

## ارزیابی آثار بالقوهی تغییرات اقلیم بر منابع آب زیرزمینی دشت همدان - بهار

شیوا سلطانی<sup>۱</sup>، سید حبیب‌الله موسوی\*<sup>۱</sup>

تاریخ دریافت: ۹۵/۰۱/۲۸ تاریخ پذیرش: ۹۵/۰۳/۳۰

### چکیده

پدیده‌های افزایش دما و کاهش بارندگی به عنوان بخشی از آثار تغییرات اقلیمی، بحرانی است که در سال‌های آتی از طریق تأثیر بر موجودی منابع آب کشور می‌تواند آینده‌ی بخش کشاورزی را تحت الشعاع خود قرار دهد. لذا جهت برنامه‌ریزی بلندمدت در خصوص وضعیت منابع آبی، بایستی شرایط اقلیمی مناطق مختلف مورد بررسی قرار گیرد. با توجه به این رویکرد، در مطالعه‌ی حاضر به ارزیابی آثار تغییرات اقلیم بر منابع آب زیرزمینی و الگوی کشت دشت همدان - بهار پرداخته شد. بدین منظور ابتدا با در نظر گرفتن چاه‌های پیژومتری موجود در سطح دشت به عنوان واحدهای مقطعی و با بهره‌گیری از اطلاعات نزدیک‌ترین ایستگاه هواشناسی به هر مقطع، حساسیت منابع آب زیرزمینی دشت نسبت به دما و بارش با استفاده از مدل داده‌های ترکیبی ارزیابی شد. سپس با استفاده از مدل LARS-WG، میزان تغییرات دما و بارش دشت نسبت به سال ۲۰۱۳ در غالب سناریوهای اقلیمی طی سال‌های ۲۰۲۰، ۲۰۳۰ و ۲۰۴۰ پیش‌بینی شد. در پایان با به‌کارگیری رهیافت برنامه‌ریزی ریاضی و تدوین مدل PMP، شرایط الگوی کشت منطقه شبیه‌سازی شده و آثار تغییرات اقلیم بر منابع آب زیرزمینی و الگوی کشت در سال‌های مذکور مورد بررسی قرار گرفت. نتایج نشان داد که تغییرات اقلیم از طریق کاهش بیلان آب‌های زیرزمینی، دارای آثار منفی بر الگوی کشت منطقه است و در بدبینانه‌ترین پیش‌بینی، کاهش موجودی آب زیرزمینی به میزان ۱۱ درصد و کاهش ارزش افزوده بخش کشاورزی دشت به میزان ۱۱۴ میلیارد ریال را تا سال ۲۰۴۰ در پی خواهد داشت.

طبقه‌بندی JEL: Q54, Q25, C61, C33

واژه‌های کلیدی: تغییرات اقلیم، منابع آب زیرزمینی، ارزش افزوده، دشت همدان - بهار.

۱- به ترتیب کارشناس ارشد و استادیار اقتصاد کشاورزی دانشگاه تربیت مدرس.

\* نویسنده‌ی مسئول مقاله، shamosavi@modares.ac.i

### پیشگفتار

در دو دهه‌ی اخیر و به‌ویژه در سال‌های پایانی قرن بیستم، آب و مدیریت آن به یک دغدغه‌ی بزرگ بین‌المللی تبدیل شده است. آب یک کالای ضروری است که در دهه‌های اخیر به دلایل گوناگون از جمله تغییرات اقلیمی به شدت کمیاب شده و به دلیل غیر قابل‌جانشین بودن، مشکل کمیابی آن هر روز ملموس‌تر می‌شود (فلاحی و همکاران، ۱۳۸۷). تغییر اقلیم به تغییرات بلندمدت در الگوی رفتاری میانگین پارامترهای آب و هوایی یک منطقه، در شرایطی که تغییری در وضعیت عمومی اقلیم منطقه مشاهده نشود، اطلاق می‌گردد (استرن، ۲۰۰۶؛ سیواکومار و همکاران، ۲۰۰۵). تغییر اقلیم و گرمایش جهانی موجب تغییر در الگوهای بارش و در پی آن تغییر در حجم و زمان رواناب‌ها می‌گردد. اما میزان تغییر در پارامترهای مذکور در نقاط مختلف جهان متفاوت خواهد بود (لین و همکاران، ۱۹۹۹). تغییر در میزان بارش و رواناب‌ها موجب شدت یافتن وقایع حدی اقلیمی مانند خشک‌سالی و سیلاب می‌گردد (زارع ابیانه و همکاران، ۱۳۹۱). همچنین با افزایش درجه‌ی حرارت اتمسفر، به دلیل وقوع انبساط حرارتی آب اقیانوس‌ها و ذوب شدن یخچال‌های قطبی، سطح آب دریاها نیز افزایش خواهد یافت که این موضوع علاوه بر از دست رفتن برخی از زمین‌های ساحلی، موجب نفوذ آب شور دریا به سفره‌های آب زیرزمینی و در نتیجه ایجاد مشکلات بسیار در تامین آب شرب و کشاورزی خواهد شد (تقدیسیان و میناپور، ۱۳۸۱). از طرفی با افزایش دما و کاهش بارندگی که منجر به افزایش نیاز آبی گیاهان و همچنین افزایش نرخ تبخیر از سطح دریاچه‌ها و مخازن سدها و لذا تشدید مساله‌ی کمبود آب می‌گردد، میزان استفاده از نهاده‌ی آب در تولیدات کشاورزی و در نتیجه تقاضای آب در بخش کشاورزی نیز دستخوش تغییرات خواهد شد (حسینی و همکاران، ۱۳۹۱؛ موریسون و همکاران، ۲۰۰۲).

در زمینه‌ی برآورد آثار اقتصادی تغییرات اقلیم بر منابع آبی و الگوی کشت، تاکنون مطالعات متعددی صورت گرفته است که از بین آنها می‌توان به مطالعه ماتتا و همکاران (۲۰۰۹) اشاره کرد که با استفاده از تلفیق مدل‌های هیدرولوژیکی و اقتصادی، به ارزیابی آثار اقتصادی تغییرات اقلیمی در برزیل پرداختند. بدین منظور جهت بررسی تغییرات سیستم هیدرولوژیکی حوضه با توجه به فعالیت‌های کشاورزی منطقه، از یک مدل هیدرولوژیکی مبتنی بر فیزیک سه بعدی و جهت ارزیابی اقتصادی تغییرات مذکور از یک مدل برنامه‌ریزی ریاضی اثباتی استفاده نمودند. نتایج این مطالعه نشان داد که آثار تغییر اقلیم بر کشاورزان متفاوت بوده و به عواملی چون میزان دسترسی به منابع آب زیرزمینی و موقعیت قرار گرفتن مزرعه در حوضه‌ی آبریز بستگی دارد. همچنین واکنش کشاورزان در مقابل کاهش بارندگی، اتخاذ روش‌هایی جهت کاهش وابستگی سودآوری کشاورزی نسبت به بارندگی خواهد بود.

مدلین- آروارا و همکاران (۲۰۱۱) به پیش‌بینی آثار اقتصادی تغییرات اقلیم بر کشاورزی کالیفرنیا تا سال ۲۰۵۰ پرداختند. در این مطالعه از مدل SWAP<sup>۱</sup> استفاده شد که یک مدل بهینه‌سازی تولید کشاورزی است و با استفاده از رهیافت برنامه‌ریزی ریاضی اثباتی، کالیبره می‌شود. نتایج این مطالعه نشان داد که با افزایش دما و کاهش بارندگی، تا سال ۲۰۵۰ استفاده از زمین به میزان ۲۰ درصد و عرضه‌ی آب به میزان ۲۰/۷ درصد کاهش خواهد یافت که در نتیجه‌ی تغییرات مذکور، عملکرد اغلب محصولات، کاهش و هزینه‌های تولید افزایش می‌یابد. اما با این وجود، کاهشی به مراتب کمتر در درآمد اتفاق می‌افتد که این موضوع به دلیل انتقال تقاضای محصول، تغییر در تکنولوژی و افزایش قیمت محصولاتی است که نیاز آبی کمتری دارند.

