیابی تاثیرات OnSite و Offsite مدیریت های مختلف آبیاری و زهکشی در تغییرات بارنمک زمینهای کشاورزی آبی بررسی کردند [15]. Saysel, Barlas مدلی با ابزار پویایی سیستم بمنظور بررسی شور شدن زمینهای کشاورزی در مقیاس منطقه ای تهیه کردند. این مدل در واقع قسمتی از یک مدل اقتصادی و اجتماعی بزرگ مقیاس است که در ترکیه انجام شد. آنها استراتژیهای مختلف کنترل شوری از جمله استفاده مجدد از آب زهکش شده در آبیاری و توسعه کشاورزی را بررسی کردند [13]. Burkhalter و همکارانش مطالعاتی در Lower Arkansas River کلرادو با استفاده از مدل Modflow<sup>1</sup> و MT3DMS انجام دادند [16]. از جمله کارهایی که در ایران انجام شده می توان به Droogers و همکاران در حوضه آبریز زاینده رود اشاره کرد که با مدلی مشکل شوری را در سطح حوضه بررسی کرد [17]. در این تحقیق مدلی به روش پویایی سیستم در نرم افزار Vensim بمنظور شبیه سازی شوری منابع آب و خاک در مقیاس حوضه ای تهیه شده است. از تحلیل نتایج مدل SWAT در مدلسازی هیدرولوژیکی استفاده شده است. این مدل قابلیت پیش بینی نتایج اقدامات دراز مدت مدیریتی را در مقیاس حوضه ای داراست.

شناخت منطقه مورد مطالعه

دشتهای ماهیدشت-سنجابی به مساحت ۱۴۶۳ کیلومترمربع، بخشی از زیرحوضه قره سو به وسعت ۵۷۹۳ کیلومترمربع واقع در شمال غرب حوضه کرخه می باشد. دشتهای دیگر این زیرحوضه شامل کامیاران-بیلهور به مساحت ۳۵۶ کیلومترمربع و کرمانشاه به مساحت ۹۸۴ کیلومترمربع می باشد. جریانات اصلی در این دو دشت شامل رودخانه های قره سو، مرک، گرداب، کوتاب و زردآور می باشد. رودخانه قره سو مهمترین و پرآب ترین منابع آب سطحی حوضه می باشد. رود مرک در محلی به نام دوآب پس از دریافت مزاد آب چشمه های روانسر و رود گرداب، قره سو را تشکیل می دهد. بافت خاک حوضه در دشتهای بسیار سنگین بوده و قابلیت زهکشی کمی دارد؛ بطوریکه در برخی مناطق محدودیت عمق آب زیرزمینی جهت کشاورزی وجود دارد. ضخامت آبرفت بین ۱۰ متر در جنوب شرقی و تا حدود ۲۰۰ متر در مرکز دشت در ماهیدشت عنوان شده است. جنس آبرفت در این منطقه از نوع دانه بندی متوسط می باشد. نتایج آزمایشات کیفیت شیمیایی آبهای زیرزمینی در ماهیدشت و سنجابی بیانگر کیفیت خوب جهت مصارف مختلف می باشد [18]. شکل (۲) موقعیت حوضه کرخه و حوضه قره سو و دشت های ماهیدشت و سنجابی را نشان می دهد.



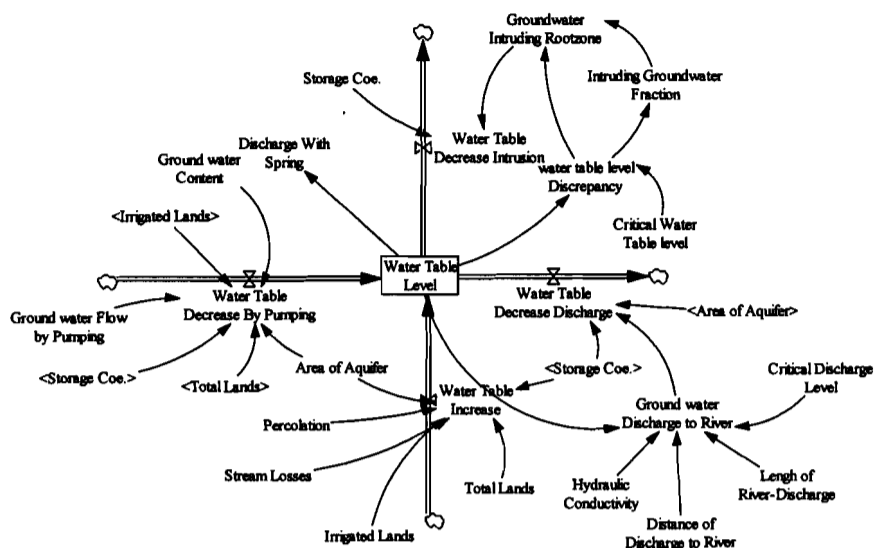
شکل ۲- الف- موقعیت حوضه کرخه در کشور  
ب- حوضه کرخه و موقعیت زیرحوضه قره سو در  
شمال غرب آن ج- دشتهای ماهیدشت و سنجابی

