

بررسی تأثیرات بلند مدت تغییر اقلیم بر نسبت جذب سدیم با استفاده از مدل HadCM3

(مطالعه موردی: حوضه آبریز قره‌سو استان گلستان)

علی شهیدی^۱ مهدی کلانکی^{۲*} جعفر قره‌سوفلو^۳

۱- دانشیار گروه علوم و مهندسی آب دانشگاه بیرجند

۲- دانشجوی دکتری مهندسی آبیاری و زهکشی، گروه مهندسی آب دانشگاه زابل

۳- دانشجوی کارشناسی ارشد مهندسی منابع آب، گروه مهندسی آب دانشگاه زابل

تاریخ دریافت: ۹۵/۰۶

تاریخ پذیرش: ۹۵/۰۸

چکیده

بحران کمی و کیفی آب یکی از دغدغه‌های اساسی و روزافزون جوامع بشری می‌باشد. از طرف دیگر وقوع تغییر اقلیم به علت انتشار گازهای گلخانه‌ای موجب تشدید شرایط و پیچیدگی تصمیم‌گیری‌های مدیریتی شده است. به گونه‌ای که مناطق مرطوب نیز از این مساله مستثنی نیستند. بر این اساس پژوهش حاضر به بررسی روند تغییرات نسبت جذب سدیم در چاه‌های عمیق حوضه آبریز قره‌سو استان گلستان در شرایط تغییر اقلیم پرداخته است. مدل گردش عمومی مورد استفاده HadCM3 بوده که طی سال‌های ۲۰۱۱-۲۱۰۰ و تحت سه سناریوی A1B، A2 و B1 اجرا شد. در گام بعدی ۱۶ حلقه چاه عمیق واقع در این حوضه مورد مطالعه قرار گرفت که بر مبنای میانگین میزان SAR دوره پایه به چهار دسته تقسیم گردیده و به مدل Anfis معرفی شدند. سپس بهترین توابع عضویت برای آن‌ها به دست آمده و مدل بر اساس آن‌ها برای سال‌های آینده طی ماه‌های آوریل و اکتبر اجرا شد. نتایج این پژوهش حاکی از آن بود که میزان SAR در گروه چهارم در تمامی دوره‌ها نسبت به دوره پایه در هر دو ماه افزایشی، گروه سوم در ماه آوریل افزایشی و در ماه اکتبر تنها در سناریو A1B افزایشی و در دو سناریو دیگر کاهش، گروه دوم در ماه آوریل کاهش و در ماه اکتبر افزایشی و گروه اول غالباً در سی‌ساله اول کاهش و در مابقی دوره‌ها افزایشی بوده است. در کل می‌توان دریافت که نحوه تغییرات آبی درصد SAR نسبت به دوره پایه متأثر از میزان اولیه آن و همچنین تغییرات پارامترهای اقلیمی بوده است.

واژه‌های کلیدی: استان گلستان، کیفیت آب، مدل HadCM3، مدل LARS-WG، مدل ANFIS.

مقدمه

افزایش گازهای گلخانه‌ای موجب پیدایش پدیده گرمایش جهانی شده که این پدیده علاوه بر افزایش دمای کره زمین باعث تغییراتی در دیگر مولفه‌های اقلیمی می‌شود (مساح بوانی، ۱۳۹۱). ادامه انتشار گازهای گلخانه‌ای سبب گرم‌تر شدن هوا و تغییرات بیش‌تری در مولفه‌های اقلیمی خواهد شد (IPCC, 2014). افزایش دما علاوه بر این که موجب تسریع در فعالیت‌های فیزیولوژیک گیاه شده خاک را تیز تحت تاثیر قرار می‌دهد به گونه‌ای که در شرایط اقلیمی گرم‌تر، سرعت تجزیه مواد آلی خاک نیز افزایش می‌یابد (پرویزی، ۱۳۹۱). بررسی پدیده تغییر اقلیم بر شوری‌زایی پهنه‌های مرکزی و شرق ایران با استفاده از نقشه منابع و استعداد اراضی و مدل گردش عمومی جو HadCM3 نشان داده است که طی ۹۰ سال آینده، میزان شوری خاک بین ۱/۵ تا ۴/۷ دسی‌زیمنس بر متر افزایش خواهد یافت (رحیمیان و همکاران، ۱۳۹۲). به دلیل پرهزینه و زمان‌بر بودن آزمایش‌های مربوط به نمونه‌برداری شوری، لزوم مطالعه پارامترهای مختلف آب و خاک و تعیین شوری در اعماق مختلف خاک، علاقه‌مندی به شبیه‌سازی رفتارهای طبیعی و استفاده از مدل‌های موجود روز به روز افزون می‌گردد (حق‌وردی، ۱۳۸۶). تلفیق زمین آمار و مدل

* نویسنده مسئول: مهدی کلانکی Kalanaki_mahdi@yahoo.com

SaltMod در تغییرات مکانی و زمانی شوری خاک اراضی پایاب سد حاجیلرچای در استان آذربایجان شرقی حاکی از آن بود که روش کوکریجینگ بیش‌ترین دقت را داشته و مقادیر شوری کم‌تر از $6/3 \text{ dS/m}$ در دوره‌های ۵ و ۱۰ ساله روند افزایشی و مقادیر بیش‌تر از آن روند کاهشی دارد (کازمی زریون و همکاران، ۱۳۹۲). رسولی و کیانی پویا در سال ۱۳۸۹ به ارزیابی شوری خاک با استفاده از مدل‌های WATSUIT، هافمن-ونگنوختن و تابع تولید در اراضی شور تحت کشت گندم در مناطق معتدل استان فارس پرداخته و نتیجه گرفتند مدل هافمن-ونگنوختن از کمترین خطا برخوردار بوده است. همچنین تقی‌زاده و همکاران (۱۳۹۲) عملکرد بهتر مدل نروفازی را در مقایسه با الگوریتم ژنتیک، شبکه‌های عصبی و معادلات رگرسیونی در پیش‌بینی شوری خاک نتیجه گرفتند.