نتایج مطالعه‌ی کرشی و همکاران (۲۰۱۲)، در بررسی آثار تغییرات اقلیم بر بخش کشاورزی استرالیا نیز ناظر بر این واقعیت است که میزان کاهش درآمد ناخالص کشاورزی در سناریوهای مختلف اقلیمی، در سال‌های خشک به بیشترین مقدار خود خواهد رسید.

مساح بوانی و مرید (۱۳۸۴)، آثار تغییرات اقلیمی بر منابع آب و تولید محصولات کشاورزی حوضه‌ی آبریز زاینده‌رود را در دو افق ۲۰۲۰ و ۲۱۰۰ مورد بررسی قرار دادند. نتایج این مطالعه نشان از کاهش بارندگی، افزایش دما و افزایش سال‌های خشک متوالی دارد که در پی این تغییرات، عملکرد محصولات کاهش و ضریب تغییرات سالیانه‌ی تولید محصولات افزایش خواهد یافت. همچنین نتایج به‌دست آمده در خصوص راه‌کارهای تطبیق نشان داد که تغییر در الگوی کشت، ۳۳ تا ۴۸ درصد افزایش در تولید و ۱۰ درصد کاهش در مصرف آب را در پی خواهد داشت.

حسینی و همکاران (۱۳۹۱) نیز به ارزیابی آثار تغییر اقلیم بر بخش کشاورزی حوضه‌ی آبریز زاینده‌رود با تاکید بر نقش به‌کارگیری راهبردهای تطبیق در این بخش پرداختند و بدین منظور از مدل‌های هواشناسی، مدل‌های شبکه‌ی عصبی مصنوعی، توابع واکنش عملکرد محصول- آب و الگوی برنامه‌ریزی ریاضی اثباتی استفاده نمودند. نتایج نشان داد که تغییرات اقلیمی، موجب کاهش منابع آب سطحی حوضه به میزان ۳/۴ و ۸/۱ درصد به ترتیب تا افق ۱۴۲۰ و ۱۴۵۰ خواهد شد. همچنین نتایج الگوی اقتصادی نشان داد که در صورت عدم اتخاذ راهبردهای تطبیقی، تغییرات اقلیم موجب کاهش سود ناخالص بخش کشاورزی حوضه به میزان ۱۸ و ۳۲ درصد به ترتیب تا ۳۰ و ۶۰ سال آینده خواهد شد. اما اتخاذ راهبردهای تطبیقی تغییر الگوی کشت و انتخاب استراتژی مناسب کم‌آبیاری، موجب کاهش پیامدهای منفی تغییر اقلیم بر الگوی کشت می‌گردد.

پدیده‌های افزایش دما و کاهش بارندگی به عنوان بخشی از آثار تغییرات اقلیمی، در سال‌های آتی مهم‌ترین بحران بخش کشاورزی در اکثر دشتهای ایران خواهند بود. به عنوان مثال حوضه‌ی آبریز

---

1 State Wide Agricultural Production Model

همدان - بهار که با وسعت ۲۴۵۹ کیلومتر مربع در دامنه‌ی شمالی ارتفاعات کوه الوند در غرب ایران واقع شده است، شدیداً با این مساله روبروست. در این دشت در حدود ۴۶ هزار هکتار از اراضی موجود به فعالیت‌های کشاورزی اختصاص دارد که در حدود ۲۵ هزار هکتار از آن زیر کشت محصولات زراعی آبی و در حدود ۲۰ هزار هکتار از آن نیز به صورت کشت دیم مورد بهره‌برداری قرار می‌گیرد (زمانی، ۱۳۹۰). بر اساس آمار منتشر شده توسط سازمان هواشناسی استان همدان، در دو دهه‌ی اخیر تغییر شرایط اقلیمی این دشت به صورت افزایش درجه حرارت و کاهش بارندگی بوده است. لذا در صورت تداوم روند فوق، این انتظار وجود دارد که میزان استفاده از نهاده‌ی آب در تولیدات کشاورزی این دشت نیز دچار تغییرات شود. از طرفی در دشت همدان - بهار، رودخانه‌ی دائمی وجود ندارد و آب‌های سطحی نقش محدودی را در تامین آب کشاورزی این منطقه ایفا می‌نمایند و لذا منابع آب زیرزمینی موجود، مهمترین منبع تامین‌کننده‌ی آب مورد نیاز بخش کشاورزی و شرب شهری را در این دشت تشکیل می‌دهند. از سوی دیگر، برداشت بی‌رویه از منابع آب زیرزمینی در بخش کشاورزی باعث منفی شدن بیلان منابع آب زیرزمینی منطقه در طول سال‌های اخیر شده است. بنابراین به نظر می‌رسد که منابع آب زیرزمینی این دشت با خطر نابودی مواجه است که به همین علت از سال ۱۳۷۱ تاکنون دشت همدان - بهار از لحاظ برداشت منابع آب زیرزمینی به عنوان دشت ممنوعه اعلام شده است (بلالی و همکاران، ۲۰۱۱). لذا جهت برنامه‌ریزی بلندمدت در خصوص وضعیت منابع آبی منطقه، بایستی شرایط آب و هوایی دشت مذکور مورد بررسی قرار گیرد تا بدین طریق میزان منابع آب و مصارف کشاورزی مشخص گردیده و با اجرای مدیریت مناسب، راه‌کارهای مقابله با تشدید بحران آب مورد شناسایی و استفاده واقع شوند. با توجه به این رویکرد، در مطالعه‌ی حاضر آثار تغییرات آب و هوایی بر الگوی کشت دشت همدان - بهار مورد بررسی قرار گرفت و میزان تاثیرپذیری منابع آب زیرزمینی دشت نسبت به پارامترهای مذکور به صورت کمی ارزیابی شد.

## روش تحقیق

در این مطالعه به منظور برآورد حساسیت منابع آب زیرزمینی دشت همدان - بهار نسبت به تغییرات اقلیمی، به ارزیابی آثار تغییرات دما و بارش بر منابع آب زیرزمینی این دشت با در نظر گرفتن متغیر سطح آب به عنوان شاخص تغییرات آب زیرزمینی پرداخته شد. در مطالعات گذشته، طیف گسترده‌ای از مدل‌ها شامل مدل‌های رگرسیونی تجربی مبتنی بر داده‌های سری‌زمانی (تانکرسلی و همکاران، ۱۹۹۳)، مدل‌های فیزیکی (فدس و همکاران، ۱۹۸۸) و مدل‌های هوش مصنوعی (آلن و همکاران، ۲۰۰۷)، به منظور پیش‌بینی سطح آب زیرزمینی مورد استفاده قرار گرفته‌اند. مدل‌های

