

ارزیابی تأثیر تغییر اقلیم بر تراز آب زیرزمینی حوضه آبریز تسوج

مجید رضایی بنفشه^۱

طاهره جلالی^۲

چکیده

با توجه به نقش مهم پارامترهای اقلیمی از جمله تابش، دما، بارش و در نهایت تبخیر در مدیریت منابع آب، هدف تحقیق حاضر، بررسی تغییر اقلیم در حوضه آبریز تسوج تحت سناریوهای A2، B1 و A1B و نحوه واکنش تراز آب زیرزمینی به این تغییرات در دوره ۲۰۳۰-۲۰۱۳ می‌باشد. برای انجام این پژوهش از آمار ایستگاه‌های تبخیرسنجی چرچر و شرفخانه و ایستگاه سینوپتیک خوی (۲۰۱۲-۱۹۸۵) و همچنین داده‌های تراز آب حوضه آبریز تسوج بین سال‌های ۲۰۱۲-۲۰۰۰ استفاده شد. داده‌های دما، بارش و ساعات آفتابی با نرم‌افزار LARS-WG و تراز آب زیرزمینی با شبکه عصبی مصنوعی برای دوره مذکور پیش‌بینی گردید. نتایج نشان‌دهنده کاهش بارش و افزایش دما در هر سه سناریوی مورد مطالعه می‌باشد. حداکثر افت تراز آب در سناریوی A2 و حداقل افت تراز آب زیرزمینی در سناریوی B1 اتفاق خواهد افتاد. همچنین بررسی همبستگی متقاطع نشان‌دهنده تأثیر بارش بر تراز آب زیرزمینی حوضه تسوج با تأخیر زمانی ۲ ماهه می‌باشد.

واژگان کلیدی: ریزمقیاس نمایی آماری، پیش‌بینی، همبستگی متقاطع، حوضه آبریز تسوج.

۱- استاد آب و هواشناسی، طبیعی دانشگاه تبریز.

۲- دانش‌آموخته دکتری اقلیم‌شناسی دانشگاه تبریز.

مقدمه

گرچه مهم‌ترین تأثیر تغییر اقلیم می‌تواند نوسانات در میزان آب‌های سطحی و کیفیت آن‌ها باشد، اما مهم‌ترین نگرانی برای دولت‌ها، کاهش بالقوه و کمیت منابع آب زیرزمینی است چرا که منبع اصلی آب آشامیدنی برای مصرف انسان و آبیاری تولیدات کشاورزی در سراسر جهان می‌باشد (فریدپور، ۱۳۹۲: ۱۲). این مساله به‌ویژه در مناطقی با اقلیم خشک مثل ایران بیش‌تر نمود دارد. استفاده بی‌رویه و غیرمجاز از منابع آب‌های زیرزمینی یکی از مهم‌ترین چالش‌ها در مسئله بهره‌برداری از منابع آب می‌باشد (محمدی و همکاران، ۱۳۸۷: ۵۴). میزان وابستگی تولیدات زراعی و باغی به این منبع طبیعی تا حدی است که برداشت بیش از حد مجاز و در برخی مواقع بی‌رویه موجب کاهش سطح آب زیرزمینی در بسیاری از نقاط کشور گردیده است (Siadat, 2000: 213-215). مطالعات گوناگونی با استفاده از مدل ریاضی و فیزیکی جهت ارزیابی اثرات تغییر اقلیم بر روی آب‌های زیرزمینی صورت گرفته است. کوهن (۱۹۸۶)^۳ اثر سناریوهای تغییر اقلیم بر بارش و دما و در نتیجه تغییرات تراز آب دریاچه‌های بزرگ آمریکای شمالی را بررسی نمود. نتایج مطالعه وی نشان می‌دهد که ذخیره آب خالص دریاچه‌های مذکور در واکنش به تغییرات اقلیمی کاهش می‌یابد. پاسکال و همکاران^۴ (۲۰۱۱) اثرات تغییر اقلیم بر منابع آب زیرزمینی Geer Basin را بین سال‌های ۲۰۱۰-۲۰۸۵ تحت سناریوهای اقلیمی مورد بررسی قرار دادند. نتایج نشان‌دهنده کاهش سطح آب‌های زیرزمینی در ۳۰ سناریوی مورد استفاده در دوره مورد مطالعه بود که حداکثر افت سطح آب‌های زیرزمینی حدود ۲۱ متر و حداقل افت ۴ متر تحت سناریوی RCAO_E می‌باشد. ان‌جی و همکاران^۵ (۲۰۱۲) به بررسی تأثیر تغییر اقلیم بر تغذیه آب زیرزمینی دشتی واقع در شمال تگزاس با استفاده از نرم‌افزار SWAP پرداختند. نتایج نشان‌دهنده تغییرات ۷۵- تا ۳۵+ درصدی تغذیه آب زیرزمینی در پاسخ به تغییرات اقلیمی بود. فرزین و همکاران (۱۳۸۸) به‌منظور پیش‌بینی سطح ایستابی آب‌های زیرزمینی استان فارس از

3- Cohen

4- Pascal et al

5- NG et al

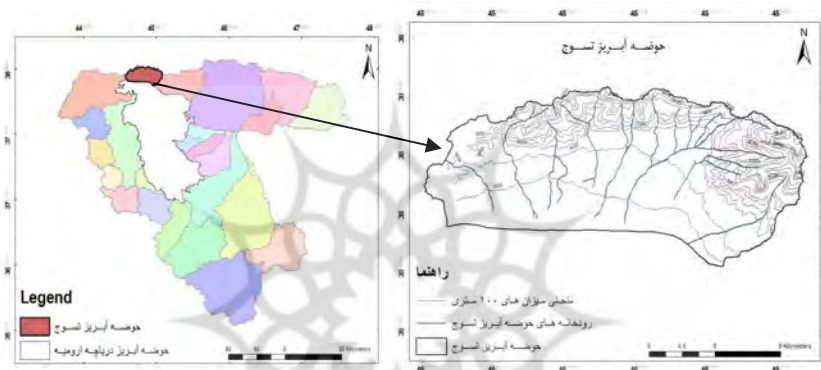
رهیافت باکس-جنکیز استفاده کردند. نتایج تحقیق نشان داد که بهترین مدل در پیش‌بینی مقادیر آینده سطح آب چاه‌های منطقه، مدل $ARMA(4,1,4)$ می‌باشد. دودانگه و همکاران (۱۳۹۱) به منظور تعیین روند پارامترهای اقلیمی در آینده در راستای مدیریت منابع آب از مدل $ARIMA$ استفاده کردند نتایج مطالعه مذکور بیانگر سودمندی مدل سری زمانی در مطالعات منابع آب از طریق پیش‌بینی پارامترهای اقلیمی و تعیین روند آن‌ها در آینده است. پورمحمدی و همکاران (۱۳۹۲) در تحقیقی به مقایسه کارایی روش شبکه عصبی و سری زمانی در پیش‌بینی سطح آب زیرزمینی در زیرحوضه بختگان استان فارس پرداختند. نتایج نشان داد که هر دو تکنیک شبکه عصبی و سری زمانی کارایی و دقت بالایی در پیش‌بینی سطح ایستابی چاه‌های منطقه دارند.