پیش‌بینی شوری آب زیرزمینی به علت پیچیدگی فرآیندهای هیدرولوژیکی، خصوصیات سفره آب زیرزمینی و تغییرپذیری آن‌ها کار مشکلی است البته این مشکلات با عوامل خارجی نظیر شرایط جوی و فعالیت‌های بشر که روی نفوذپذیری و فرآیندهای هیدرولوژیکی تأثیر می‌گذارند، بیشتر می‌شود (برزگر، ۱۳۷۹). عوامل طبیعی دخیل در پدیده شور شدن اراضی شامل توپوگرافی زمین، تأثیرات ناشی از وجود سازندهای زمین‌شناسی، عوامل اقلیمی، انتقال نمک توسط آب و تداخل آب‌های شور ساحلی با آب‌های شیرین آبخوان‌های مجاور دریا می‌باشند (رحیمیان و همکاران، ۱۳۹۲). از طرفی روند برداشت بی‌رویه آب‌های زیرزمینی از طریق چاه‌های عمیق و نیمه‌عمیق و پیشروی آب شور در سفره‌ی آب شیرین، باعث شده تا آب شور از گستردگی بیشتری برخوردار گردد و هر روز حجم آن افزایش یابد (شهیدی و احمدی، ۱۳۹۴). میرزایی و همکاران در سال ۱۳۹۲ به برآورد شوری آب زیرزمینی با استفاده از روش‌های شبکه عصبی مصنوعی، فازی-عصبی تطبیقی و منحنی سنجه شوری اراضی پایاب سد حاجیلر پرداخته و دریافتند روش فازی-عصبی تطبیقی از دقت بیشتری در برآورد شوری آب زیرزمینی برخوردار است. بری ابرقویی در سال ۱۳۹۳ به بررسی اثرات خشکسالی بر شوری آب‌های زیرزمینی و پیش‌بینی این اثرات در سال‌های آینده با استفاده از مدل HadCM3 در منطقه بهادران پرداخت نتایج نشان داد که حتی در صورت عدم تغییر در میزان آب استحصالی از چاه‌های منطقه کیفیت آن در سال‌های آینده تغییر نموده و شوری آن بین ۱ تا ۲ دسی‌زیمنس بر متر متفاوت خواهد بود.

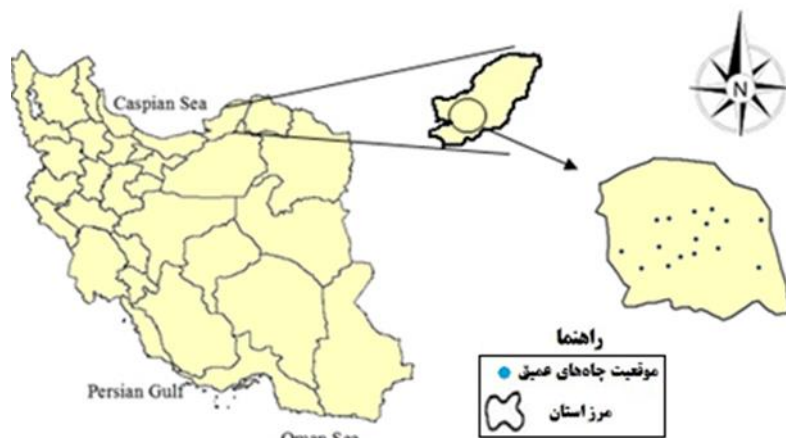
با توجه به اهمیت کیفیت آب مصرفی، اثرات مخرب وجود سدیم بر اراضی کشاورزی، درک روند تغییرات قلیائیت آب و همچنین از آنجایی که در منطقه گلستان تحقیقات چندانی بر نحوه تغییرات SAR صورت نگرفته است، این پژوهش ابتدا به بررسی روند تغییر اقلیم طی سال‌های ۲۰۱۱-۲۱۰۰ با استفاده از مدل ریزمقیاس نمایی LARS-WG و مدل گردش عمومی جو HadCM3 تحت سه سناریوی A1B، A2 و B1 پرداخته و نسبت جذب سدیم و تغییرات آن نیز طی این بازه با استفاده از مدل ANFIS شبیه‌سازی شد.

مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه

استان گلستان وسعتی بالغ بر ۲۰۰۰۰ کیلومتر مربع دارد. بخش بیشتر استان گلستان آب و هوای معتدل مدیترانه‌ای دارد ولی جلگه گرگان به لحاظ مجاورت با صحرای ترکمنستان، دوری از دریا و کاهش ارتفاعات، آب و هوای نیمه بیاکتبری و گرم دارد. آب‌های سطحی محدوده استان گلستان شامل چهل شاخه رودخانه بزرگ و کوچک است که در چهار حوضه آبریز گرگانرود، اترک، قره سو و خلیج گرگان جریان دارند. محدوده مورد مطالعه این پژوهش (مطابق شکل ۱) حوضه آبریز قره‌سو می‌باشد. این حوضه مساحتی در حدود ۱۶۹۸ کیلومترمربع داشته و بین طول‌های جغرافیایی ۵۴ درجه و ۲ دقیقه تا ۵۴ درجه و ۴۴ دقیقه شرقی و عرض‌های جغرافیایی ۳۶ درجه و ۳۷ دقیقه تا ۳۷ درجه و ۰۰ دقیقه شمالی قرار گرفته است. این محدوده از شمال به حوضه آبریز گرگانرود در دشت ترکمن صحرا، از شمال غربی به دریای مازندران، از جنوب به حوضه نکارود در ارتفاعات البرز و از طرف شرق به رودخانه گرمابدشت محدود می‌شود (گودرزی و همکاران، ۱۳۹۴؛ مفتاح‌هلقی و هزارجریبی، ۱۳۹۰؛ خوشرفتار و مازینی، ۱۳۹۰).