سری زمانی تجربی، به دلیل تغییر رفتار دینامیک سیستم‌های هیدرولوژیک در طول زمان در پیش‌بینی مولفه‌های منابع آب فاقد کارایی لازم هستند (بیرکنس، ۱۹۹۸). همچنین از آنجا که ارتباط بین دما، بارش و سطح آب در یک سفره‌ی آب زیرزمینی احتمالاً غیرخطی است؛ استفاده از مدل‌های فیزیکی در شبیه‌سازی روابط مذکور سودمند نخواهد بود. از سوی دیگر این مدل‌ها نیازمند داده‌های فراوانی هستند که امکان گردآوری آنها به‌ویژه در کشورهای در حال توسعه، مشکل و هزینه‌بر است (نایاک و همکاران، ۲۰۰۶). مدل‌های هوش مصنوعی (شامل مدل‌های شبکه عصبی و منطق فازی) برای مدل‌سازی رفتار دینامیک سیستم‌های غیرخطی مناسب هستند اما در زمینه‌ی شبیه‌سازی شرایط فیزیکی مساله به‌صورت ناکارا عمل می‌نمایند (دالیاکاپولاس و همکاران، ۲۰۰۵). در این میان، مدل‌های رگرسیونی داده‌های ترکیبی به دلیل در نظر گرفتن واحدهای مقطعی در طی زمان، در برآورد روابط بین متغیرهای موثر بر سطح آب زیرزمینی توانمند هستند. در مدل‌های داده‌های ترکیبی بر خلاف مدل‌های سری زمانی که قادر به پیش‌بینی سطح آب زیرزمینی در یک مکان هستند، امکان پیش‌بینی هم‌زمان سطح آب در چندین مکان در طول یک دوره‌ی زمانی میسر می‌گردد (ایزدی و همکاران، ۲۰۱۲). با توجه به این رویکرد، در این مطالعه به پیش‌بینی سطح آب زیرزمینی دشت همدان - بهار در نتیجه‌ی تغییرات دما و بارش با استفاده از داده‌های ترکیبی پرداخته شد. بدین منظور از یک مدل مفهومی آب زیرزمینی به شرح زیر استفاده گردید.

$$H_i = f(P_i, T_{min_i}, T_{max_i}, H_{i-1}) \quad (1)$$

در این رابطه،  $i$  نمایان‌گر گام زمانی،  $H_i$  سطح آب زیرزمینی در سال  $i$  ام،  $P$  مجموع بارندگی سالانه،  $T_{min}$  و  $T_{max}$  به ترتیب حداقل و حداکثر دما در مقیاس سالانه و  $H_{i-1}$  سطح آب زیرزمینی در دوره‌ی گذشته است. متغیر بارندگی، شاخصی از تغذیه‌ی آب زیرزمینی و متغیرهای دمای حداقل و حداکثر به عنوان عامل تبخیر از سطح دشت در مدل لحاظ شد. لازم به ذکر است که متغیرهای مذکور به‌طور گسترده در سایر مقالات کاربرد داشته است (دالیاکاپولاس و همکاران، ۲۰۰۵؛ کاپولا و همکاران، ۲۰۰۳).

به‌منظور برآورد مدل فوق، چاه‌های پیژومتری موجود در حوضه‌ی آبریز دشت همدان - بهار به‌عنوان مقاطع در نظر گرفته شدند. از بین چاه‌های پیژومتری دشت که بالغ بر ۳۰ حلقه بودند، ۲۰ حلقه چاه با آمار بلندمدت ۱۴ ساله انتخاب گردید. در این مرحله برای انتخاب پیژومترها، مواردی مانند کامل بودن داده‌ها، موقعیت مکانی چاه از نظر قرارگیری در مجاورت رودخانه‌ها یا چاه‌های کشاورزی که روی نوسانات سطح آب پیژومترها تاثیرگذار است؛ با بهره‌گیری از تجربیات کارشناسان امر در نظر گرفته شد. بدیهی است که نوسانات سطح آب در پیژومترهای نزدیک به

رودخانه‌ها و یا چاه‌های کشاورزی زیاد است و به همین علت سطح آب در این پیژومترها معرف سطح حقیقی آب نیست (ایزدی و همکاران، ۲۰۱۲).

از آنجا که مطالعه‌ی تمامی پیژومترهای موجود در سطح دشت، مشکل و غیر سودمند است؛ به‌جای بررسی تک تک پیژومترها، می‌توان رفتارهای یکسان را در قالب یک پیژومتر تجزیه و تحلیل نمود. از این رو، پیژومترهای منتخب در سطح دشت، به‌وسیله‌ی فرآیند تحلیل خوشه‌ای، دسته‌بندی و در هر خوشه یک پیژومتر به عنوان نماینده‌ی آن خوشه معرفی شد. در تحلیل خوشه‌ای، گروه‌های تشکیل شده دارای بیشترین شباهت درون‌گروهی و بیشترین تفاوت بین‌گروهی هستند (دیوید، ۱۹۹۷). برای نیل به این هدف از ۴ ویژگی چاه‌های پیژومتری شامل طول و عرض جغرافیایی، ارتفاع و میانگین سطح آب زیرزمینی در دوره‌ی زمانی ۱۳۷۷-۱۳۹۰، به عنوان متغیرهای مناسب جهت خوشه‌بندی استفاده شد. انجام فرآیند تحلیل خوشه‌ای به روش خوشه‌بندی سلسله مراتبی وارد<sup>۱</sup> که یکی از رایج‌ترین روش‌های خوشه‌بندی است، صورت گرفت. در روش وارد، معیار ترکیب شدن مقاطع در یک خوشه و تعیین تعداد اعضای هر خوشه، حداقل شدن مقدار کل مجموع مربعات انحرافات از میانگین خوشه‌ها است که بر اساس رابطه‌ی زیر محاسبه می‌گردد (وارد، ۱۹۶۳).

$$TSSDM = \sum_{k=1}^K \sum_{j=1}^M \sum_{i=1}^{N_k} (y_{ij}^k - \bar{y}_j^k)^2 \quad (2)$$

در این رابطه TSSDM<sup>۲</sup> بیان‌گر مقدار کل مجموع مربعات انحرافات از میانگین خوشه‌ها،  $k$ ،  $j$  و  $i$  به ترتیب بیان‌گر خوشه، ویژگی و پیژومتر،  $K$  تعداد خوشه‌ها،  $M$  تعداد ویژگی‌ها،  $N_k$  تعداد پیژومترهای خوشه‌ی  $k$  ام،  $\bar{y}_j^k$  مقدار میانگین ویژگی  $j$  ام در خوشه‌ی  $k$  ام و  $y_{ij}^k$  مقدار ویژگی  $j$  ام مرتبط با پیژومتر  $i$  ام در خوشه‌ی  $k$  ام است. پس از انجام فرآیند خوشه‌بندی، در هر خوشه یک پیژومتر به عنوان نماینده‌ی خوشه معرفی شد. بدین منظور ابتدا مجموع مربعات انحرافات از میانگین (SSDM) برای تمامی پیژومترهای موجود در داخل هر خوشه محاسبه و پیژومتری که دارای کمتری مجموع انحرافات است به‌عنوان نماینده‌ی خوشه پذیرفته شد. این پیژومترهای نماینده، واحدهای مقطعی را در مدل رگرسیون داده‌های ترکیبی تشکیل می‌دهند. سپس به‌منظور تعیین مقادیر متغیرهای مستقل شامل بارش، دمای حداقل و دمای حداکثر برای هر یک از پیژومترهای نماینده، نزدیک‌ترین ایستگاه هواشناسی به هر پیژومتر با استفاده از سیستم مختصات مکانی و در محیط ArcGIS 10.1 مشخص شد و برای بررسی نوسانات سطح آب در هر پیژومتر، از اطلاعات نزدیک‌ترین ایستگاه هواشناسی استفاده شد. پس از تعیین مقادیر دما و بارش برای هر