در تحقیق حاضر در نظر است تا اثرات تغییر اقلیم بر نوسانات سطح آب‌های زیرزمینی حوضه آبریز تسوج بررسی گردد چرا که عدم شناخت صحیح و بهره‌برداری بی‌رویه از این منابع خسارت جبران‌ناپذیری را به دنبال خواهد داشت. بدین منظور برای جلوگیری از ایجاد بحران آب در حوضه تسوج لازم است پیش‌بینی دقیقی از نوسانات سطح آب زیرزمینی انجام شود. با پیش‌بینی دقیق نوسانات سطح آب زیرزمینی می‌توان از آن در تعیین میزان حساسیت و آسیب‌پذیری آبخوان در برابر تغییر اقلیم، برنامه‌ریزی تأمین آب قابل اعتماد و نیز در مدیریت منابع آب استفاده نمود.

منطقه مورد مطالعه

حوضه آبریز تسوج در استان آذربایجان شرقی و در شمال دریاچه ارومیه قرار دارد. این محدوده مطالعاتی از شمال به محدوده مرنند و از غرب به محدوده سلماس و از شرق به محدوده شبستر-صوفیان محدود می‌گردد. از نظر موقعیت جغرافیایی بین ۴۵ درجه و ۲ دقیقه تا ۴۵ درجه و ۳۲ دقیقه طول شرقی و ۳۸ درجه و ۱۱ دقیقه الی ۳۸ درجه و ۲۵ دقیقه عرض شمالی قرار گرفته است. محدوده تسوج یکی از حوضه‌های آبریز دریاچه ارومیه به شمار می‌رود که منطقه‌ای کوهپایه‌ای بوده از طرف شمال در ادامه کوه‌های میشو به کوه‌های قاطر اوچان متصل بوده و از طرف جنوب هم به دریاچه ارومیه می‌رسد (کوهپایه‌ای

– ساحلی). بلندترین نقطه در محدوده مطالعاتی تسوج بر پایه نقشه توپوگرافی، کوه علمدار به ارتفاع ۳۱۱۳ متر، و پست‌ترین نقطه ۱۲۷۸ متر در نزدیکی‌های ساحل دریاچه و روستای شیخ‌ولی است (سازمان آب منطقه‌ای استان آذربایجان شرقی، ۱۳۸۹: ۱۶). ضخامت آبرفت‌های حوضه تسوج در دامنه‌ها و کنار بیرون‌زدگی‌ها کم است که به تدریج به سمت بخش میانی افزایش می‌یابد. شکل (۱) موقعیت منطقه مورد مطالعه را نشان می‌دهد.



شکل (۱) نقشه منطقه مورد مطالعه

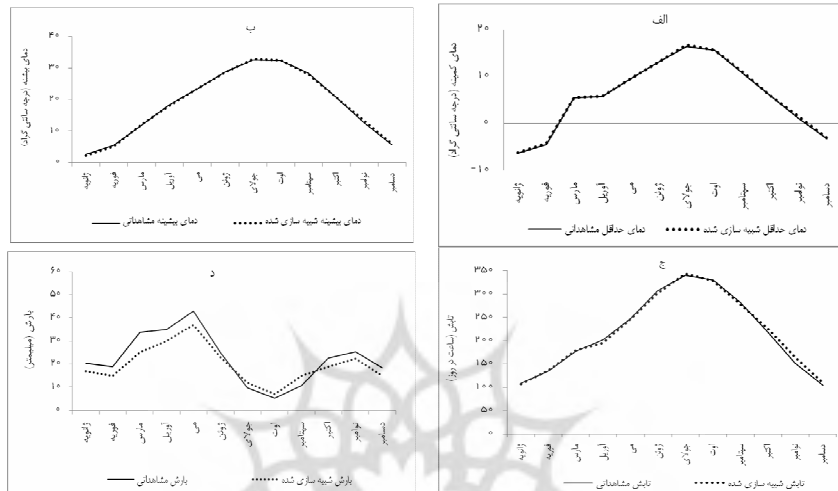
مواد و روش‌ها

در حوضه آبریز تسوج ایستگاه سینوپتیک با طول دوره آماری بلندمدت وجود ندارد لذا برای بررسی تغییر پارامترهای اقلیمی در این حوضه از داده‌های ایستگاه سینوپتیک خوی و تبخیر سنجی چرچر و شرفخانه (۲۰۱۲-۱۹۸۵) به دلیل نزدیک بودن به منطقه مورد مطالعه و طولانی بودن طول دوره آماری استفاده شد. قبل از اجرای مدل، نرمال بودن و همگنی داده‌ها مورد بررسی قرار گرفت. برای همگنی داده‌ها از آزمون RUN-TEST استفاده شده که تصادفی بودن آن‌ها در سطح ۹۵ درصد قابل قبول بود. داده‌های مورد استفاده در این مقاله شامل دمای کمینه، بیشینه، بارش و تابش به صورت روزانه و داده‌های سناریوهای B1، A1B و A2 مدل گردش عمومی جو HADCM3 می‌باشد. برای ارزیابی تغییرات اقلیمی در حوضه آبریز تسوج از روش ریزمقیاس نمایی آماری و مدل تولید داده LARS-WG استفاده گردید. این مدل برای تولید مقادیر روزانه بارش، دمای کمینه، دمای بیشینه و تابش