طی این پژوهش، ۱۶ چاه عمیق حوضه آبریز قره سو مورد بررسی قرار گرفت. بدین منظور بر اساس محدوده SAR مجموعه به چهار دسته، با SAR کمتر از یک، بین یک تا دو، بین دو تا چهار و بیش تر از چهار تقسیم بندی شده و محاسبات لازم بر اساس آن انجام گردید.



شکل (۱): موقعیت حوضه آبریز قره سو به همراه چاه‌های عمیق واقع در آن

مدل ANFIS

منطق فازی با نگاه چند ارزشی به جای منطق دو ارزشی امکان بررسی دقیق تر مسائل را به وجود می آورد. این منطق اولین بار توسط لطفی زاده مطرح شد (Lee and Hoops, 1996). در مجموعه های فازی، توابع عضویت درجه عضویت المان های مختلف را به یک مجموعه نشان داده و مقداری بین صفر و یک را می گیرد (گوهرریزی و اژدری مقدم، ۱۳۹۰). ترکیب شبکه عصبی و منطق فازی باعث افزایش در سرعت محاسبات، تحمل خطا و تطبیق پذیری و همچنین باعث تسهیل در انتخاب تابع عضویت می گردد (Stelak, 2008; Jang, 1993). رویکرد خاص ANFIS نتایج قابل توجهی در مدل سازی توابع غیر خطی نشان می دهد (Jang, 1997). این مدل یک سامانه فازی سوگنو را در یک ساختار عصبی اجرا می کند و توابع عضویت از طریق الگوریتم پس انتشار یا ترکیب آن با حداقل مربعات تنظیم می شود. در ANFIS قوانین ثابت هستند و آن چه بهینه سازی می شود، عامل های توابع عضویت است (مهدوی میمند و همکاران، ۱۳۹۳). در مدل ANFIS زمانی عمل شبیه سازی به درستی انجام شده است که مجموعه پارامترهای تطبیقی و مجموعه پارامترهای متعاقب طوری تخمین زده شوند که مقدار تابع خطای مدل در بخش آموزش و آزمایش به حداقل برسد (احمدزاده و همکاران، ۱۳۸۹).

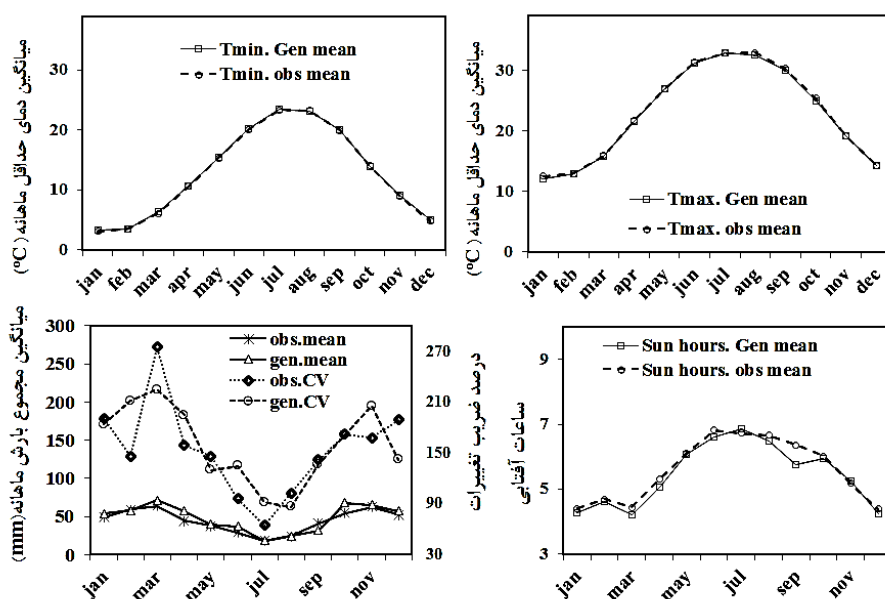
مدل LARS-WG

از جمله مدل های آماری برای ریزمقیاس نمایی مدل های گردش عمومی جو مدل LARS-WG می باشد. مدل LARS-WG مولد آب و هوایی بر پایه روش سری ها است که می تواند به منظور شبیه سازی داده های هواشناسی در یک ایستگاه تحت شرایط اقلیمی فعلی و آتی استفاده شود (Semenov et al, 1998). نسخه اولیهی این مدل در بوداپست مجارستان در سال ۱۹۹۱ به عنوان بخشی از پروژهی ارزیابی ریسک های کشاورزی توسط RSCO و همکاران ابداع شد و سپس توسط Semenov و Barrow ارتقا یافت. همچنین ایشان کارایی دو مدل LARS-WG و WGEN را در ۱۸ ایستگاه آمریکا، اروپا و آسیا بررسی کرده و دریافتند که مدل LARS نتایج بهتری تولید می کند در مدل LARS-WG، مدل سازی بارش و احتمال وقوع آن از روش توزیع نیمه تجربی و زنجیره ی مارکف، مدل سازی تابش بر اساس توزیع نیمه تجربی و مدل سازی دما با استفاده از سری فوریه انجام می شود (Semenov and Barrow, 2002). فرآیند تولید داده ها در LARS-WG شامل سه بخش واسنجی، صحت سنجی و شبیه سازی می شود.

