محیط‌شناسی، دورهٔ ٤١، شمارهٔ ٣، پاییز ١٣٩٤، صفحهٔ ٥٦١-٥٤٥

آشکارسازی تغییرات اقلیمی با تحلیل آزمون گرافیکی کندال و شاخص‌های خشکسالی (مطالعهٔ موردی: حاشیهٔ تالاب آق‌گل همدان)

محمودجواد امیری[١]، عبدالرضا کرباسی[٢]، محمود ذوقی[٣]*، مهدیس سادات[٤]

١. استادیار گروه برنامه‌ریزی و مدیریت و آموزش محیط‌زیست، دانشکدهٔ محیط‌زیست، دانشگاه تهران، mjamiri@ut.ac.ir

٢. دانشیار مهندسی محیط‌زیست دانشکدهٔ تحصیلات تکمیلی محیط‌زیست دانشگاه تهران، akarbasi@ut.ac.ir

٣. دانشجوی کارشناسی ارشد گروه برنامه‌ریزی و مدیریت و آموزش محیط‌زیست، دانشکدهٔ محیط‌زیست، دانشگاه تهران،

٤. دانشجوی کارشناسی ارشد گروه برنامه‌ریزی و مدیریت و آموزش محیط‌زیست، دانشکدهٔ محیط‌زیست، دانشگاه تهران، mahdissadat74@ut.ac.ir

تاریخ وصول مقاله: ٩٣/٨/١١ تاریخ پذیرش مقاله: ٩٤/٧/١١

چکیده

بی‌ثباتی در اقلیم تأثیرات منفی چشمگیری بر اکوسیستم‌های خشکی و دریایی می‌گذارد. آثار آن می‌تواند شامل بر هم خوردن تعادل اکوسیستم‌ها، تغییرات هیدرولوژیکی، افزایش استرس‌های دمایی، افزایش سیل، کاهش تغذیهٔ سفره‌های زیرزمینی، کاهش کیفی منابع آب و سایر موارد باشد. شناخت تغییرات اقلیمی می‌تواند با تغییر در رژیم هیدرولوژیکی، افت سطوح آب زیرزمینی، بروز خشکسالی و تغییر در شاخص‌های اقلیمی قابل شناسایی باشد. این مطالعه با استفاده از شاخص‌های خشکسالی (*SPI*، *RAI* و *PNPI*)، تحلیل روند سری زمانی و تعیین جهش‌ها در شاخص دما و بارش منطقهٔ آق‌گل به کمک آزمون گرافیکی کندال در ٣ ایستگاه سینوپتیک منطقه تحلیل شده است. نتایج، وضعیت اقلیمی منطقه را طی ٣٠ سال گذشته ناپایدار توصیف کرده به طوری که خشکسالی در سال‌های ١٩٩٩، ٢٠٠١، ٢٠٠٥ و ٢٠٠٨ تأیید شده است. نتایج تحلیل تصاویر ماهواره‌ای نیز خشک‌شدن تالاب را تأیید می‌کند. روند معنی‌داری در شاخص دما، به صورت تغییرات افزایشی به دست آمد. به طوری که پیگیری روند تغییرات شاخص دمایی، وابستگی شاخص بارش به آن را تأیید می‌کند. بنابراین، خشک‌شدن تالاب آق‌گل را می‌توان با تنش‌های خشکسالی و تغییرات اقلیمی مرتبط دانست، اما سطح تغییرات روی داده علت اصلی وقوع تغییرات رژیم هیدرولوژیکی در حاشیهٔ تالاب آق‌گل نیست.

کلیدواژه

آق‌گل، تغییر اقلیم، تالاب، توسعهٔ پایدار، خشکسالی، رژیم هیدرولوژی.

١. سرآغاز

تغییر اقلیم به تغییرات رفتار اقلیمی یک منطقه در مقایسه با رفتاری که طی یک دورهٔ زمانی بلندمدت در گذشته از آن منطقه ثبت شده یا مورد انتظار است اطلاق می‌شود (Alizadeh, 2010). این پدیده از مهم‌ترین چالش‌ها در توسعهٔ پایدار است که تأثیرات منفی چشمگیری بر اکوسیستم‌های خشکی و دریایی می‌گذارد. در گذشته تغییر اقلیم را ناشی از عوامل طبیعی می‌دانستند، اما در سال‌های اخیر علاوه بر عوامل طبیعی عامل انسانی نیز در کنار سایر عوامل به روند تغییرات اقلیم کمک کرده است (آذرخشی و همکاران، ١٣٩٢). همچنین، فرایندهای مختلفی شامل صنعتی شدن، تغییر کاربری اراضی، مصرف روزافزون