یا ساعت آفتابی در یک ایستگاه، تحت شرایط اقلیم پایه و آینده به کار می‌رود. لازم به ذکر است که مدل HADCM3 از مدل‌های معتبر برای مدل‌سازی تغییرات جوی می‌باشد. مطابق مطالعات معتبر این مدل رفتار نرمال و مناسبی برای برآورد تغییر اقلیم ارائه می‌دهد و از حالت افراط و تفریط به دور است. برای اثبات این ادعا می‌توان به مراجع مختلف از جمله به مطالعه Jackson & Sen (2009) مراجعه کرد. به منظور کالیبره کردن و اطمینان از صحت مدل، ابتدا یک سناریوی حالت پایه برای دوره آماری ۲۰۱۲-۱۹۸۵ تدوین و مدل برای این دوره اجرا گردید، سپس خروجی‌های مدل با داده‌های دیدبانی شده مقایسه گردیدند. ارزیابی مدل LARS-WG از طریق مقایسه داده‌های دوره آماری و تولید شده توسط مدل با استفاده از آزمون‌های آماری و نمودارهای مقایسه‌ای انجام شد. با تحلیل نتایج به دست آمده از آزمون‌های آماری (نظیر آزمون دو نمونه‌ای T زوجی) برای حوضه آبریز تسوج ملاحظه گردید که اختلاف معنی‌داری بین مقادیر مدل‌سازی شده و مقادیر واقعی آن‌ها با خطای بحرانی ۰/۰۵ وجود ندارد. همچنین مقادیر همبستگی پیرسن بین داده‌های مدل‌سازی شده و واقعی در سطح معناداری ۰/۰۱ قابل قبول می‌باشند. شکل (۲) نتایج ارزیابی داده‌های شبیه‌سازی شده توسط مدل و داده‌های واقعی را نشان می‌دهد که نشانگر انطباق مقادیر شبیه‌سازی شده توسط مدل و مقادیر مشاهده شده دوره پایه و توانمندی LARS-WG در مدل‌سازی اقلیم دوره پایه حوضه آبریز تسوج بر اساس سناریوی حالت پایه می‌باشد. لذا با توجه به این موارد، قابلیت و توانایی مدل در داده‌سازی مورد تأیید قرار گرفته و پس آن شبیه‌سازی داده‌ها برای دوره آینده صورت گرفت.

به منظور بررسی اثرات تغییر اقلیم بر تراز آب زیرزمینی حوضه آبریز تسوج، آمار ماهانه تراز آب از سازمان آب منطقه‌ای استان آذربایجان شرقی طی سال‌های ۲۰۱۲-۲۰۰۰ اخذ گردید. در سال‌های اخیر استفاده از روش‌های هوش مصنوعی برای پیش‌بینی تراز آب زیرزمینی مورد استقبال فراوان قرار گرفته و نتایج قابل قبولی نیز در برداشته است. در تحقیق حاضر نیز برای پیش‌بینی تراز آب زیرزمینی حوضه آبریز تسوج از روش شبکه عصبی استفاده شد. از بین داده‌های بارش، دما، تراز آب و تخلیه در طی دوره مشاهداتی، ۷۵٪ داده‌ها جهت واسنجی و ۲۵٪ بقیه برای صحت‌سنجی مدل استفاده شده است. بر این اساس ابتدا داده‌ها

مطابق فرمول زیر نرمال گردیده و سپس در شبکه عصبی مورد استفاده قرار گرفت:



شکل (۲) مقایسه مقادیر نتایج حاصل از مدل و دیده‌بانی شده برای دماهای کمینه (الف)، بیشینه (ب)، تابش (ج) و بارش (د) در حوضه آبریز تسوج (۲۰۱۲-۱۹۸۵)

$$X_{normal} = \frac{X - X_{min}}{X_{max} - X_{min}} \quad (1)$$

X: داده هر ماه، X_{min} : حداقل داده در آن ماه طی دوره آماری، X_{max} : حداکثر داده در آن ماه طی دوره آماری. در این مطالعه جهت پیش‌بینی تراز آب زیرزمینی، پنج مدل مختلف در شبکه عصبی مورد ارزیابی قرار گرفت که مشخصات آن‌ها در جدول (۱) ارائه شده است.

جدول (۱) مدل‌های مختلف شبکه عصبی مصنوعی بررسی شده در تحقیق

شماره مدل	ساختار مدل
۱	$R(t) = f(p(t), T_{mean}(t))$
۲	$R(t) = f(p(t), T_{max}(t), T_{min}(t))$
۳	$R(t) = f(p(t), p(t-1), d(t))$
۴	$R(t) = f(p(t), p(t-1), T_{max}(t), T_{max}(t-1))$
۵	$R(t) = f(p(t), p(t-1), T_{mean}(t), T_{mean}(t-1), D(t), D(t-1))$

در جدول (۱)، R تراز آب، P بارش، T_{mean} دمای میانگین و d میزان تخلیه می‌باشد. هم‌چنین در روابط فوق t نشان‌دهنده زمان فعلی و t-1 نشان‌دهنده زمان قبلی می‌باشد. بر اساس پنج مدل مورد استفاده در شبکه عصبی مصنوعی، از شبکه پیشرو-انتشار برگشتی که توسط الگوریتم لونیگ-مارگارت (LM) آموزش دیده شده است، جهت تخمین تراز آب زیرزمینی استفاده شد. تابع محرک از نوع tansig بوده و مدل از ۳ لایه ورودی، میانی و خروجی تشکیل شده است. جهت انجام مدل‌سازی با استفاده از شبکه عصبی از جعبه ابزار تعبیه شده در نرم‌افزار MATLAB استفاده شده است. جهت بررسی صحت نتایج پیش‌بینی که در واقع بیان‌کننده اختلاف بین داده‌های مشاهداتی و محاسباتی می‌باشد، از معیارهای مختلفی استفاده می‌شود که در تحقیق حاضر از روش‌های آماری استفاده شد. از پرکاربردترین این معیارها ضریب همبستگی (CC) و جذر میانگین مربعات خطا (RMSE) می‌باشد. از بین مدل‌های ذکر شده در جدول (۱)، مدلی که از نظر معیار نکویی برآزش، نتایج بهتر و خطای کم‌تری داشته باشد، انتخاب گردید که نتایج آن در جدول (۲) آورده شده است.