1 Ward Clustering Method

2 Total Sum of Squared Deviations from the Mean

یک از پیژومترهای نماینده، مدل مفهومی آب زیرزمینی رابطه‌ی ۱، با در نظر گرفتن پیژومترهای نماینده به عنوان واحدهای مقطعی، در دوره‌ی زمانی ۱۳۷۷-۱۳۹۰ با استفاده از مدل رگرسیون داده‌های ترکیبی برآورد گردید. چگونگی برآورد مدل‌های داده‌های ترکیبی به فروض مدل در خصوص جمله‌ی ثابت، ضرایب شیب و ساختار جملات خطا بستگی دارد. بر این اساس، مدل‌های داده‌های ترکیبی در غالب الگوهای اثرات مشترک، ثابت و تصادفی برآورد می‌گردند. فروض مدل اثرات مشترک مبتنی بر ثبات ضرایب شیب و عرض از مبدا در بین مقاطع و در طول زمان است. اما مدل اثرات ثابت بر فرض تمایز جمله‌ی ثابت در میان مقاطع دلالت دارد. در مدل اثرات تصادفی، جمله‌ی ثابت دارای توزیع تصادفی است و از آنجا که این مدل دچار ناهمسانی واریانس در بین واحدهای مقطعی است، با استفاده از روش GLS<sup>۱</sup> برآورد می‌شود (گرین، ۲۰۰۳). در مطالعه‌ی حاضر به منظور انتخاب بهترین الگو از آزمون‌های تشخیصی چاو<sup>۲</sup>، ضریب لاگرانژ<sup>۳</sup> و هاسمن<sup>۴</sup> استفاده شد. همچنین ایستایی متغیرهای مدل مفهومی آب زیرزمینی رابطه‌ی ۱ با بهره‌گیری از آزمون‌های لوین و لین<sup>۵</sup> (LL)، ایم، پسران و شین<sup>۶</sup> (IPS) و نیز آزمون فیشر<sup>۷</sup> بررسی شد. سپس به منظور تایید رابطه‌ی تعادلی بلندمدت میان متغیرهای مدل مذکور، آزمون‌های هم‌انباشتگی کائو و پدرونی مورد استفاده قرار گرفتند. همچنین از آنجا که در اغلب داده‌های ترکیبی، نقض فرض همسانی واریانس محتمل است، در این مطالعه از آزمون ضریب لاگرانژ به منظور بررسی وجود ناهمسانی واریانس بین گروهی استفاده شد (بالتاجی، ۲۰۰۵). پس از انجام آزمون‌های تشخیصی و برآورد مدل رگرسیون آب زیرزمینی در غالب بهترین الگو، سطح آب زیرزمینی در دوره‌ی ۱۳۷۷-۱۳۹۰ شبیه‌سازی و میزان تاثیرگذاری متغیرهای بارندگی، دمای حداقل و حداکثر بر سطح آب زیرزمینی در دوره‌ی آزمون تعیین گردید.

در ادامه به پیش‌بینی تغییرات دما و بارش در دشت همدان - بهار در سال‌های ۲۰۲۰، ۲۰۳۰ و ۲۰۴۰ پرداخته شد. در این مطالعه با استفاده از مدل LARS-WG به پیش‌بینی مقادیر دما و بارش در سطح ایستگاه سینوپتیک فرودگاه واقع در دشت همدان - بهار، با بهره‌گیری از داده‌های سناریوهای A1B، A2 و B1 در مدل گردش عمومی جو HadCM3 پرداخته شد. در سناریوی A1B عملکرد کشورهای دنیا به صورت همگرا در نظر گرفته می‌شود و فرض بر این است که (۱)

1 Generalized least Squares

2 Chow

3 Breuch-Pagan Lagrange Multiplier

4 Hausman

5 Levin & Lin

6 Im, Pesaran & Shin

7 Fisher

جمعیت جهان تا سال ۲۰۵۰ روندی افزایشی داشته و به میزان ۹ میلیارد نفر خواهد رسید و پس از آن به تدریج کاهش می‌یابد، (۲) رشد اقتصادی با نرخ فزاینده افزایش و فناوری‌های جدید در بین کشورهای دنیا به یک میزان گسترش خواهند یافت. در این سناریو بر استفاده‌ی متعادل از انواع منابع انرژی تاکید شده‌است. در سناریوی  $A_2$  کشورهای دنیا به صورت واگرا و مستقل از هم عمل می‌نمایند، جمعیت دنیا به طور پیوسته افزایش می‌یابد و توسعه‌ی اقتصادی، منطقه محور است. در سناریوی  $B_1$  کشورهای دنیا واگرا و دوست‌دار محیط زیست در نظر گرفته می‌شوند و جمعیت به طور پیوسته افزایش می‌یابد، اما سرعت رشد آن کمتر از سناریوی  $A_2$  است. همچنین تغییرات تکنولوژیکی نسبت به سناریوهای خانواده‌ی  $A$  کمتر و پراکنده‌تر خواهند بود. تولید داده در مدل LARS-WG در سه مرحله کالیبراسیون، ارزیابی و شبیه‌سازی صورت می‌گیرد. به منظور کالیبراسیون و اطمینان از صحت مدل، ابتدا یک سناریوی حالت پایه برای دوره‌ی آزمون ۱۹۷۷-۲۰۰۶ تدوین و مدل برای این دوره اجرا گردید. سپس خروجی‌های مدل که شامل دمای حداقل و حداکثر، بارش، تابش و مقادیر میانگین و انحراف معیار آنها است، با داده‌های مشاهداتی در دوره‌ی پایه مقایسه شد و ارزیابی مدل با بهره‌گیری از آزمون‌های آماری متعدد همچون آزمون  $t$ ، آزمون  $F$  و همچنین مقایسه‌ی نموداری صورت پذیرفت (عباسی و همکاران، ۱۳۸۹). پس از حصول اطمینان از قابلیت مدل LARS-WG در تولید داده‌های مشاهداتی در دوره‌ی پایه، اقدام به شبیه‌سازی داده‌های اقلیمی در سال‌های ۲۰۲۰، ۲۰۳۰ و ۲۰۴۰ گردید. در نهایت با به‌کارگیری رهیافت برنامه‌ریزی ریاضی و تدوین مدل PMP<sup>۱</sup>، شرایط الگوی کشت منطقه شبیه‌سازی شد و آثار تغییرات دما و بارش بر الگوی کشت، با استفاده از نتایج به‌دست آمده در مراحل قبل بررسی شد. به منظور تجزیه و تحلیل اطلاعات از بسته‌ی نرم‌افزاری GAMS و الگوریتم CONOPT3 استفاده شد. بدین منظور در بدو امر جهت حصول نتایج مناسب جهت شبیه‌سازی آثار تغییرات دما و بارش بر الگوی کشت، مدل بسط یافته با استفاده از روش ماکزیمم آنترپوی (ME) کالیبره شد و پس از آن شبیه‌سازی‌های مورد نظر با توجه به کشش‌های محاسباتی در مراحل قبل صورت پذیرفت. آمار و اطلاعات مربوط به ضرایب فنی محصولات و نهاده‌ها در سال زراعی ۱۳۹۱-۱۳۹۲ (معادل با ۲۰۱۲-۲۰۱۳) با استفاده از روش نمونه‌گیری خوشه‌ای و گزینش نمونه‌ای متشکل از ۳۶۰ کشاورز و تکمیل پرسشنامه و همچنین مراجعه به سازمان‌ها و نهادهای مربوطه جمع‌آوری گردید.