نتایج و بحث

ارزیابی مدل LARS-WG در ایستگاه گرگان

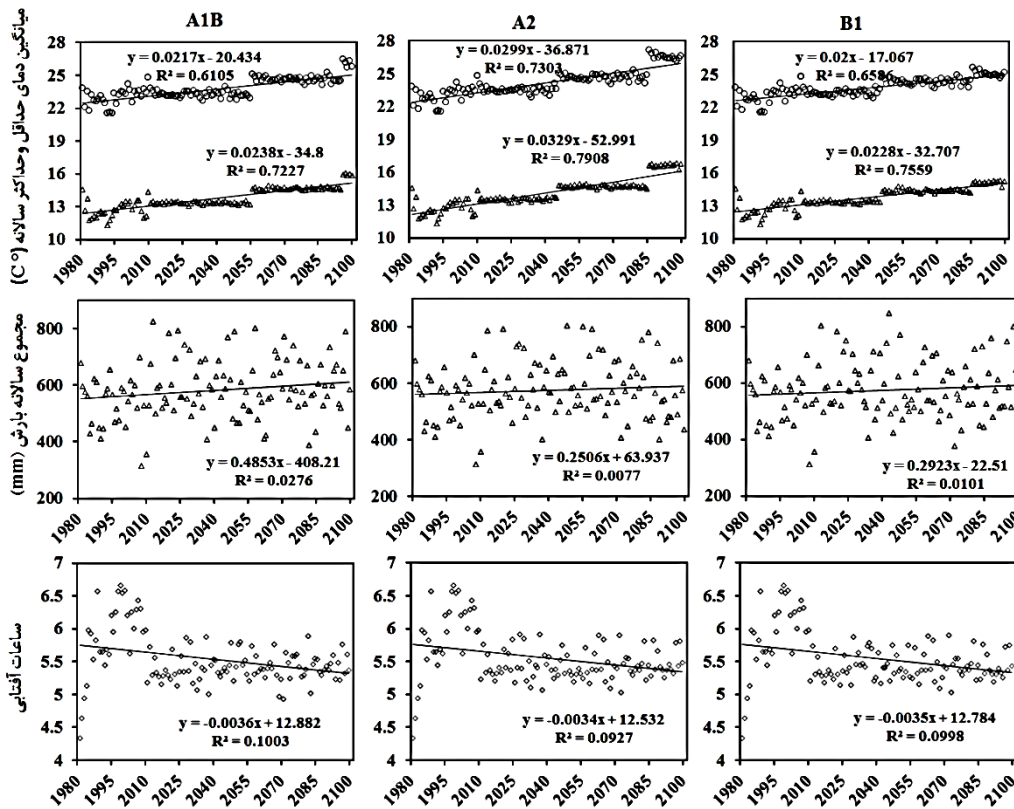
شکل (۲) نتایج ارزیابی پارامترهای شبیه‌سازی شده و مشاهده‌ای را در دوره پایه (۲۰۱۴-۱۹۸۱) نشان می‌دهد. بارش شبیه‌سازی شده توسط مدل در ماه‌های فوریه، جولای، آگوست و سپتامبر کم برآورد و در بقیه ماه‌ها بیش برآورد بوده است. لکن مدل در شبیه‌سازی مقادیر دمای حداقل و حداکثر دقت بسیار بالایی داشته است. دقیق‌تر بودن مدل LARS در شبیه‌سازی پارامتر دما در پژوهش‌های پیشین نیز به اثبات رسیده است (Reddy et al., 2014; Hassan et al., 2014; کلانکی و کاراندیش، ۱۳۹۴).



شکل (۲): مقایسه مقادیر مشاهده‌ای و شبیه‌سازی شده پارامترهای بارش، دمای حداقل و حداکثر در ایستگاه گرگان

تغییرات پارامترهای هواشناسی در اثر تغییر اقلیم

همان‌طور که از شکل (۳) دریافت می‌شود بیش‌ترین درصد افزایش دمای حداقل و حداکثر نسبت به دوره پایه (۱۹۸۰-۲۰۱۴) برای تمامی سناریوها در سی ساله سوم (۲۰۷۱-۲۱۰۰) و کمترین آن در سی ساله اول (۲۰۴۱-۲۰۷۰) رخ داد لکن درصد افزایش برای دمای حداقل بیش‌تر از دمای حداکثر مشاهده شد، به گونه‌ای که در سناریوهای A1B، A2 و B1 درصد افزایش دمای حداقل به ترتیب ۱۶/۵۳، ۲۲/۹ و ۱۵/۷ درصد و افزایش دمای حداکثر به ترتیب ۸/۰۳، ۱۱/۳۳ و ۷/۴ درصد بود. مقایسه میانگین‌های مجموع سی ساله بارش نشان داد، بیشترین افزایش در سناریوهای A1B، A2 و B1 به ترتیب در دوره سوم (۱۲/۳ درصد)، دوم (۱۳/۳ درصد) و اول (۱۲/۱ درصد) و کمترین افزایش در دوره‌های دوم (۱۰/۳ درصد)، سوم (۵/۷ درصد) و سوم (۷/۷ درصد) به وقوع پیوست. مقایسه میانگین‌های سی ساله ساعات آفتابی با دوره پایه در تمامی سناریوها حاکی از کاهش در همه دوره‌ها بود که در دوره سوم کمترین کاهش نسبت به دوره پایه با حدود (۷/۵- درصد) و بیشترین کاهش در سی ساله دوم (۲۰۴۱-۲۰۷۰) با حدود (۸/۲- درصد) اتفاق افتاد.