$$CC = \frac{\sum_{i=1}^n [(X_{oi} - \bar{X}_o)(X_{ci} - \bar{X}_c)]}{[\sum_{i=1}^n (X_{oi} - \bar{X}_o)^2 \sum_{i=1}^n (X_{ci} - \bar{X}_c)^2]^{1/2}}, -1 \leq CC \leq 1 \quad (2)$$

$$RMSE = \left[\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (X_{oi} - X_{ci})^2 \right]^{1/2} \quad (3)$$

در روابط فوق n تعداد کل داده‌ها، X_{oi} داده‌های مشاهداتی، X_{ci} داده‌های محاسباتی، \bar{X}_o میانگین داده‌های مشاهداتی و \bar{X}_c میانگین داده‌های محاسباتی می‌باشد. مقادیر معیار نکویی برآزش در دو مرحله واسنجی و صحت‌سنجی، برای پنج مدل مورد استفاده در شبکه عصبی در جدول (۲) آورده شده است. از بین مدل‌های مورد بررسی، مدل شماره ۵ با توجه به داشتن کم‌ترین جذر میانگین مربعات خطا و ضریب همبستگی بالا جهت پیش‌بینی تراز آب زیرزمینی در دهه‌های آینده مناسب تشخیص داده شد.

جدول (۲) نتایج پنج مدل در دو مرحله واسنجی و صحت‌سنجی شبکه عصبی مصنوعی

نوع مدل	ساختار شبکه	معیار نیکویی برازش	A2		A1B		B 1	
			واسنجی	صحت سنجی	واسنجی	صحت سنجی	واسنجی	صحت سنجی
مدل ۱	2-5-1	CC	۰/۴۵	۰/۵۰	۰/۳۲	۰/۵۴	۰/۳۹	۰/۴۲
		RMSE	۰/۱۶	۰/۲۶	۰/۲۹	۰/۱۲	۰/۴۱	۰/۲۷
مدل ۲	3-5-1	CC	۰/۷۱	۰/۶۹	۰/۴۱	۰/۶۶	۰/۴۸	۰/۵۹
		RMSE	۰/۱۸	۰/۲۱	۰/۱۹	۰/۱۳	۰/۹	۰/۳۰
مدل ۳	4-5-1	CC	۰/۸۹	۰/۷۵	۰/۷۳	۰/۸۰	۰/۶۹	۰/۷۷
		RMSE	۰/۱۱	۰/۳۳	۰/۱۶	۰/۹	۰/۱۷	۰/۱۹
مدل ۴	6-5-1	CC	۰/۹۲	۰/۹۱	۰/۹۰	۰/۹۴	۰/۸۸	۰/۷۴
		RMSE	۰/۰۸	۰/۱۰	۰/۰۷	۰/۰۶	۰/۱۳	۰/۱۵
مدل ۵	6-5-1	CC	۰/۹۹	۰/۹۷	۰/۹۸	۰/۹۴	۰/۹۶	۰/۹۳
		RMSE	۰/۰۴	۰/۰۲	۰/۰۳۱	۰/۰۴۲	۰/۱	۰/۱۱

جهت بررسی ارتباط بین متغیرهای اقلیمی با تراز آب از ضریب همبستگی پیرسون (r) و به‌منظور بررسی تأخیر زمانی بین بارش با تراز آب زیرزمینی از ضریب همبستگی متقاطع (C_{xy}) استفاده شد که بر اساس روابط ۴ تا ۹ به‌دست می‌آیند. با برقراری همبستگی متقاطع بین تغییرات مقدار بارندگی ماهانه با متوسط تراز آب زیرزمینی می‌توان تأخیر زمانی اثرگذاری بارندگی بر تراز آب زیرزمینی را محاسبه و در نهایت با دانستن زمان اثر بارندگی بر سطح آب زیرزمینی می‌توان تمهیدات مدیریتی مناسبی به‌منظور استفاده از منابع آب زیرزمینی را اتخاذ نمود.

$$r = \frac{n(\sum xy) - (\sum x)(\sum y)}{\sqrt{[n(\sum x^2) - (\sum x)^2][n(\sum y^2) - (\sum y)^2]}} \quad (4)$$

$$C_{xy} = \frac{1}{N} \sum_{t=1}^{N-K} (X_t - \bar{X}) (y_{t+k} - \bar{y}) \quad \text{for } K = 0, 1, 2, \dots \quad (5)$$

$$C_{xy} = \frac{1}{N} \sum_{t=1}^{N+K} (y_t - \bar{y}) (X_{t+k} - \bar{X}) \quad \text{for } K = 0, -1, -2 \quad (6)$$

$$r_{xy}(K) = \frac{C_{xy}(K)}{\sigma_x \sigma_y} \quad (7)$$

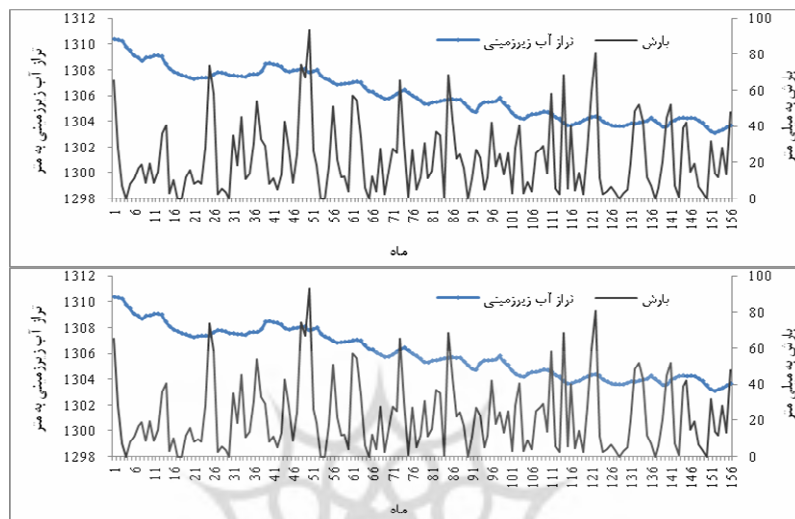
$$\sigma_x = \sqrt{C_{xx}(0)} \quad (8)$$

$$\sigma_y = \sqrt{C_{yy}(0)} \quad (9)$$

$$K \leq N-1$$

یافته‌ها و بحث

بررسی روند تغییرات تراز ماهانه آب زیرزمینی حوضه آبریز تسوج در طی سال‌های ۲۰۱۲-۲۰۰۰ نشان‌دهنده نزولی بودن تراز آب در این حوضه می‌باشد (شکل ۳). طی دوره آماری ۱۵۶ ماهه، پایین‌ترین تراز ماهانه آب زیرزمینی حوضه آبریز تسوج مربوط به نوامبر ماه ۲۰۱۲ (۱۳۰۳/۰۵ متر) و بالاترین تراز آب زیرزمینی مربوط به آوریل ۲۰۰۰ (۱۳۱۰/۳۵ متر) می‌باشد. شیب خط روند ۰/۰۳۹۷-، دامنه تغییرات ۷/۳۱ و انحراف معیار داده‌ها ۱/۸ می‌باشد (جدول ۳).