* نویسنده مسئول: Email: zoghi87@ut.ac.ir

سوخت‌های فسیلی و ... نیز سرعت تغییرات را افزایش داده است. بنابراین، اقلیم سیستم پیچیده‌ای است که عمدتاً به دلیل افزایش گازهای گلخانه ای در حال تغییر است. این پدیده به آرامی در حال گسترش به سراسر کرهٔ زمین است و تأثیر آن در منابع آب، کشاورزی و پارامترهای اقلیمی در مقیاس منطقه است و از مهم‌ترین تبعات آن تأثیرگذاری در پدیده‌های حدی جوی و اقلیمی نظیر توفان، سیل، تگرگ، خشکسالی، امواج گرمایی و سرماهای نابهنگام خواهد بود و انتظار می‌رود در دهه‌های آینده این پدیده‌ها روند افزایشی داشته باشند (بابائیان و همکاران، ۱۳۸۸).

به صورت کلی بی ثباتی در اقلیم یک منطقه تحت تأثیر دو گروه عامل قرار دارد. گروه اول، عواملی که سبب تغییرات سالانهٔ اقلیم می شوند که شامل ال‌نینو، لانینا، نائو و گروه دوم، عواملی که روندهای تغییر درازمدت را به وجود می آورند. تغییرات بلندمدت نیز تحت تأثیر دو عامل اصلی یعنی تغییر انرژی ورودی از خورشید و گرمایش جهانی ناشی از تشدیدات گلخانه‌ای قرار دارند (کوچکی و همکاران، ۱۳۸۶). با ادامهٔ این روند، تغییر اقلیم در آینده موجب افزایش تبخیر، خشکی و کسری در بیلان آب در مناطقی مانند شرق مدیترانه خواهد شد (Segal, 1994). این تغییرات سبب بر هم خوردن تعادل شده است که با آثاری شامل تغییرات هیدرولوژیکی، افزایش استرس‌های دمایی به حیات‌وحش، افزایش سیل، رانش زمین، بهمن، افزایش فرسایش خاک، افزایش رواناب و کاهش تغذیهٔ سفره‌های زیرزمینی، کاهش کمّی و کیفی منابع آب، افزایش خطر آتش‌سوزی، بالارفتن فرسایش‌های ساحلی و افزایش آسیب و فشار به گونه‌ها و اکوسیستم‌ها بروز می‌کند (Root, et al., 2003).

پیرامون آشکارسازی تغییرات اقلیم، مطالعهٔ خشکسالی یکی از موضوعاتی است که در سالیان اخیر به آن توجه شده است، زیرا خشکسالی به طور مستقیم جوامع را از طریق تغییرات در فراوانی یا قابلیت دسترسی به مواد غذایی، منابع آب و ذخایر انرژی تحت تأثیر قرار می دهد و آثار مستقیمی بر محیط‌زیست دارد (کریمی، ۱۳۸۰). در این میان دقت در تفاوت مفاهیم خشکی[1] و خشکسالی[2] مهم است و می بایست در تحلیل ها تفاوت میان این دو لحاظ شود. خشکی به ویژگی بی کفایتی بارش در حد لازم برای رشد حیات در منطقه گویند که ذاتی و دائمی‌تر از شرایط اقلیمی است و کمبود رطوبت مهم‌ترین ویژگی آن به شمار می‌رود. این در حالی است که خشکسالی به دوره‌ای گفته می شود که در آن نزولات جوی کمتر از ۷۵ درصد میزان میانگین بلندمدت است یا کاهش غیرمنتظرهٔ بارش در مدتی معین در منطقه ای که لزوماً خشک نیست و ویژگی موقتی هواشناسی یک منطقه است. بنابراین، خشکسالی ویژگی دائمی یک منطقه نیست و در هر رژیم آب و هوایی حتی مناطق مرطوب نیز می تواند اتفاق بیفتد. بارندگی مهم‌ترین عاملی است که در ایجاد، گسترش و دوام خشکسالی سهیم بوده است و پس از آن پارامترهای اقلیمی دیگر مانند تبخیر و تعرق می‌توانند بیانگر رفتار خشکسالی در هر منطقه باشند. افزایش گرمای زمین نیز عامل دیگری است که سبب تشدید خشکسالی ها می‌شود. گرمایش زمین نیز خود در اثر فعالیت‌های صنعتی، کشاورزی و شهری است که به افزایش گازهای گلخانه‌ای و به خصوص دی‌اکسیدکربن جو منجر شده است. به طور کلی خشکسالی پدیده‌ای اقلیمی است که نمی‌توان مانع وقوع آن شد. بنابراین، راه مقابله با آن کاهش و تعدیل آثار و مدیریت آثار سوء این پدیده است (صمدی بروجنی و ابراهیمی، ۱۳۸۹). از طرف دیگر، محققان اعتقاد دارند افزایش طول دورهٔ خشکی با تأثیر بر رطوبت قابل استفادهٔ خاک، رشد و تولید گیاهان زراعی را تحت تأثیر قرار می‌دهد و سبب کاهش عملکرد آن‌ها می‌شود (Wheaton, 1994). پدیدهٔ خشکسالی یکی از فرایندهای محیطی است که سالانه موجب واردآمدن خسارات زیادی به جوامع انسانی می‌شود. این پدیده را می توان معلول یک دورهٔ خشک غیرعادی دانست که به اندازهٔ کافی تداوم داشته است تا در وضعیت هیدرولوژیکی منطقه تعادل ایجاد شود (Morid, et al., 2007).