شکل (۳): روند تغییرات سالانه دمای حداقل و حداکثر در دوره پایه و آینده تحت هر سه سناریوی اقلیمی

بهره‌گیری از مدل Anfis برای پیش‌بینی تغییرات SAR

مطابق جدول شماره (۱) چاه‌های منطقه مطالعاتی بر اساس محدوده تغییرات SAR به چهار گروه تقسیم شده و بر اساس ورودی‌های بارش، ساعات آفتابی، دمای حداقل و حداکثر در هر کدام از گروه‌ها بهترین تابع عضویت مدل ANFIS بر مبنای معیارهای ارزیابی سنجیده شد. بنابراین برای گروه‌های اول، دوم، سوم و چهارم به ترتیب gbellmf, gauss2mf, dsigmf و trapmf بهترین توابع عضویت به دست آمده می‌باشند.

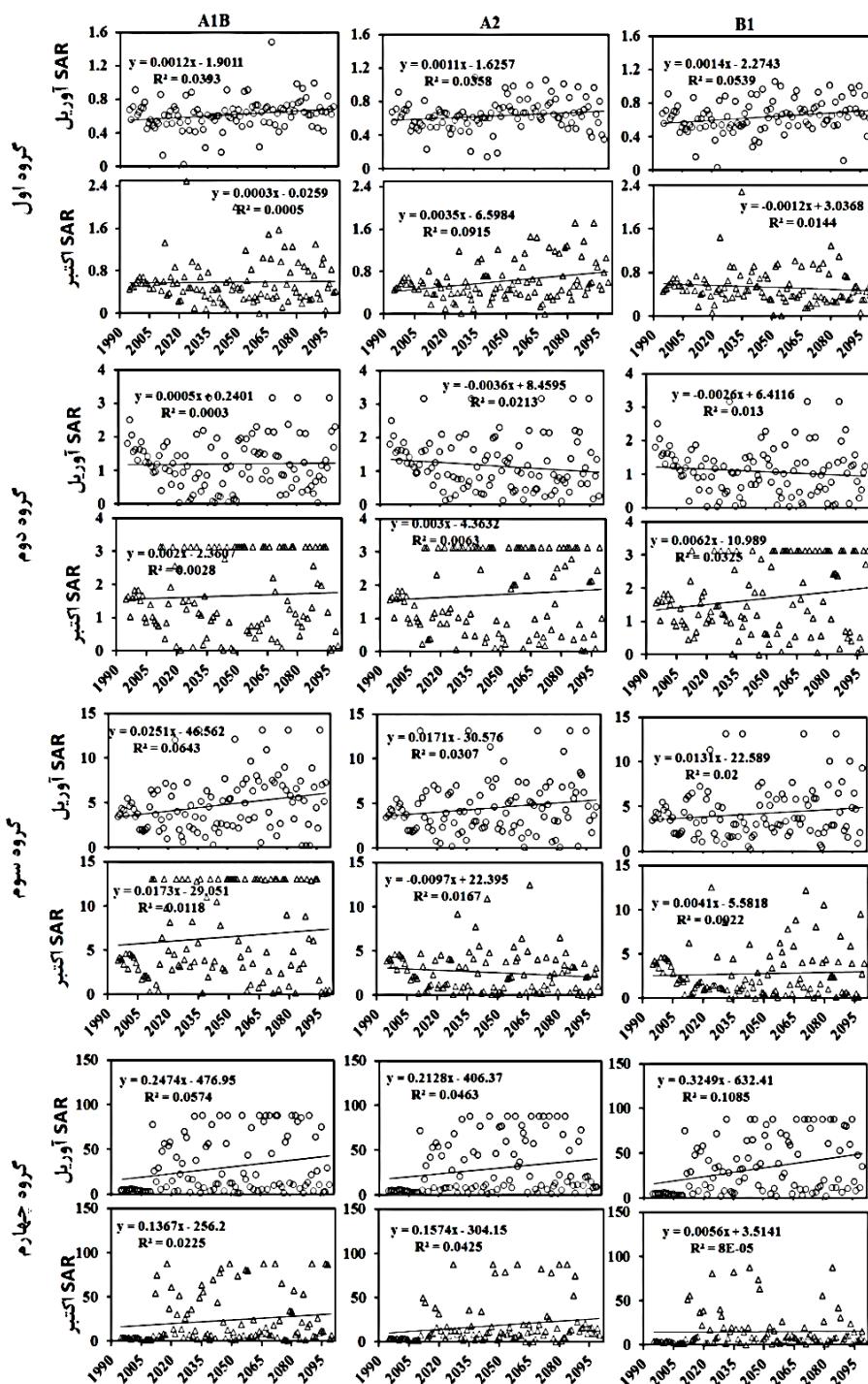
جدول شماره (۱): گروه‌بندی چاه‌ها بر اساس مقدار SAR