<sup>1</sup> McDonald and Harbough 1988



### ساختار مدل

مدل تهیه شده شامل هفت بخش اصلی است که با توجه به هدف تحقیق و مفهوم بیلان آب و نمک مدلسازی شده است. این بخشها عبارتند از: شوری منطقه ریشه، شوری آب زیرزمینی، شوری جریان رودخانه، سفره آب زیرزمینی شامل تغذیه و برداشت‌ها، نیاز کشاورزی و نحوه تامین آب از آب سطحی و زیرزمینی، جریان آب رودخانه، تغذیه آب زیرزمینی و جریان زیرسطحی زهکش شده به رودخانه. نمودار علت و معلولی سفره آب زیرزمینی در شکل (۳) آورده شده است.



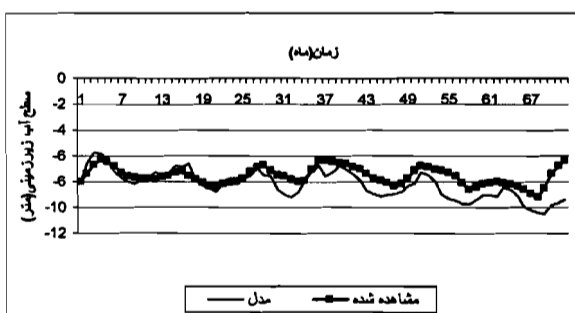
شکل ۳: سفره آب زیرزمینی شامل تغذیه و برداشت‌ها

### صحت سنجی و اعتبار سنجی مدل

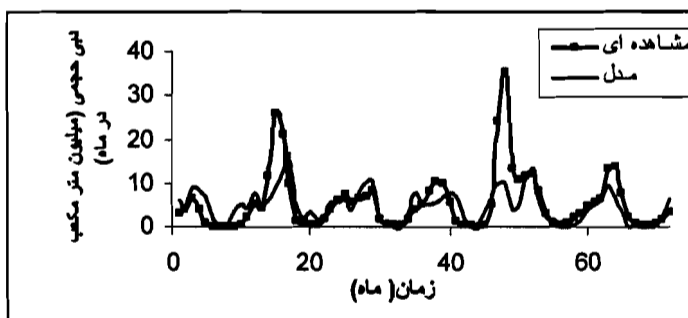
بمنظور اطمینان از اینکه مدل ایجاد شده با اتفاقاتی که در واقعیت می‌افتد رفتار یکسانی دارد و در واقع نمونه معتبری از مرجع است لازم است آزمون‌های مختلفی بر روی مدل انجام شود. پس از اطمینان از صحت مدل می‌توان به نتایج حاصل از مدل برای سناریوها و پیش‌بینی‌های انجام شده توسط مدل اعتماد کرد.

### الف-مقایسه رفتار مدل با رفتار مرجع

بازه زمانی اجرای مدل در این قسمت، اول ژانویه سال ۱۹۹۱ تا ژانویه سال ۱۹۹۷ می‌باشد. در این بازه زمانی رفتار متغیرهای سطح آب زیرزمینی، غلظت نمک آب زیرزمینی، غلظت نمک جریان رودخانه و جریان رودخانه مدل در دو دشت ماهیدشت و سنجایی با داده‌های مشاهده شده مقایسه شد. - سطح آب زیرزمینی در شکل (۴) سطح آب زیرزمینی مدلسازی شده و مشاهده شده در دشت ماهیدشت آورده شده است.