پدیدهٔ خشکسالی موجب کاهش سریع جریان‌های سطحی، افت مخازن زیرزمینی، فرسایش آبی و بادی خاک، تغییر کیفیت منابع آب و خاک، افزایش بهره برداری از آب‌های زیرزمینی و نشست زمین می‌شود. از این رو، برای کاهش آثار این پدیده و مدیریت خطر آن، ارزیابی خشکسالی و تداوم دوره‌های آن ضروری است (پیری و انصاری، ۱۳۹۲). بنا بر آنچه گفته شد در خصوص عناصر اقلیمی وجود تغییرات فصلی کاملاً مورد انتظار است، تغییراتی که در دوره‌های تناوبی کوتاه و منظم پیش می‌آیند و علاوه بر آن می‌توان به تغییرات دوره‌ای که با دورهٔ نوسان بیشتر از یک سال صورت می‌گیرند، اشاره کرد که عواملی همچون سیکل لکه‌های خورشیدی، ترقص زمین و مانند آن می‌تواند در آن مؤثر باشد (عزیزی و همکاران، ۱۳۸۴). همچنین، در تحلیل مسائل اقلیمی توجه به تحلیل سری‌های زمانی ضروری به نظر می‌رسد. بنابراین، با تحلیل زمانی شاخص دما به‌منزلهٔ مهم‌ترین عنصر اقلیمی می توان نقش و پراکندگی دیگر عوامل مانند بارش را نیز تعیین کرد، زیرا متأثر از دماست و یکی از مؤلفه های اصلی در پهنه‌بندی و طبقه‌بندی اقلیمی محسوب می‌شود. بنابراین، مطالعهٔ آن‌ها دارای اهمیت علمی – کاربردی است (خوشحال دستجردی و رحیمی قویدل، ۱۳۸۷).