گروه‌ها	SAR محدودده	تعداد چاه‌ها	بهترین تابع عضویت	R ²	RMSE
اول	کمتر از یک	۶	gbellmf	۰/۶۵	۰/۳۴
دوم	بین یک تا دو	۳	dsigmf	۰/۵۱	۲/۷
سوم	بین دو تا چهار	۴	Gauss2mf	۰/۵۷	۱/۱
چهارم	بیش‌تر از چهار	۴	trapmf	۰/۴۹	۱/۹

نتایج پژوهش میرزایی و حسن‌نیا (۱۳۹۲) نیز حاکی از برتری روش فازی-عصبی نسبت به روش عصبی و منحنی سنجه در برآورد شوری آب زیرزمینی بوده است. از آنجایی که نمونه‌های کیفیت آب چاه‌های منطقه در ماه‌های آوریل و اکتبر برداشت شده بود، لذا مدل ANFIS بر اساس میانگین‌های ماهانه اجرا و خروجی‌ها به دست آمد.

روند تغییرات SAR در اثر تغییر اقلیم

از آنجایی که آمار برداشت شده از SAR چاه‌های منطقه از سال ۱۹۹۵ (۱۳۷۴) انجام شده بود لذا در این بخش دوره پایه سال‌های ۱۹۹۵-۲۰۱۱ در نظر گرفته شد و مقایسات سال‌های آینده بر اساس این دوره انجام گردید. بنابراین مطابق شکل (۴) در گروه اول، میزان SAR طی ماه آوریل در سی ساله اول (۲۰۱۱-۲۰۴۱) نسبت به دوره پایه (۱۹۹۵-۲۰۱۱) تحت سناریوهای A1B (۷/۳- درصد)، A2 (۵/۷- درصد) و B1 (۴/۴۸- درصد) بیش‌ترین کاهش را داشته است و تحت این سناریوها در دوره سوم (۲۰۷۱-۲۱۰۰) با ۱۰/۳ درصد، ۱۱/۷۳ درصد و ۱۴/۱ درصد بیش‌ترین افزایش را داشته است.



شکل (۴): روند تغییرات سالانه SAR طی سال‌های ۲۰۱۰-۱۹۹۵ بر اساس هر سه سناریو اقلیمی مدل (HadCM3) در گروه‌های چهارگانه و ماه‌های اکتبر (آبان) و آوریل (ارابهشت)

در ماه اکتبر تحت سناریوی A1B دوره دوم (۲۰۷۰-۲۰۴۱) با (۳/۶- درصد) بیش‌ترین کاهش، و در دوره سوم با ۱۲/۶ درصد بیش‌ترین افزایش رخ داده است. در سناریوی A2 بیش‌ترین کاهش با (۱۰/۴- درصد) در دوره اول و ۴۱/۴ درصد در دوره سوم بیش‌ترین افزایش را داشته است. در سناریوی B1 در دوره اول بیش‌ترین و در دوره سوم کم‌ترین SAR به وقوع پیوسته است.

در گروه دوم طی ماه آوریل SAR همه دوره‌ها در تمامی سناریوها نسبت به دوره پایه کاهش داشته است، ولی در ماه اکتبر افزایشی بوده، که این افزایش در سی ساله اول کمتر و در سی ساله دوم بیش‌تر بوده است. در گروه‌های سوم و چهارم طی ماه آوریل نیز در تمامی دوره‌ها میزان SAR اغلب در دوره اول افزایش کمتر و در دوره سوم افزایش بیش‌تری داشته است، همچنین همان‌طور که از شکل (۴) دریافت می‌شود، شیب خط در دوره چهارم طی این ماه روند تندتری داشته است. در ماه اکتبر نیز میزان SAR در تمامی سناریوها برای گروه چهارم افزایشی بوده و در سناریو A1B گروه سوم نیز وضعیت مشابه بوده، لکن در سناریوهای A2 و B1 گروه سوم میزان این پارامتر نسبت به دوره پایه کاهش داشته است. در اغلب موارد افزایش‌ها یا کاهش میزان SAR را می‌توان با کاهش بارش یا افزایش دمای حداقل و حداکثر، و یا افزایش بارش و کاهش دمای حداقل و حداکثر مرتبط دانست.

نتایج پژوهش در منطقه بهادران بیانگر این است که کیفیت آب زیرزمینی تابعی از بارندگی سالانه بوده و با کم و زیاد شدن بارش‌های سالانه کیفیت آب زیرزمینی تغییر خواهد کرد که این مساله برای سال‌های آتی نیز تکرار شد (بری ابرقویی، ۱۳۹۳). همچنین عوامل تاثیرگذار دیگری مانند کمیت و کیفیت تنش‌های وارده بر سیستم آب‌های زیرزمینی (Kløve et al., 2013) تغذیه آبخوان‌ها و شرایط بهره‌برداری از اراضی (Li & Merchant, 2013) تغییرات فیزیکی، شیمیایی و فرآیندهای میکروبی (Saito et al., 2016) و فعالیت‌های انسانی (Chen et al., 2016) بر قابلیت آسیب‌پذیری آب‌های زیرزمینی در شرایط تغییر اقلیم اثرگذار بوده، لذا بررسی همه جانبه این عوامل جهت تصمیم‌گیری‌های مدیریتی حفظ منابع آب‌های زیرزمینی ضروری به نظر می‌رسد.