شکل (۳) تغییرات مقدار بارندگی ماهانه و تغییرات متوسط تراز ماهانه آب زیرزمینی حوضه آبریز تسوج (۲۰۰۰-۲۰۱۲)

جدول (۳) پارامترهای آماری متوسط تراز آب زیرزمینی (متر) ماهانه حوضه آبریز تسوج (۲۰۰۰-۲۰۱۲)

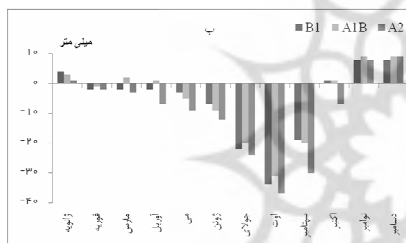
ضریب زاویه خط روند	ضریب تغییرات	انحراف معیار	دامنه تغییرات	حداکثر	حداقل	تعداد داده‌ها
-۰/۰۳۹۷	۰/۱۴	۱/۸	۷/۳۱	۱۳۱۰/۳۶	۱۳۰۳/۰۵	۱۵۶

نتایج حاصل از ریز مقیاس نمایی برای حوضه آبریز تسوج بین سال‌های ۲۰۱۳-۲۰۳۰ با استفاده از مدل گردش عمومی جو HADCM3 تحت سناریوهای A2، A1B و B1 نشان‌دهنده این است که بیشترین افزایش دما و بالاترین درصد کاهش بارش در سناریوی A2 اتفاق خواهد افتاد (شکل ۴ و جدول ۴). در این سناریو در مقیاس ماهانه، بارش در ماه ژانویه ۱ درصد و در ماه‌های نوامبر و دسامبر ۹ درصد افزایشی ولی در سایر ماه‌ها کاهش می‌باشد. بالاترین درصد کاهش بارش متعلق به ماه اوت است که در مقیاسه با نرمال ۳۷ درصد می‌باشد. لازم به ذکر است که کاهش بارش در هر سه سناریو در ماه‌های گرم سال بیش‌تر از ماه‌های سرد سال خواهد بود. همچنین روند دما در تمامی ماه‌ها افزایشی می‌باشد.

از نظر دمایی سناریوی B1 نسبت به دو سناریوی دیگر کمترین افزایش و از لحاظ بارشی سناریوی A1B کمترین کاهش را خواهد داشت.

جدول (۴) تغییرات میانگین سالانه اقلیم در حوضه آبریز تسوج با مدل HADCM3 و سناریوهای A2، B1 و A1B

سناریو	تغییرات دمای حوضه بر حسب درجه سانتی گراد	تغییرات در بارش حوضه (mm(%))
A2	۱/۲	-۶/۷۲ (۲/۳)
A1B	۰/۹۹	-۴/۱۲ (۱/۴۱)
B1	۰/۹۷	-۴/۳۱ (۱/۴۷)



شکل (۴) تغییرات پیش‌بینی شده برای بارش (د) و دما (الف) برای حوضه آبریز تسوج بین سال‌های ۲۰۳۰-۲۰۱۳ نسبت به وضع فعلی با استفاده از مدل HADCM3 و سناریوهای A2، A1B و B1

مقادیر پیش‌بینی شده حاصل از شبکه عصبی نشان داد با فرض ادامه یافتن شرایط موجود بهره‌برداری و روند کنونی الگوی مصرف آب زیرزمینی در دشت، مطابق جدول (۵) در دوره ۲۰۱۳-۲۰۳۰ حداکثر تراز آب در سناریوهای A1B و B1 همانند سال پایه در ماه سپتامبر و حداقل آن در ماه آوریل اتفاق خواهد افتاد. در حالی که برای سناریوی A2 حداقل و حداکثر تراز به ترتیب در ماه‌های اکتبر و می اتفاق خواهد افتاد. حداکثر و حداقل اختلاف ماهانه تراز آب در این سناریو با سال پایه به ترتیب ۴/۶۲ و ۳/۳۶ متر، برای سناریوی B1 به ترتیب ۱/۷۷ و ۱/۱۰ متر و در نهایت برای سناریوی A1B، ۱/۸۰ و ۱/۲۰ متر خواهد بود. با توجه به این اختلافات کمترین تغییرات تراز آب نسبت به سال پایه برای سناریوی B1 اتفاق خواهد افتاد.

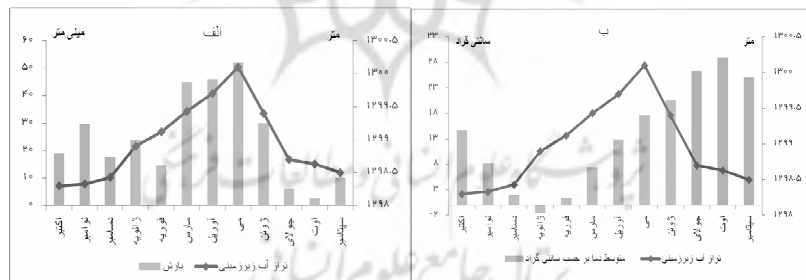
جدول (۵) مقادیر پیش‌بینی شده برای تراز آب با استفاده از شبکه عصبی مصنوعی برای حوضه آبریز تسوج