## نتایج و بحث

در گام نخست تحقیق، به پیش‌بینی سطح آب زیرزمینی دشت همدان- بهار در نتیجه‌ی تغییر پارامترهای اقلیمی پرداخته شد. بدین منظور ابتدا پیرومترهای منتخب در سطح دشت، به‌وسیله‌ی فرآیند تحلیل خوشه‌ای، دسته‌بندی و در هر خوشه یک پیرومتر به عنوان نماینده‌ی آن خوشه معرفی شد. در نمودار ۱، دندروگرام حاصل از تحلیل سلسله مراتبی مذکور ارائه گردیده است. در این مرحله به منظور تعیین تعداد خوشه‌ها و نیز به دلیل مطالعه‌ی حداکثری سطح دشت، شباهت ۹۹ درصدی درون خوشه‌ای، در نظر گرفته شد. بر این اساس چاه‌های پیرومتری منتخب، در غالب ۷ خوشه دسته‌بندی شدند و در هر خوشه، پیرومتری که دارای کمترین میزان انحرافات نسبت به میانگین خوشه بود، به عنوان نماینده معرفی گردید. به این ترتیب پیرومترهای شماره‌ی ۲، ۵، ۸، ۹، ۱۳، ۱۸ و ۲۰ به عنوان پیرومترهای نماینده، انتخاب و در مدل رگرسیون داده‌های ترکیبی در غالب واحدهای مقطعی مورد مطالعه واقع شدند. سپس با استفاده از GIS، موقعیت مکانی هر یک از پیرومترهای نماینده و نیز ایستگاه‌های هواشناسی موجود در سطح دشت تعیین گردید. پس از تعیین واحدهای مقطعی و مقادیر بارندگی و دمای حداقل و حداکثر موثر بر سطح آب زیرزمینی هر مقطع، به‌منظور برآورد مدل رگرسیون داده‌های ترکیبی ارائه شده در رابطه‌ی ۱، ابتدا ایستایی متغیرهای مدل بررسی شد که نتایج حاصل از این بررسی در جدول ۱ ارائه گردیده است. بر این اساس نتایج حاصل از آزمون‌های ایستایی لوین و لین (L<sub>L</sub>)، آیم، پسران و شین (IPS) و نیز آزمون فیشر در خصوص متغیرهای مدل مفهومی آب نشان داد که کلیه‌ی متغیرها، ایستا هستند. همچنین نتایج حاصل از آزمون‌های کائو و پدرونی که در جدول ۲ ارائه شده است، بیان‌گر این است که فرض صفر این آزمون‌ها مبنی بر عدم وجود هم‌انباشتگی بین متغیرها، رد و وجود یک رابطه‌ی تعادلی بلندمدت بین متغیرها تایید می‌گردد. لذا متغیرهای مذکور دارای قابلیت برآورد در مدل رگرسیون هستند. در مرحله‌ی بعد جهت تشخیص وجود یا عدم وجود ناهمسانی واریانس از آزمون ضریب لاگرانژ (LM) استفاده شد. بر اساس نتایج ارائه شده در جدول ۳ در خصوص آزمون ضرایب لاگرانژ، مقدار آماره‌ی این آزمون با درجه‌ی آزادی ۷، بیشتر از مقدار بحرانی جدول در سطح ۱ درصد است و لذا فرض صفر این آزمون مبنی بر وجود واریانس همسان بین واحدهای مقطعی، رد می‌شود. بنابراین در تخمین مدل جهت رفع واریانس ناهمسانی باید از روش GLS استفاده نمود. در مرحله‌ی بعد، جهت انتخاب الگوی مناسب داده‌های ترکیبی، از آزمون‌های تشخیصی چاو، هاسمن و ضریب لاگرانژ استفاده شد. بر اساس نتایج ارائه شده در جدول ۴، آماره‌ی آزمون چاو در سطح ۰/۰۱ معنی‌دار است و لذا فرض صفر آزمون مبنی بر عدم معنی‌داری اثرات ثابت، رد و الگوی اثرات ثابت در مقایسه با الگوی اثرات مشترک، به عنوان الگوی مناسب پذیرفته

شد. همچنین به دلیل معنی‌داری آماره‌ی آزمون هاسمن، فرض وجود اثرات تصادفی مقطعی، رد و الگوی اثرات ثابت به عنوان مناسب‌ترین الگو جهت برآورد مدل رگرسیون داده‌های ترکیبی انتخاب گردید. لازم به ذکر است که با توجه به انتخاب الگوی اثرات ثابت در آزمون‌های چاو و هاسمن، نتایج آزمون ضریب لاگرانژ در انتخاب الگوی مناسب بی‌تاثیر خواهد بود. لذا، مدل مفهومی آب زیرزمینی معرفی شده در رابطه‌ی ۱، با استفاده از الگوی اثرات ثابت مبتنی بر داده‌های ترکیبی و به شکل لگاریتمی برآورد شد که نتایج حاصل از برآورد مدل لگاریتمی مذکور در جدول ۵ ارائه گردیده است. بر این اساس، تاثیرپذیری سطح آب زیرزمینی دشت همدان - بهار در دوره‌ی ۱۳۹۰-۱۳۷۷ نسبت به بارندگی، مثبت و نسبت به دمای کمینه و دمای بیشینه، منفی بوده است. لازم به ذکر است که در برآورد مدل فوق مقدار آماره‌ی دوربین واتسون برابر ۱/۹، ضریب تعیین ۰/۹۶ و مقدار خطای برآورد برابر ۰/۱۹ به دست آمد که این نتایج حاکی از عملکرد مناسب مدل داده‌های ترکیبی در پیش‌بینی سطح آب زیرزمینی در منطقه مورد مطالعه است.

در مرحله‌ی بعد، پارامترهای اقلیمی دشت همدان - بهار با استفاده از مدل LARS-WG پیش‌بینی شدند. بدین منظور ابتدا مدل برای دوره‌ی آماری ۱۹۷۷-۲۰۰۶ تدوین و اجرا گردید و سپس خروجی‌های مدل که شامل دمای کمینه و بیشینه، بارش و تابش در مقیاس روزانه هستند، با داده‌های مشاهداتی ایستگاه در دوره‌ی آماری مذکور مقایسه شد. تحلیل نتایج حاصل از آزمون‌های آماری (نظیر آزمون دو نمونه‌ای T زوجی) نشان داد که اختلاف معنی‌داری بین مقادیر بازسازی شده و مقادیر واقعی در سطح خطای ۰/۰۵ وجود ندارد. این نتیجه بیان‌گر توانمندی مدل LARS-WG در شبیه‌سازی اقلیم دوره‌ی گذشته‌ی ایستگاه هواشناسی تحت مطالعه است. بر این اساس، در مرحله‌ی بعد به پیش‌بینی پارامترهای اقلیمی ایستگاه مورد مطالعه، در غالب سناریوهای A1B، A2 و B1 در سال‌های ۲۰۲۰، ۲۰۳۰ و ۲۰۴۰ پرداخته شد و سپس درصد تغییرات هر یک از پارامترهای اقلیمی در سال‌های مذکور نسبت به سال ۲۰۱۳ محاسبه گردید. نتایج حاصل از این پیش‌بینی که در جدول ۶ ارائه گردیده است، ناظر بر این واقعیت است که مجموع بارندگی سالانه در دشت همدان - بهار در سال‌های آتی کاهش خواهد یافت که بیشترین میزان کاهش، در سال ۲۰۴۰ و در سناریوی A1B رخ خواهد داد. همچنین دمای متوسط که برابر میانگین دمای کمینه و بیشینه است، در طی ۳۰ سال آینده در منطقه روندی افزایشی خواهد داشت.