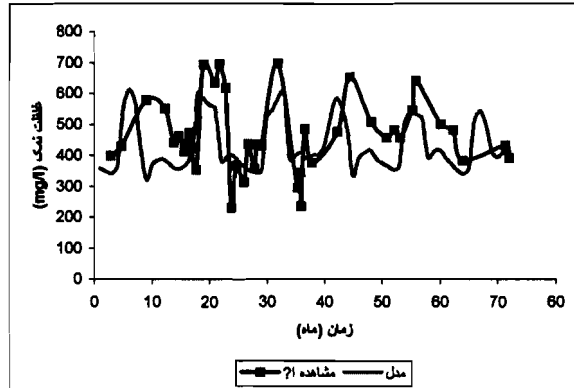


شکل ۴: تغییرات سطح آب زیرزمینی در ماهیدشت



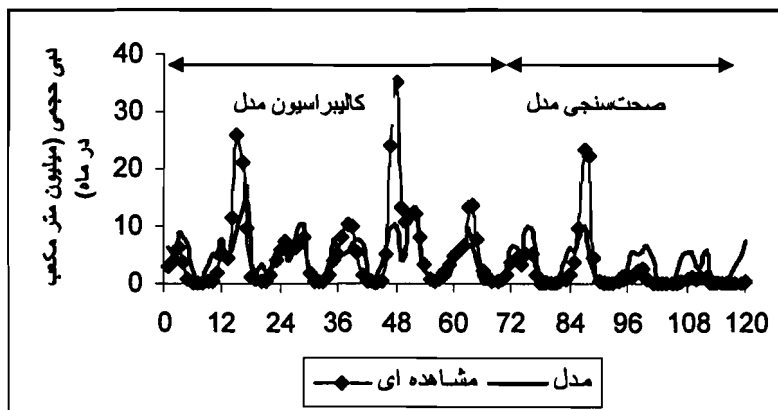
شکل ۵: تغییرات دبی حجمی در ایستگاه خرس آباد

- جریان آب رودخانه  
از آمار ایستگاه‌های خرس آباد و دوآب‌مرک برای مقایسه نتایج مدل با نتایج مشاهده شده در بازه زمانی مدلسازی استفاده شد. نتایج این شبیه‌سازی در شکل (۵) دیده می‌شود.  
- غلظت نمک جریان رودخانه  
در شکل (۶) غلظت نمک مشاهده شده و شبیه‌سازی شده در ایستگاه‌های خرس آباد آورده شده است. اندازه‌گیری‌های انجام شده در این ایستگاه بسیار پراکنده بوده و در بعضی ماه‌ها اندازه‌گیری انجام نشده است. این مساله می‌تواند در مقایسه نتایج موثر باشد.



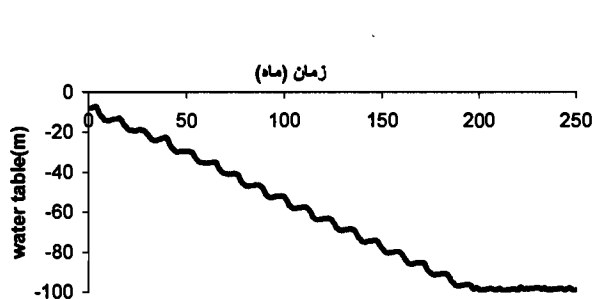
شکل ۶: تغییرات غلظت نمک در ایستگاه خرس آباد

ب- اعتبار سنجی  
نتایج مدل برای داده‌های ژانویه سال ۱۹۹۷ تا ژانویه سال ۲۰۰۱ اعتبار سنجی شده است. نمونه‌ای از این اعتبار سنجی نتایج در شکل (۷) آمده است. نتایج اعتبار سنجی حاکی از قابلیت خوب مدل در مدلسازی شرایط مختلف هیدرولوژیکی می‌باشد.



شکل ۷: تغییرات دبی حجمی در ایستگاه خرس آباد

ج- آزمون‌های شرایط حدی  
پایداری مدل تهیه شده با آزمون‌های شرایط حدی سنجیده شد. نتایج مدل حاکی از توانایی خوب مدل در پیش‌بینی این شرایط می‌باشد. شکل (۸) رفتار مدل را در سطح زیر کشت بینهایت نشان می‌دهد. در این آزمون انتظار می‌رود سطح آب زیرزمینی به دلیل برداشت زیاد سریع‌آفت کند و در عمق سنگ بستر تغییرات جزئی داشته باشد که مدل توانسته است این شرایط را به خوبی پیش‌بینی کند.  
- آزمون حدی سطح زیر کشت بینهایت



- شرایط حدی میزان آب زیرزمینی صفر
- آزمون حدی تغذیه صفر آب زیرزمینی
- آزمون حدی برداشت از آب زیرزمینی صفر
- آزمون حدی جریان صفر رودخانه
- آزمون حدی شوری منطقه ریشه

شکل ۸: آزمون حدی سطح زیر کشت بینهایت

#### نتیجه گیری

یکی از چالش‌ها و نگرانی‌هایی که آگاهان مسائل آب و خاک مخصوصاً در مناطق گرم و خشک دارند شورشیدن منابع آب و خاک در این مناطق است. با توجه به خصوصیات آب و هوایی و طرحهای توسعه کشاورزی در منطقه مورد مطالعه نیاز به مدل شبیه‌سازی که تاثیر اقدامات مدیریتی و سازه‌ای در خصوص تغییر سطح زیر کشت، میزان برداشت از منابع آب زیرزمینی، تغییر راندمان آبیاری، تغییرات سطح آب زیرزمینی و روند شورشیدن منابع آب و خاک این منطقه را پیش‌بینی کند احساس می‌شود. مدل تهیه شده توانایی پیش‌بینی نتایج سناریوهای بهره‌برداری از منابع آب و خاک و تغییرات شوری این منابع را در مقیاس حوضه ای داراست. در واقع این مدل یک ابزار مدیریتی برای پیش‌بینی اثرات تصمیمات و برنامه‌های توسعه کشاورزی با دید جامع به مسائل آب و محیط زیست و پایداری آنها می‌باشد.