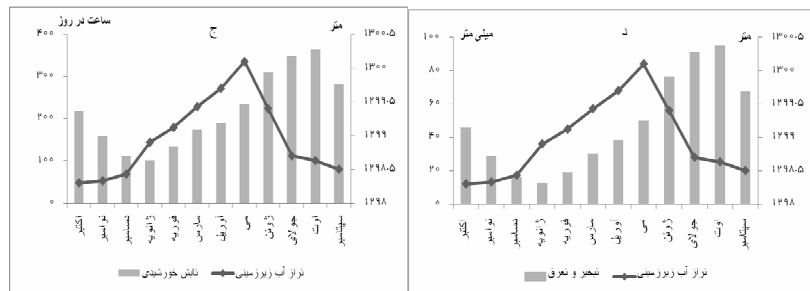
سناریوی A1B	سناریوی B1	سناریوی A2	سال پایه (۲۰۱۲)	ماه‌های میلادی
۱۳۰۱/۶۸	۱۳۰۱/۵۹	۱۲۸۹/۹	۱۳۰۳/۲۹	ژانویه
۱۳۰۱/۷۱	۱۳۰۱/۶۸	۱۲۹۹/۱۲	۱۳۰۳/۳۳	فوریه
۱۳۰۱/۸۲	۱۳۰۱/۷۹	۱۲۹۹/۴۳	۱۳۰۳/۴۴	مارس
۱۳۰۲/۴۵	۱۳۰۲/۳۵	۱۲۹۹/۷	۱۳۰۳/۵۵	آوریل
۱۳۰۲/۲۲	۱۳۰۲	۱۳۰۰/۱	۱۳۰۳/۴۶	می
۱۳۰۱/۸۶	۱۳۰۱/۸۲	۱۲۹۹/۴	۱۳۰۳/۲۵	ژوئن
۱۳۰۱/۷۵	۱۳۰۱/۶۶	۱۲۹۸/۷	۱۳۰۲/۹۲	ژوئیه
۱۳۰۱/۵	۱۳۰۱/۴۶	۱۲۹۸/۶۳	۱۳۰۲/۸۰	اوت
۱۳۰۱/۱۱	۱۳۰۰/۷۸	۱۲۹۸/۵	۱۳۰۲/۵	سپتامبر
۱۳۰۱/۱۵	۱۳۰۱/۱۲	۱۲۹۸/۳	۱۳۰۲/۸۹	اکتبر
۱۳۰۱/۳۹	۱۳۰۱/۳۱	۱۲۹۸/۴	۱۳۰۲/۹۲	نوامبر
۱۳۰۱/۴۹	۱۳۰۱/۳۹	۱۲۹۸/۶۶	۱۳۰۳/۰۴	دسامبر

بررسی رابطه بین تغییر اقلیم با تراز آب زیرزمینی حوضه آبریز تسوج

با توجه به این که دو سناریوی A1B و B1 تغییرات دمایی و بارشی مشابهی را نشان می‌دهند و نتایج این دو سناریو نیز با اختلاف نه چندان زیادی در تطابق با نتایج با سناریوی A2 می‌باشد. لذا در ادامه کار به بررسی تأثیر تغییر اقلیم بر تراز آب تحت سناریوی A2 پرداخته می‌شود. بالاترین درصد کاهش بارش در سناریوی A2 بین سال‌های ۲۰۲۲-۲۰۱۳ به ماه‌های ژوئیه و اوت تعلق دارد. از ماه اکتبر با ورود جریانات مدیترانه‌ای بارش‌ها در استان شروع می‌شود و تا اواخر فصل بهار به طول می‌انجامد (رضایی بنفشه و همکاران، ۱۳۹۰: ۵۶). با توجه به مدت زمان لازم جهت نفوذ بارش، مطابق شکل (۵) تراز آب با تأخیری ۲ ماهه در واکنش به بارش‌های پاییزه از ماه دسامبر روند صعودی قابل ملاحظه‌ای به خود می‌گیرد. در فصل تابستان به علت استقرا پرفشار جنب حاره بر روی منطقه میزان بارش کاهش و به تبع آن تغذیه آب‌های زیرزمینی در کنار افزایش مصرف افت قابل ملاحظه‌ای می‌کند (شکل ۵، الف). از ماه اکتبر تا ماه می ارتباط بین دما، ساعات آفتابی و تبخیر با تراز

آب زیرزمینی مثبت می‌باشد دلیل این امر عدم افزایش چشمگیر دما همراه با تأثیر مثبت بارش بر تراز آب زیرزمینی می‌باشد. از ماه ژوئن با کاهش چشمگیر بارش و افزایش ساعت آفتابی و در نهایت افزایش دما و تبخیر منحنی تراز آب زیرزمینی روند نزولی به خود می‌گیرد (شکل ۵، الف، ب، ج، د). با توجه به اینکه پاسخ آب زیرزمینی به تغییر آب و هوا همراه با تأخیر زمانی می‌باشد در ادامه کار اقدام به برقراری همبستگی متقاطع جهت محاسبه تأخیر زمانی بین تغییرات دما و بارندگی ماهانه با تراز آب زیرزمینی حوضه آبریز تسوج در طی سال‌های ۲۰۲۲-۲۰۱۳ گردید. نتایج نشان داد که تأخیر زمانی بین بارندگی و تراز آب حدود ۲ ماه از شروع بارش با ضریب همبستگی $0/8$ می‌باشد. این بدان معناست که بارندگی ماهانه در حوضه تسوج حدود ۲ ماه بعد روی متوسط تراز ماهانه آب زیرزمینی اثر می‌گذارد. نمودار تراز آب نیز این تأخیر زمانی دو ماهه را تأیید می‌کند چرا که از ماه اکتبر و با ورود توده هوای مدیترانه به استان که بارش‌ها شروع می‌شود نمودار تراز از ماه دسامبر روند صعودی به خود می‌گیرد و در ماه می به حداکثر تراز خود می‌رسد که این حداکثر نیز در پاسخ به بارش‌های ماه‌های مارس، آوریل اتفاق می‌افتد. تأخیر زمانی بین دما با تراز آب ۱ ماه با ضریب همبستگی $0/93$ می‌باشد.