در گام آخر به منظور دسترسی به اهداف تحقیق، با توجه به حساسیت منابع آب زیرزمینی دشت نسبت به تغییرات دما و بارش و نیز با در نظر گرفتن میزان تغییرات دما و بارش در سال‌های ۲۰۲۰، ۲۰۳۰ و ۲۰۴۰ نسبت به سال ۲۰۱۳ که معتبرترین اطلاعات مربوط به منطقه‌ی مورد مطالعه، در ارتباط با این سال است و به عنوان سال پایه در نظر گرفته شد، تغییرات موجودی منابع

آب زیرزمینی دشت در سال‌های مزبور نسبت به سال ۲۰۱۳، محاسبه گردید. سپس تغییرات موجودی منابع آب در مدل PMP لحاظ شد و پس از اجرای مدل، میزان تغییر در ارزش افزوده‌ی بخش کشاورزی دشت نسبت به سال ۲۰۱۳ مورد بحث و بررسی قرار گرفت. نتایج حاصل از شبیه‌سازی‌های مذکور در غالب سناریوهای مختلف اقلیمی در جدول ۷ ارائه گردیده است. بر این اساس، در نتیجه‌ی تغییرات دما و بارش، موجودی آب زیرزمینی دشت همدان- بهار تا سال ۲۰۴۰، به‌طور میانگین در سناریوهای اقلیمی، به میزان ۱۰ درصد کاهش خواهد یافت که این موضوع، کاهش ارزش افزوده‌ی بخش کشاورزی منطقه به میزان ۹۴ میلیارد ریال را در پی خواهد داشت. همچنین در بدبینانه‌ترین پیش‌بینی، چنانچه در دشت همدان- بهار در سال‌های ۲۰۲۰، ۲۰۳۰ و ۲۰۴۰، افزایش دما به ترتیب به میزان ۱/۹، ۴/۶ و ۷/۹ درصد و کاهش بارندگی به ترتیب به میزان ۱/۶، ۳/۱ و ۷/۱ درصد رخ دهد، موجودی منابع آب زیرزمینی دشت در سال‌های مزبور به ترتیب به میزان ۳، ۷/۸ و ۱۱/۱ درصد کاهش خواهد یافت که این تغییرات، کاهش ارزش افزوده‌ی بخش کشاورزی دشت به ترتیب به میزان ۲۷، ۶۷ و ۱۱۴ میلیارد ریال را در پی خواهند داشت. همچنین در صورت وقوع شرایط اقلیمی سناریوهای A<sub>2</sub> و B<sub>1</sub>، دشت همدان- بهار تا سال ۲۰۴۰ با کاهش منابع آب زیرزمینی به ترتیب به میزان ۱۰/۲ و ۸/۳ درصد و نیز کاهش ارزش افزوده‌ی بخش کشاورزی به ترتیب به میزان ۹۳ و ۷۶ میلیارد ریال مواجه خواهد شد.

### جمع‌بندی و پیشنهادات

در مطالعه‌ی حاضر، آثار تغییرات اقلیم بر الگوی کشت دشت همدان-بهار با هدف پاسخگویی به این سوالات که آیا وقوع تغییرات مذکور بر منابع آب زیرزمینی و الگوی کشت منطقه تاثیرگذار است یا خیر، مورد بررسی قرار گرفت. بدین منظور با استفاده از تلفیق مدل‌های اقتصادی، هیدرولوژیکی و هواشناسی، به پیش‌بینی آثار تغییرات دما و بارش بر الگوی کشت منطقه در غالب سناریوهای مختلف اقلیمی پرداخته شد. نتایج تحقیق ناظر بر این واقعیت است که منابع آب زیرزمینی دشت دارای تاثیرپذیری منفی نسبت به کاهش بارندگی و افزایش درجه‌ی حرارت هستند و لذا تغییرات اقلیمی دشت در دهه‌های آینده موجب کاهش منابع آب در منطقه خواهند شد. همچنین نتایج حاصل از تحلیل اقتصادی تغییرات مذکور، نشان از کاهش ارزش افزوده‌ی بخش کشاورزی منطقه در سال‌های آتی دارد. در نمودار ۲ چگونگی تغییرات ارزش افزوده‌ی بخش کشاورزی دشت همدان- بهار در نتیجه‌ی کاهش منابع آب زیرزمینی در سناریوهای مختلف اقلیمی ارائه گردیده است. نتایج حاصل در سناریوی A1B نشان داد که اگر سیاست‌های جهانی جایگزین سیاست‌های منطقه‌ای شوند و کشورهای دنیا به‌صورت یکپارچه بر رشد اقتصادی و استفاده‌ی

متعادل از منابع انرژی تمرکز یابند. این موضوع موجب کاهش منابع آب زیرزمینی در دشت مورد مطالعه‌ی این تحقیق به میزان ۱۱/۱ درصد تا سال ۲۰۴۰ خواهد شد که در نتیجه‌ی این تغییر، ارزش افزوده‌ی بخش کشاورزی دشت، به میزان ۱۱۴ میلیارد ریال کاهش خواهد یافت و از مقدار ۵۶۹۴ میلیارد ریال در سال ۲۰۱۳، به مقدار ۵۵۸۰ میلیارد ریال در سال ۲۰۴۰ تنزل می‌یابد. همچنین نتایج حاصل در سناریوی A<sub>2</sub> نشان داد که چنانچه کشورهای دنیا به صورت واگرا و مستقل از هم عمل نمایند و جمعیت دنیا به طور پیوسته افزایش یابد، ارزش افزوده‌ی بخش کشاورزی در دشت همدان - بهار در سال ۲۰۴۰ برابر ۵۶۰۱ میلیارد ریال خواهد بود که این رقم بیانگر کاهش ۹۳ میلیارد ریالی ارزش افزوده نسبت به سال ۲۰۱۳ در نتیجه‌ی کاهش منابع آب زیرزمینی دشت به میزان ۱۰/۲ درصد است. در نهایت بر اساس سناریوی B<sub>1</sub>، هنگامی که کشورهای دنیا در پی دستیابی به پایداری اقتصادی، اجتماعی و زیست‌محیطی باشند و جمعیت جهان به طور پیوسته و با نرخ کمتر از نرخ رشد جمعیت در سناریوی A<sub>2</sub> افزایش یابد؛ عملکرد واگرا و اتخاذ سیاست‌های منطقه‌محور، موجب افت منابع آب زیرزمینی دشت همدان - بهار به میزان ۸/۳ درصد و لذا کاهش ۷۶ میلیارد ریالی ارزش افزوده‌ی بخش کشاورزی منطقه، نسبت به شرایط کنونی خواهند شد. در پایان می‌توان گفت اگر رشد اقتصادی در مقایسه با اهداف زیست‌محیطی در اولویت بالاتری قرار گیرد، اتخاذ سیاست‌های جهان‌محور در مقایسه با سیاست‌های منطقه‌محور موجب وقوع زیان بیشتر در بخش کشاورزی دشت همدان - بهار می‌گردد. اما چنانچه اهداف زیست‌محیطی نسبت به اهداف اقتصادی در اولویت بالاتری قرار گیرند و سیاست‌های زیست‌محیطی با رویکرد منطقه‌ای اتخاذ گردند، بخش کشاورزی دشت مذکور با کمترین میزان زیان مواجه خواهد شد.

با توجه به نتایج تحقیق حاضر مبنی بر کاهش موجودی منابع آب زیرزمینی دشت همدان - بهار در نتیجه‌ی تغییرات اقلیم و همچنین کاهش ارزش افزوده‌ی بخش کشاورزی این دشت در نتیجه‌ی تغییرات مذکور، پیشنهاد می‌گردد که در دهه‌های آینده جهت انطباق و سازگاری با تغییرات اقلیم، روش‌های کم‌آبیاری بهینه در کشت محصولات سیب‌زمینی، گندم و یونجه که در مقایسه با سایر محصولات دشت دارای بیشترین میزان نیاز آبی هستند و بیش از ۸۶ درصد از کل زراعت آبی منطقه را شامل می‌شوند (زمانی، ۱۳۹۰) مورد استفاده قرار گیرند. همچنین توصیه می‌شود که جهت کاهش سطح زیر کشت محصولاتی که دارای بهره‌وری کم در مصرف آب هستند و تغییر در الگوی کشت با هدف بهینه‌سازی منابع و مصارف آب، اقدامات مقتضی اتخاذ گردد.