نتیجه‌گیری

طی این پژوهش توابع عضویت gauss2mf, dsigmf, gbellmf و trapmf به ترتیب در گروه‌های اول، دوم، سوم و چهارم SAR به عنوان برترین توابع عضویت جهت پیش‌بینی مقدار SAR به دست آمد. میانگین سی ساله میزان SAR در گروه‌های اول، دوم و سوم در برخی موارد نسبت به دوره پایه کاهشی و در برخی افزایشی بوده که درصد افزایش‌ها نسبت به دوره پایه در گروه‌های اول و دوم با شیب ملایم‌تری رخ داد و در گروه‌های سوم و بالاخص چهارم این شیب تندتر بوده است. این مساله از موثر بودن هم‌زمان پارامترهای اقلیمی و میزان ابتدایی SAR در میزان SAR در سال‌های آینده و سناریوهای مختلف اقلیمی حکایت دارد.

منابع

۱. احمدزاده قره‌گویز، ک.، س. م. میرلطفی و محمدی، ک. (۱۳۸۹). مقایسه سیستم‌های هوش مصنوعی (ANN, ANFIS) در تخمین میزان تبخیر-تعرق گیاه مرجع در مناطق بسیار خشک ایران. نشریه آب و خاک. ۲۴ (۳): ۶۷۹-۶۸۹.
۲. برزگر، ع. (۱۳۷۹). خاک‌های شور و سدیمی: شناخت و بهره‌وری. انتشارات دانشگاه شهید چمران اهواز.
۳. بری ابرقویی، ح. (۱۳۹۳). بررسی اثرات خشک‌سالی‌های اخیر بر شوری آب‌های زیرزمینی و پیش‌بینی این اثرات در سه دهه آینده، مطالعه موردی: دشت بهادران. فصلنامه بین‌المللی پژوهشی تحلیلی منابع آب و توسعه. ۲ (۳): ۱-۱۴.

۴. پرویزی، ی. (۱۳۹۱). پدیده تغییر اقلیم و اثرات آن بر کشاورزی و منابع طبیعی ایران. نشریه جنگل و مرتع. ۲(۹۳): ۲۱-۱۴.
۵. تقی‌زاده مهرجردی، ر.، ف. سرمیدیان، غ. ثوابقی، م. امید، ن. تومانیان، م.ج. روستا و م.ح. رحیمیان (۱۳۹۲). مقایسه روش‌های نروفازی، الگوریتم ژنتیک، شبکه عصبی و رگرسیون چند متغیره در پیش بینی شوری خاک (مطالعه موردی: شهرستان اردکان). نشریه مرتع و آبخیزداری، مجله منابع طبیعی ایران. ۶۶ (۲): ۲۲۲-۲۰۷.
۶. حق وردی، ا. (۱۳۸۶). تخمین شوری پروفیل خاک در شبکه آبیاری و زهکشی دشت تبریز با استفاده از مدل‌های شبکه عصبی مصنوعی و مدل کامپیوتری SaltMod پایان‌نامه کارشناسی. ارشد. مهندسی کشاورزی-آبیاری و زهکشی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه بوعلی سینا.
۷. خوشرفتار، ر. و ف. مازینی (۱۳۹۰). بررسی آماری دبی و رسوب حوضه آبریز قره‌سو (استان گلستان). فصلنامه علمی-پژوهشی فضای جغرافیایی. ۱۱ (۳۳): ۱۰۱-۱۲۱.
۸. رحیمیان، م.ح.، س. پورمحمدی، ی. هاشمی‌نژاد و م.ع. مشکوه (۱۳۹۲). تأثیر تغییر اقلیم بر شوری‌زایی در پهنه‌های مرکزی و شرق ایران. مجله پژوهش‌های خاک. (۲۷): ۱-۱۱.
۹. رسولی، ف. و ع. کیانی پویا (۱۳۸۹). پیش‌بینی شوری خاک با استفاده از مدل‌های ماندگار در اراضی شور تحت کشت گندم در مناطق معتدل استان فارس. مجله پژوهش‌های خاک. ۲۴ (۳): ۲۲۷-۲۱۷.
۱۰. شهیدی، ع. و م. احمدی (۱۳۹۴). توابع تولید گیاهی در مناطق خشک. انتشارات دانشگاه بیرجند.
۱۱. کاظمی زریون، م.، ا.ح. ناظمی، س.ع. اشرف صدرالدینی و م.ع. قربانی (۱۳۹۲). مدل‌سازی تغییرات زمانی و مکانی شوری خاک اراضی پایاب سد حاجیلرچای در استان آذربایجان شرقی با استفاده از تلفیق زمین‌آمار و مدل SaltMod. مجله پژوهش آب ایران. ۷ (۱۲): ۳۱-۲۱.
۱۲. کلانکی، م. و ف. کاراندیش (۱۳۹۴). پیش‌بینی اثرات بلند مدت تغییر اقلیم بر مولفه‌های اقلیمی در منطقه‌ی مرطوب. فصلنامه علمی پژوهشی مهندسی آب و آبیاری. ۵ (۲۰): ۱۴۸-۱۳۱.
۱۳. گودرزی، م.، ج. خسروانیان و س.ا. حجازی (۱۳۹۴). کاربرد مدل LARS-WG در پیش‌بینی پارامترهای هواشناسی حوضه قره‌سو. فصلنامه‌ی علمی-پژوهشی فضای جغرافیایی. ۱۵ (۵۱): ۲۷۹-۲۶۳.
۱۴. گوهرریزی، ف. و م. اژدری مقدم (۱۳۹۰). بررسی آسیب ناشی از خللازایی با استفاده از منطق فازی. مجله پژوهش آب ایران. ۵ (۸): ۱۱۶-۱۰۷.
۱۵. مساح بوانی، ع.ر. (۱۳۹۱). آشنایی با مفاهیم تغییر اقلیم. نشریه جنگل و مرتع. ۲ (۹۳): ۳۱-۲۲.
۱۶. مفتاح‌هلقی، م. و ا. هزارجریبی (۱۳۹۰). وضعیت آلودگی منابع آب زیرزمینی حوضه قره سو از استان گلستان. مجله پژوهش‌های حفاظت آب و خاک. ۱۸ (۱): ۱۰۲-۸۱.
۱۷. مهدوی میمند، ا.، ج. احدیان و م. احترام (۱۳۹۳). تحلیل حساسیت عوامل مؤثر در هوادهی سرریز با استفاده از روش‌های هوشمند مصنوعی و ANFIS. فصلنامه علمی پژوهشی مهندسی آبیاری و آب. ۵ (۱۷): ۹۵-۸۳.
۱۸. میرزایی، ع. الف. و ر. دلیرحسن‌نیا (۱۳۹۲). مقایسه روش‌های شبکه‌های عصبی مصنوعی، فازی-عصبی تطبیقی و منحنی سنجه شوری در برآورد شوری آب زیرزمینی (مطالعه موردی: اراضی پایاب سد حاجیلر). نشریه آبیاری و زهکشی ایران. ۱ (۷): ۵۸-۴۹.