شکل ۵- ارتباط بین بارش (الف)، متوسط دما (ب)، تابش (ج) و تبخیر و تعرق (د) با تراز آب زیرزمینی حوضه آبریز تسوج بین سال‌های ۲۰۱۳-۲۰۳۰

بررسی همبستگی بین پارامترهای اقلیمی دما، بارش، ساعات آفتابی و تبخیر با پارامتر تراز آب زیرزمینی طی سال‌های ۲۰۱۳-۲۰۳۰ در دو بازه زمانی انجام شده است. بازه زمانی اول از ماه اکتبر تا می و بازه زمانی دوم از ماه ژوئن تا سپتامبر. در بازه زمانی اول به دلیل تداوم بارش، تأثیر ذوب برف‌ها بر تراز آب، عدم افزایش چشمگیر دما و تبخیر، همبستگی بین متغیرهای مورد بررسی با تراز آب، مثبت می‌باشد. بالاترین ضریب همبستگی نیز به متغیر بارش با تراز آب زیرزمینی تعلق دارد. در محدوده زمانی دوم یعنی از اواخر بهار تا اواخر تابستان نقش عنصر بارش به دلیل حاکمیت پرفشار جنب حاره و پایداری هوا، تا حد زیادی کاهش می‌یابد. بنابراین رابطه بین افزایش ساعات آفتابی، دما و در نهایت تبخیر را با تراز آب به خوبی می‌توان مشاهده نمود. مطابق جدول ۶ در بازه زمانی دوم رابطه تراز آب با دما و ساعات آفتابی و تبخیر منفی می‌باشد.

جدول (۶) ضریب همبستگی پیرسن بین متغیرهای اقلیمی با تراز آب زیرزمینی حوضه آبریز تسوج (۲۰۳۰-۲۰۱۳)

بازه زمانی	بارش با تراز آب زیرزمینی	دما با تراز آب زیرزمینی	ساعات آفتابی با تراز آب زیرزمینی	تبخیر با تراز آب زیرزمینی
اکتبر تا می	**/۷۹	*/۵۷	*/۶	*/۵۹
ژوئن تا سپتامبر	۰/۱	-۰/۶۱	-۰/۶	-۰/۵۰

** در سطح ۰/۰۱ و * در سطح ۰/۰۵ معنی‌دار است

نتیجه گیری

در حالی که تغییر اقلیم بر منابع آب سطحی مستقیماً از طریق تغییر در متغیرهای اصلی بلند مدت اقلیم مانند بارش، دما، تبخیر و تعرق تأثیر می‌گذارد. تعیین رابطه بین متغیرهای تغییر اقلیم و آب زیرزمینی پیچیده و مشکل‌تر می‌باشد. در این مطالعه سعی بر آن شد تا ارتباط بین اقلیم و تراز آب زیرزمینی برای دوره ۲۰۳۰-۲۰۱۳ پیش‌بینی شود. برای پیش‌بینی متغیرهای اقلیمی دما، بارش، تبخیر و ساعات آفتابی از مدل HADCM3 و سناریوهای A1B، B1 و A2 و برای پیش‌بینی تراز آب زیرزمینی از شبکه عصبی مصنوعی استفاده شد. نتایج حاصل از ریزمقیاس‌نمایی برای حوضه آبریز تسوج نشان‌دهنده حداکثر افزایش دما به میزان ۱/۲ درجه سانتی‌گراد و حداکثر کاهش بارش به میزان ۶/۷۲ میلی‌متر (۲/۳٪) تحت سناریوی A2 می‌باشد. حداقل کاهش دما در سناریوی B1 و حداقل کاهش بارش در سناریوی A1B اتفاق خواهد افتاد. ضرغامی و همکاران، در بررسی تغییر اقلیم استان آذربایجان شرقی و رضایی بنفشه و همکاران در بررسی روند دما و بارش‌های روزانه حدی در حوضه دریاچه ارومیه به نتایج مشابه این تحقیق دست یافته‌اند. به دلیل کاهش بارش و افزایش دمای بالاتر در سناریوی A2 نسبت به دو سناریوی دیگر، بیش‌ترین افت تراز آب زیرزمینی در این سناریو اتفاق خواهد افتاد. نتایج حاصل از همبستگی متقاطع بین بارندگی و سطح آب زیرزمینی در تأخیرهای مختلف نشان داد که بیشترین همبستگی در تأخیر ۲ ماهه رخ می‌دهد یعنی اثرات بارندگی ۲ ماه بعد در سطح آب زیرزمینی نمود پیدا می‌کند. همچنین بالاترین ضریب همبستگی پیرسون نیز به متغیر بارش با تراز آب زیرزمینی تعلق دارد. حبیب‌زاده (۱۳۹۰) در بررسی خشکسالی و اثرات آن در افت آب‌های زیرزمینی منطقه تسوج به نتایج مشابه با این تحقیق دست یافت. همچنین نتایج این تحقیق همسو با یافته‌های سایر پژوهشگران نظیر کرمی (۱۳۹۰) و قلعه‌نی (۱۳۹۰) می‌باشد. در پایان توصیه می‌شود که با انجام شیوه‌های مدیریتی درست و افزایش راندمان سیستم‌های آبیاری از برداشت بی‌رویه آب زیرزمینی حوضه آبریز تسوج جلوگیری شود چون اگر با همین روند سطح آب زیرزمینی در آینده کاهش باید دیری نمی‌گذرد که دیگر بارندگی‌ها نیز نمی‌تواند در این روند رو به کاهش موثر باشد و منطقه دچار بحران عظیمی خواهد شد.