### فهرست منابع:

۱. تقدیسیان، ح. و میناپور، س. ۱۳۸۲. تغییر آب و هوا، آنچه باید بدانیم. انتشارات مرکز تحقیقات زیست‌محیطی سازمان حفاظت محیط زیست، دفتر طرح ملی تغییرات آب و هوا، تهران.
۲. حسینی، س. ص. نظری، م. ر. و عراقی‌نژاد، ش. ۱۳۹۲. بررسی اثر تغییر اقلیم بر بخش کشاورزی با تأکید بر نقش به‌کارگیری راهبردهای تطبیق در این بخش. مجله‌ی تحقیقات اقتصاد و توسعه‌ی کشاورزی ایران، دوره ۴۴، شماره ۱، صفحات ۱۶-۱.
۳. زارع ابیانه، ح. بیات ورکشی، م. و معروفی، م. ۱۳۹۱. بررسی نوسانات عمق آب زیرزمینی در دشت ملایر. نشریه دانش آب و خاک، جلد ۲۲، شماره ۲، صفحات ۱۹۰-۱۷۳.
۴. زمانی، ا. ۱۳۹۰. بررسی تأثیر سیاست قیمت‌گذاری آب بر بهره‌وری مصرف آن در بخش کشاورزی: مطالعه موردی دشت همدان- بهار. پایان‌نامه کارشناسی ارشد رشته اقتصاد کشاورزی، دانشگاه تربیت مدرس، تهران.
۵. عباسی، ف.، ملبوسی، ش.، بابائیان، آ.، اثمیری، م. و برهانی، ر. ۱۳۸۹. پیش‌بینی تغییرات اقلیمی خراسان جنوبی در دوره‌ی ۲۰۳۹-۲۰۱۰ میلادی با استفاده از ریزمقیاس‌نمایی آماری خروجی مدل ECHO-G. نشریه‌ی آب و خاک، جلد ۲۴، شماره ۲، صفحات ۲۱۸-۲۳۳.
۶. فلاحی، م.، انصاری، ح.، داوری، ک. و صالح‌نیا، ن. ۱۳۸۷. قیمت‌گذاری آب شرب شهری بر اساس الگوی رمزی: مطالعه موردی شهر نیشابور. فصلنامه پژوهش‌های اقتصادی ایران، سال سیزدهم، شماره ۳۸، صفحات ۲۱۷-۲۴۲.
۷. مرید، س.، مساح بوانی، ع. ر. ۱۳۸۴. اثرات تغییر اقلیم بر جریان رودخانه‌ی زاینده‌رود اصفهان. مجله علوم و فنون کشاورزی و منابع طبیعی، سال نهم، شماره ۴، صفحات ۲۷-۱۷.
8. Allen, D. M., Schuurman, N. & Zhang, Q. 2007. Using fuzzy logic for modeling aquifer architecture. *Journal of Geographical System*, 9: 289-310.
9. Balali, H., Khalilian, S., Viaggi, D., Bartolini, F., Ahmadian, M. 2011. Groundwater balance and conservation under different water pricing and agricultural policy scenarios: A case study of the Hamedan-Bahar plain. *Ecological Economics*, 70: 863-872.
10. Baltagi, B. 2005. *Econometric analysis of panel data*; 3rd edition. John Wiley & Sons Press, New York.

11. Bierkens, M. F. P. 1998. Modeling water table fluctuations by means of a stochastic differential equation. *Water Resources Research*, 34(10): 2485-2499.
12. Coppola, J. M., Szidarovszky, F., Poulton, M. & Charles, E. 2003. Artificial neural network approach for predicting transient water levels in a multi layered groundwater system under variable state, pumping and climate conditions. *Journal of Hydrologic Engineering*, 8(6): 348-360.
13. Daliakopoulos, I. N., Coulibaly, P. & Tsanis, I. K. 2005. Groundwater level forecasting using artificial neural network. *Journal of Hydrology*, 309(4): 229-240.
14. David, W. S. 1997. *Cluster analysis: multivariate statistics, concepts, models and applications*; 2nd edition. Missouri State University, Stockburger.
15. Feddes, R. A., Kabat, P., Van Bakel, P. J. T., Bronswijk, J. J. B. & Halbertsma, J. 1988. Modeling soil water dynamics in the unsaturated zone-State of the art. *Journal of Hydrology*, 100: 69-111.
16. Greene, W. H. 2003. *Econometric analysis*; 3rd edition. Prentice Hall, New Jersey.
17. Howitt, R. E., Medellin-Azuara, J., MacEwan, D. J. 2011. Economic impacts of climate-related changes to California agriculture. *Climatic Change*, 109: 387-405.
18. Izady, A., Davary, K., Alizadeh, A., Ghahraman, B., Sadeghi, M. & Moghaddamnia, A. 2012. Application of panel-data modeling to predict groundwater levels in the Neishaboer plain, Iran. *Hydrogeology Journal*, 20: 435-447.
19. Maneta, M., Torres, M. D. O., Wallender, W., Vosti, S., Howitt, R. E., Rodrigues, L., Bassoi, L. & Panday, S. 2009. A spatially distributed hydro economics model to assess the effect of drought on land use, farm profit and agricultural employment. *Water Resources Research*, 45(11): 311-412.
20. Morrison, J., Quick, M. C. & Foreman, M. G. G. 2002. Climate change in the Fraser River watershed: flow and temperature projection. *Journal of Hydrology*, 263: 230-244.
21. Nayak, P., Satyaji Rao, Y. R. & Sudheer, K. P. 2006. Groundwater level forecasting in a shallow aquifer using artificial

- neural network approach. *Water Resources Management*, 2(1): 77-99.
22. Qureshi, M. E., Ahmad, M. U. D., Whitten, S. M. & Kirby, M. 2012. A multi-period positive mathematical programming approach for assessing economic impact of drought in the Murray-Darling Basin, Australia. *Economic Modeling*, 39: 293-304.
23. Sivakumar, M. V. K., Das, H. & Brunini, O. 2005. Impact of present and future climate variability and change agriculture and forestry in the arid and semi-arid topics. *Journal of climate change*, 70: 31-72.
24. Stern, N. 2006. Review on the economics of climate change. HM Treasury, London.
25. Tankersley, C. D., Graham, W. D. & Haltfield, K. 1993. Comparison of uni-variate and transfer function models of groundwater fluctuations. *Water Resources Research*, 29(10): 2517-3533.
26. Ward, J. H. 1963. Hierarchical grouping to optimize an objective function. *Journal of the American Statistical Association*, 58: 236-244.



## پیوست‌ها

## جدول ۱- نتایج آزمون‌های ایستایی متغیرهای مدل مفهومی آب زیرزمینی.

متغیر	آزمون ایستایی	لوین و لین	آیم، پسران و شین	فیشر
سطح آب زیرزمینی		-۵/۹۰ (۰/۰۰)	-۳/۳۵ (۰/۰۰)	۳۶/۶۱ (۰/۰۰)
بارندگی		-۶/۱۱ (۰/۰۰)	-۴/۱۰ (۰/۰۰)	۴۲/۲۸ (۰/۰۰)
دمای حداکثر		-۷/۱۶ (۰/۰۰)	-۵/۹۶ (۰/۰۰)	۵۸/۴۱ (۰/۰۰)
دمای حداقل		-۲/۶۳ (۰/۰۰)	-۱/۵۰ (۰/۰۷)	۲۱/۸۵ (۰/۰۸)
ارتفاع اولیه		-۲/۶۱ (۰/۰۰)	-۱/۶۸ (۰/۰۵)	۲۲/۲۵ (۰/۰۷)

منبع: یافته‌های تحقیق

\*اعداد داخل پرانتز بیانگر سطح معنی‌داری آزمون است.