19. Chen M., Qin X., Zeng G. and Li J. (2016). Impacts of human activity modes and climate on heavy metal "spread" in groundwater are biased. *Chemosphere*, 152, 439-445.
20. Hassan Z., Shamsudin S. and Harun S. (2014). Application of SDSM and LARS-WG for simulating and downscaling of rainfall and temperature. *Theoretical and Applied Climatology*. 116:243-257.

21. IPCC. Climate Change. (2014). *Mitigation of Climate Change. Contribution of Working Group III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* [Edenhofer, O., R. Pichs-Madruga, Y. Sokona, E. Farahani, S. Kadner, K. Seyboth, A. Adler, I. Baum, S. Brunner, P. Eickemeier, B. Kriemann, J. Savolainen, S. Schlomer, C. von Stechow, T. Zwickel and J.C. Minx (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA.
22. Jang J.S.R. (1993). *ANFIS: Adaptive-network-based Fuzzy Inference System. IEEE Transactions on Systems, Man and Cybernetic*, 23 (3): 665-685.
23. Jang J.S.R., Sun C.T. and Mizutani E. (1997). *Neuro-Fuzzy and Soft Computing: A Computational Approach to Learning and Machine Intelligence*. Prentice-Hall, New Jersey. 34 (1): 1021-1030.
24. Kløve B., Ala-Aho P., Bertrand G., Gurdak J.J., Kupfersberger H., Kværner J.,... & Uvo, C. B. (2014). *Climate change impacts on groundwater and dependent ecosystems*. *Journal of Hydrology*, 518, 250-266.
25. Lee W. and Hoops J.A. (1996). *Prediction of Cavitation Damage for Spillways*. *Journal of Hydraulic Engineering*, 122 (9): 481-488.
26. Li R. and Merchant J.W. (2013). *Modeling vulnerability of groundwater to pollution under future scenarios of climate change and biofuels-related land use change: A case study in North Dakota, USA*. *Science of the total environment*, 447, 32-45
27. Semenov M.A. and Barrow E.M. (2002). *A stochastic weather generator for use in climate impact studies*. User's manual, Version 3.0.
28. Semenov M.A., Brooks R.J., Barrow E.M. and Richardson C.W. (1998). *Comparison of the WGEN and LARSWG stochastic weather generators for diverse climates*. *Climate Research*, 10: 95-107.
29. Saito T., Hamamoto S., Ueki T., Ohkubo S., Moldrup P., Kawamoto K. and Komatsu T. (2016). *Temperature change affected groundwater quality in a confined marine aquifer during long-term heating and cooling*. *Water research*, 94, 120-127.
30. Reddy K.S., Kumar M., Maruthi V., Umesha B. and Nageswar C.V.K. (2014). *Climate change analysis in southern Telangana region, Andhra Pradesh using LARS-WG model*. *Current science*. 107: 54-62.

Investigating the long-term effects of climate change on Sodium adsorption ratio using HadCM3 model (Case study: Gharesuo Basin Golestan province)

Shahidi A., Kalanaki M., Gharesoflo J.

Email: Kalanaki_mahdi@yahoo.com

Received: 2016/09

Accepted: 2016/11

Abstract

The water crisis in terms of quantity and quality has become one of the growing concerns in human societies. In other hand, climate changes due to greenhouse gas emissions exacerbate conditions and the complexity of management decisions. So that the wet areas are not exempt from this problem. Accordingly, in this study sodium adsorption ratio trend were investigated in deep wells Gharesoo basin in Golestan province under climate changes conditions. HadCM3 model has been used during 2011-2100 under three scenarios (i.e. A1B, A2 and B1). In the next step 16 deep wells located in this basin were studied on the basis of the average SAR during the base period which divided into four categories and were introduced to the Anfis model. After that the best membership functions and a model has been selected during the months of April and October was run for next years. The results showed the SAR in the fourth group in all periods was increased in comparison to the baseline in both months. The third group was additive in April and just in scenario in A1B was increased in October and in two other scenarios was decreased. The second group was decreased in April and was increased in October. The first group is often decreased in the first thirty years and was increased in the remaining periods. Finally, we can find how future changes of SAR percent will affect to the baseline by an initial value as well as changes in climate parameters.

Keywords: ANFIS, Golestan province, HadCM3, LARS-WG, Water quality