منابع

- پورمحمدی سمانه؛ ملکی‌نژاد، حسین و ربابه پورشرعیانی (۱۳۹۲) «مقایسه کارایی روش شبکه عصبی و سری زمانی در پیش‌بینی سطح آب‌زیرزمینی، مطالعه موردی: زیرحوضه بختگان استان فارس»، *نشریه پژوهش‌های آب و خاک*، جلد بیستم، شماره چهارم، ص ۲۵۱.
- حبیب‌زاده، احد؛ مجیدی، علیرضا و اباذر مصطفایی (۱۳۹۰)، «خشکسالی و اثرات آن در افت آب‌های زیرزمینی، مطالعه موردی: منطقه تسوج در شمال دریاچه ارومیه»، *اولین کنفرانس ملی خشکسالی و تغییر اقلیم*، مرکز تحقیقات کم‌آبی و خشکسالی در کشاورزی و منابع طبیعی کرج.
- دودانگه، اسماعیل؛ عابدی کوپائی، جهانگیر و علیرضا گوهری (۱۳۹۱) «کاربرد مدل سری‌های زمانی به منظور تعیین روند پارامترهای اقلیمی در آینده در راستای مدیریت منابع آب، *مجله علوم و فنون کشاورزی و منابع طبیعی، علوم آب و خاک*، سال شانزدهم، شماره ۵۹، ص ۶۱.
- رحمانی، علیرضا و مرتضی سدهی (۱۳۸۳)، «پیش‌بینی تغییرات سطح آب زیرزمینی دشت همدان-بهار با مدل سری زمانی»، *فصلنامه آب و فاضلاب*، دوره ۱۵، شماره ۵۱، ص ۱۲.
- رضایی‌بنفشه، مجید؛ سرافروزه، فاطمه و طاهره جلالی (۱۳۹۰)، «بررسی روند دما و بارش‌های روزانه حدی در حوضه آبریز دریاچه ارومیه»، *نشریه جغرافیا و برنامه‌ریزی*، سال شانزدهم، شماره ۳۸، ص ۵۶.
- سازمان آب منطقه‌ای استان آذربایجان شرقی (۱۳۸۹) «*مطالعات نیمه تفصیلی آب‌های زیرزمینی دشت‌های تحت پوشش شرکت سهامی آب منطقه‌ای آذربایجان شرقی در محیط GIS*»، ص ۱۶.
- شکیبا، علیرضا؛ میرباقری، بابک و افسانه خیری (۱۳۸۹) «خشکسالی و تأثیر آن بر منابع آب زیرزمینی در شرق استان کرمانشاه با استفاده از شاخص SPI»، *فصلنامه انجمن جغرافیای ایران*، سال هشتم، شماره ۲۵، ص ۱۰۶.
- شمس‌نیا، سیدامیر؛ پیرمردیان، نادر و سیدناصر امیری (۱۳۸۸)، «مدل‌سازی خشکسالی در استان فارس با استفاده از تحلیل سری‌های زمانی»، *نشریه جغرافیا و برنامه‌ریزی*، سال ۱۴، شماره ۲۸، ص ۱۷۶.

- ضرغامی، مهدی و یوسف حسن‌زاده (۱۳۸۹)، «مطالعه تغییر اقلیم و اثرات آن بر خشکسالی استان آذربایجان شرقی»، نخستین کنفرانس ملی پژوهش‌های کاربردی منابع آب ایران، شرکت آب منطقه‌ای کرمانشاه.
- فریدپور، مهدی (۱۳۹۲)، «تحلیل و بررسی تأثیر خشکسالی بر خصوصیات کمی و کیفی آب‌های زیرزمینی دشت مرنده»، پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه تبریز، دانشکده جغرافیا و برنامه‌ریزی، ص ۲۵.
- فرزین، مهدی؛ جباری، مظفر و محمدرضا اکبری (۱۳۸۸)، «نقش خشکسالی‌های اخیر در افت سطح ایستابی آب‌های زیرزمینی استان فارس، مطالعه موردی: شهرستان زرین‌دشت»، همایش ملی مدیریت بحران آب، دانشگاه آزاد اسلامی واحد مرودشت، ص ۳.
- قهرمان، نوذر و ابودر قره‌خانی (۱۳۹۰)، «ارزیابی مدل‌های تصادفی سری زمانی در برآورد تبخیر از تشت (مطالعه موردی: ایستگاه شیراز)»، *مجله پژوهش آب در کشاورزی*، جلد ۲۵، شماره ۶۰، ص ۷۸.
- کرمی، فریبا و مرضیه اسمعیل‌پور (۱۳۹۰)، «بررسی تأثیر تغییر بارش بر روند افت سطح ایستابی آب‌های زیرزمینی، مطالعه موردی: دشت سراب»، *چهارمین کنفرانس مدیریت منابع آب ایران*، دانشگاه صنعتی امیرکبیر.
- محمدی، محسن؛ مرادی، حمیدرضا و مهدی وفاخواه (۱۳۸۷)، «تعیین خشکسالی آب‌های زیرزمینی دشت اراک با استفاده از شاخص SWI و رویکرد GIS»، *سومین کنفرانس مدیریت منابع آب ایران*، دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه تبریز، ۲۳ الی ۲۵ مهر ماه ۱۳۸۷، ص ۵۴.
- Cohen, S.J, (1996), "Impacts of CO2-induced Climatic change on water resources in the Great Lakes Basin", *Climatic Change*, 8, PP. 135-153.
- Chow, VT. & Karelitis, S.J, (1970), "Analysis of stochastic hydrologic systems", *Water Resources Research*, 16: PP. 1569-1582.
- Coulibaly, P., Anctil, F., Aravene, R., Bobbe, B, (2001), "Artificial neural network modeling of water table depth fluctuation", *Water Resources Research*, 37: PP. 885-896.

- Coppola, E., Rana, A.J., Poulton, M., Szidarovszky, F., Uhi, V.W., (2005), "Aneural networks model for predicting aquifer water level elevation", *Ground Water*, 43: PP. 231-241.
- Daliakopoulos, N. I, Coulibaly, P, Tsanis, I, K, (2005), "Ground water level forecasting using artificial neural network", *J. Hydrol.*, 309: PP. 229-240.
- Jakson, C, Sen, M, (2009), "Stochastic representation of parameter uncertainties within model predictions of future climate", *Institute of geophysics*, University of texas at Austin.
- Kite, GV. (1997) "Frequency and risk analysis in hydrology", *Water Resources Publication*, Fort Collins, Colorado.
- NG, G.H.C., McLaughlin, D., Entekhabi, D., Scanlon, B.R., (2012), "Probabilistic analysis of climate change on groundwater recharge", *Journal of Water Resources Research*, 46: PP. 1-18.
- Pascal Goderniaux, Serge Broyere, Stephen Blenkinsop, Aidan Burton, Hayley J. Fowler, Philippe Orban, Alain Dassargues, (2011), "Modeling climate change impacts on groundwater resources using transient stochastic climatic scenarios", *Water Resources Research*, Vol. 47, W 1251.
- Rosenberg, N.J., Epstein, D.J., Wang, D., Vail, L., Srinivasan, R., Arnold, J.G., (1999), "Possible impacts of global warming on the hydrology of the Ogallala Aquifer Region", *Journal of Climatic Change* 42, PP. 677-692.
- Siadat, H. (2000), "Iranian agriculture and salinity", *Soil and Water Research Institute of Iran*, Tehran, Iran: 213-215.
- Vaccaro, J. (1992), "Sensitivity of groundwater recharge estimates to climate variability and change", Columbia Plateau, Washington, *Journal of Geophysical Research*, Vol. 97, No. 3, PP. 2821-2833.
- Wilkinson, W.B., Cooper, D.M. (1993), "The response of idealised aquifer/river systems to climate change", *Hydrol. Sci. J.* 38(5), PP. 379-390.