## جدول ۲- نتایج آزمون‌های هم‌انباشتگی کائو و پدرونی بر مدل مفهومی آب زیرزمینی.

نوع آزمون	نوع آماره	مقدار آماره
کائو	t-Statistic	-۳/۹۰ (۰/۰۰)
پدرونی درون گروهی	Panel v-Statistic	-۱/۶۸ (۰/۰۷)
	Panel rho-Statistic	۱/۸۲ (۰/۰۷)
	Panel PP-Statistic	-۶/۰۲ (۰/۰۰)
	Panel ADF-Statistic	-۴/۸۵ (۰/۰۰)
پدرونی بین گروهی	Group rho-Statistic	۲/۶۵ (۰/۰۹)
	Group PP-Statistic	-۲/۸۹ (۰/۰۰)
	Group ADF-Statistic	-۱/۳۳ (۰/۰۹)

منبع: یافته‌های تحقیق

\*اعداد داخل پرانتز بیانگر سطح معنی‌داری آزمون است.

## جدول ۳- نتایج آزمون ضریب لاگرانژ جهت تشخیص ناهمسانی واریانس.

آزمون	آماره	سطح معنی‌داری	نتیجه
ضریب لاگرانژ	$\chi^2_{(7)} = 94/89$	۰/۰۰	وجود واریانس ناهمسان

منبع: یافته‌های تحقیق



جدول ۴- نتایج آزمون‌های چاو و هاسمن در انتخاب الگوی داده‌های ترکیبی.

آزمون	آماره	سطح معنی‌داری	نتیجه
چاو	$F_{(۱۹,۷۴)} = ۲/۰۴$	۰/۰۱	پذیرش الگوی اثرات ثابت
هاسمن	$\chi^2_{(۴)} = ۱۸/۰۵$	۰/۰۰	پذیرش الگوی اثرات ثابت

منبع: یافته‌های تحقیق

جدول ۵- نتایج حاصل از برآورد مدل لگاریتمی داده‌های ترکیبی با استفاده از الگوی اثرات ثابت.

متغیر	ضریب	آماره‌ی t	سطح معنی‌داری
ضریب ثابت	۰/۹۲	۱/۰۲	۰/۳۱
بارندگی	۰/۱۹	۲/۰۹	۰/۰۴
دمای حداکثر	-۰/۳۷	-۱/۷۰	۰/۰۹
دمای حداقل	-۰/۲۵	-۲/۲۶	۰/۰۳
ارتفاع اولیه	۰/۷۰	۷/۵۶	۰/۰۰

منبع: یافته‌های تحقیق

جدول ۶- پیش‌بینی درصد تغییرات بارش و دمای متوسط

در دشت همدان- بهار در سناریوهای اقلیمی.

سناریو	۲۰۲۰		۲۰۳۰		۲۰۴۰	
	بارندگی	دما	بارندگی	دما	بارندگی	دما
A1B	۱/۹	-۱/۶	۴/۶	-۳/۱	۷/۹	-۷/۱
A2	۲/۶	-۱/۴	۶/۱	-۳/۴	۱۰/۵	-۵/۶
B1	۱/۸	-۱/۳	۴/۵	-۲/۶	۷/۱	-۴/۴

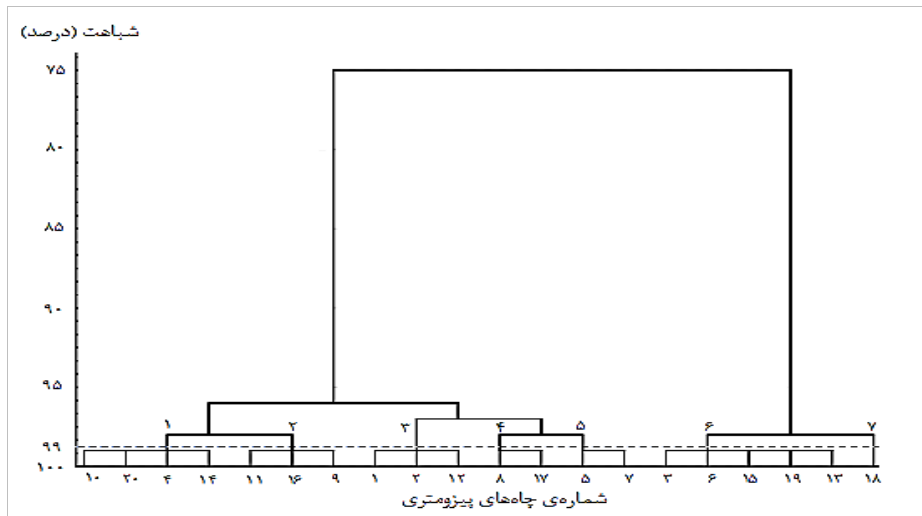
منبع: یافته‌های تحقیق

جدول ۷- پیش‌بینی تغییرات منابع آب زیرزمینی و ارزش افزوده‌ی کشاورزی

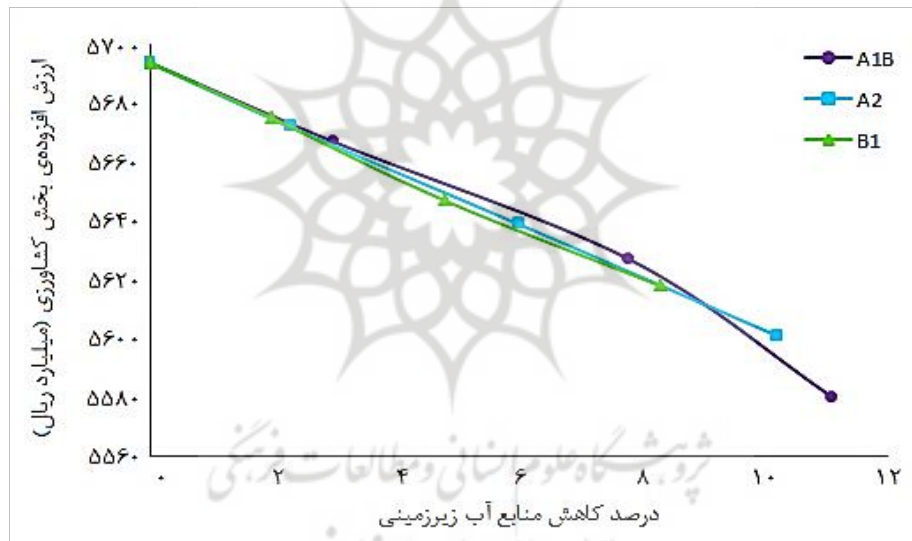
دشت همدان- بهار در سناریوهای اقلیمی.

سناریو	تغییرات منابع آب زیرزمینی (درصد)			تغییرات ارزش افزوده‌ی کشاورزی (میلیارد ریال)		
	۲۰۲۰	۲۰۳۰	۲۰۴۰	۲۰۲۰	۲۰۳۰	۲۰۴۰
A1B	-۳/۰	-۷/۸	-۱۱/۱	-۲۷	-۶۷	-۱۱۴
A2	-۲/۳	-۶/۰	-۱۰/۲	-۲۲	-۵۵	-۹۳
B1	-۲/۰	-۵/۰	-۸/۳	-۱۹	-۴۷	-۷۶

منبع: یافته‌های تحقیق



نمودار ۱- دندروگرام حاصل از خوشه‌بندی چاه‌های پیزومتری دشت همدان - بهار.



نمودار ۲- تغییرات ارزش افزوده‌ی کشاورزی دشت همدان - بهار در نتیجه‌ی کاهش منابع آب زیرزمینی در سناریوهای اقلیمی.