#### تشکر و قدردانی

در انتها از سرکار خانم مهندس عمانی به دلیل در اختیار قرار دادن نتایج مدل SWAT و راهنمایی‌های انجام شده تشکر و قدردانی می‌شود. از همکاری کلیه اشخاص، سازمانها و موسسات، خصوصاً اعضای محترم دفتر مطالعات آب و محیط زیست دانشگاه صنعتی شریف صمیمانه تشکر و قدردانی می‌شود.

#### مراجع

1. Ali Kerem Daysel, Yaman Barlas. A Dynamic Model of Salinization On Irrigated Lands. Ecological Modeling 139(2001) 177-199
2. Ghassemi, F., Jakeman, A., and Nix, H. (1995) Salinization of land and water Resources: Human causes, extent, management, and case studies, Univ. of New South Wales Press, Sydney, Australia.
3. Tanji, K. K., ed. (1990). Agricultural salinity assessment and management. ASCE Manuals and Reports on Engineering Practice No. 71, ASCE, New York
۴. دستورالعمل آزمایشهای آبشویی خاکهای شور و سدیمی در ایران، نشریه شماره ۲۵۵ سازمان مدیریت و برنامه ریزی کشور، ۱۳۸۱
۵. دفتر مطالعات آب و محیط زیست ۱۳۸۲، پیشنهادیه پروژه تدوین چارچوبی (مدلسازی) برای تحلیل پایداری و بهبود بهره‌وری آب در حوضه آبریز رودخانه کرخه
6. Forrester, J. W. (1961). Industrial Dynamics, Cambridge, Massachusetts Institute of Technology.
7. Sterman, J. D. (2000). Business dynamics: system thinking and modeling for a complex world, McGraw-Hill, Boston



8. Neitsch, S.L., J.G. Arnold, J.R. Kiniry, J.R. Williams, and K.W. King. 2002. Soil and Water Assessment Tool Theoretical Documentation, Version 2000. Temple, TX: Blackland Research Center, Texas Agricultural Experiment Station.
9. Keyes, A. M., and Palmer, P. N. (1993). The role of object-oriented simulation models in the drought preparedness studies. Proc., 20th Annu. Int. Conf., Water Resources Plan. and Manage., ASCE Seattle, Washington, 479-482
10. Fletcher, E. J. (1998). The use of System Dynamics as a decision support tool for the management of surface water resource. First Int. Conf., New Information Technologies for Decision Making in Civil Engineering, Montral, Canada, 909-920
11. Simonovic, S.P., and Fahmy, H. (1999). A new modeling approach for water resources policy analysis. Water Resource Research, 35(1), 295-304
12. Ahmad, S., and Simonovic, S.P. (2000). System dynamics modeling of reservoir operation for flood management. Computing in Civil Engineering, 14(3), 190-198
13. Ali Kerem Saysel, Yaman Barlas. (2001) A Dynamic model of salinization on irrigated lands. Ecological Modeling 139, 177-199
۱۴. مومنی، ا. (۱۳۸۴). مدلسازی بهره برداری از مخزن چند منظوره با استفاده از روش پویایی سیستم. پایان نامه کارشناسی ارشد سازه های هیدرولیکی، دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه صنعتی شریف
15. Tedeschi, A., Beltran, A., Aragues, R., Irrigation management and hydro salinity balance in a semi-arid area of the middle Ebro river basin (Spain). Agricultural Water Management 49(2001)31-50
16. Burkhalter, J. p., Timothy K. Gates. 2006. Evaluating Regional Solution to salinization and waterlogging in an irrigated River Valley. Journal of Irrigation and Drainage Engineering 132:1(21)
17. Droogers, P., Salemi, H. R., Mamanpoush, A.R., 2001. Exploring Basin-Scale Salinity Problems Using A Simplified Water Accounting Model: The Example of Zarandeh rud Basin, Iran. Irrig. and Drain. 50: 335-348
۱۸. موسسه پژوهشهای برنامه ریزی و اقتصاد کشاورزی. مطالعات مرحله اول ساماندهی دشت ها، دشت ماهیدشت-سنجایی، ۱۳۸۲.