طی دههٔ گذشته به نظر می رسد به طور شایان توجهی آثار تغییرات اقلیمی در ادبیات اکولوژی و هیدرولوژی افزایش داشته است. از آنجا که در مقولهٔ تغییرات اقلیم، تالاب ها به‌منزلهٔ بزرگ‌ترین اجزا ناشناخته در نظر گرفته می‌شوند که جاری و پویابودن آن‌ها به زودی شناخته خواهد شد (Paul, et al., 2006) تمرکز مطالعات تغییر اقلیم در این حوزه بیشتر شده است. به طوری که عنوان شده است فشار بر تالاب‌ها به احتمال زیاد به واسطهٔ تغییرات رژیم هیدرولوژیکی به طور مستقیم و آثار تغییرات دمایی و کاربری اراضی به صورت غیرمستقیم وارد می‌آید (Ferrati, et al., 2005). به طور کلی مطالعات نشان می دهند تالاب ها ۶ درصد از پوشش روی زمین را شکل می‌دهند و حاوی ۱۲ درصد از منابع کربن‌اند و نقش مهمی در تغییرات جهانی سیکل کربن دارند (IPCC, 1996). بنابراین، تغییرات اقلیم به‌منزلهٔ تهدیدی بزرگ برای بقای گونه‌ها و یکپارچگی اکوسیستم‌ها در سراسر جهان شناخته شده است (Hulme, 2005). از این رو، در این حوزه مطالعات متنوعی انجام و برخی از آن ها آورده شده است. در مطالعه‌ای در چین از متغیرهای اقلیمی برای بیان تغییر اقلیم استفاده شد که نتایج آن نشان می دهد متوسط بارش، دمای هوا، تبخیر و تعرق، ساعت آفتابی و سرعت باد سالانه در همهٔ ایستگاه های مورد مطالعه کاهش یافته بود. این در حالی است که بارش سالانه و متوسط رطوبت نسبی افزایش کمی داشته است (Jiangping, et al., 2002). تحقیقات فولاند و همکارانش نیز نشان داد متوسط دمای زمین در قرن ۲۰ام حدود ۰/۶ درجهٔ سانتی‌گراد افزایش داشته و در بسیاری از مناطق گرم‌شدن معنی‌دار هوا طی ۵۰ سال اخیر تجربه شده است (Folland, et al., 2001). وینکنت و همکارانش (۲۰۰۵) نیز در بررسی تغییر دماهای حداقل و حداکثر روزانه در امریکای جنوبی نشان دادند که در شاخص هایی بر اساس دمای حداکثر سالانه تغییرات ثابتی وجود ندارد، در حالی که روند معنی‌داری در شاخص‌های حداقل دمای روزانه دیده می‌شود (Modarres and Rodrigues de silva., 2007).

در سال های اخیر محققان داخلی نیز در زمینهٔ تغییرات اقلیم و خشکسالی مطالعات متنوعی داشتند که برخی از آن ها شامل موارد زیر است. در مطالعهٔ بروجردی و کتیرایی (۲۰۰۸) روند تغییرات بارش ایران طی یک دورهٔ ۴۰ ساله بررسی شد. بر حسب نتایج آن‌ها بارش سالانه در ایستگاه‌های واقع در غرب و جنوب‌شرق کشور، روند کاهشی داشته و در بقیهٔ مناطق در بیشتر ایستگاه ها دارای روند افزایشی است (Katiraie Boroujerdy, 2008). کوچکی و همکاران در مطالعه‌ای شاخص‌های هواشناسی ایران در شرایط تغییر اقلیم را بررسی کردند. نتایج آن ها تأیید می‌کند که پدیدهٔ تغییر اقلیم با تأثیر در درجهٔ حرارت

و نزولات، طول دورهٔ خشکسالی را تحت تأثیر قرار خواهد داد که شدت این تأثیر بسته به میزان تغییرات فصلی دو متغیر اصلی تعیین کنندهٔ طول این دورهٔ متفاوت است و طول دورهٔ خشکی در شرایط تغییر اقلیم طولانی تر می شود و به طور کلی مناطق خشک در شرایط افزایش طول دورهٔ خشکی خشک‌تر می‌شوند (کوچکی و همکاران، ۱۳۸۶).

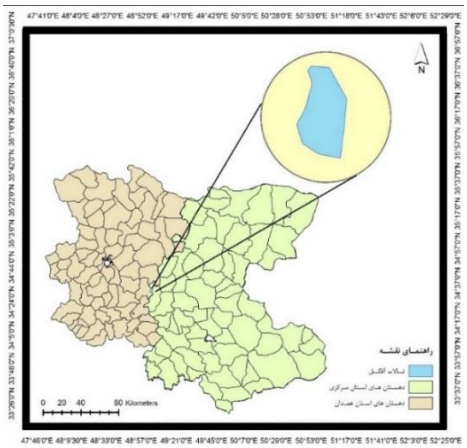
پیری و انصاری (۱۳۹۲) در پژوهشی خشکسالی دشت سیستان و تأثیر آن در تالاب بین‌المللی هامون را بررسی کردند. آن ها شدت خشکسالی دشت سیستان را با کمک ۴ شاخص PN[۳]، SPI[۴]، DPI[۵] و RAI[۶] محاسبه کردند. نتایج آن‌ها نشان داد شاخص PN با ضریب همبستگی ۱ نسبت به شاخص‌های دیگر بهتر توانسته است خشکسالی منطقه را بیان کند (پیری و انصاری، ۱۳۹۲). در مطالعه‌ای دیگر در سال ۱۳۸۴، وفاخواه و رجبی کارایی نمایه های خشکسالی هواشناسی برای پایش و ارزیابی در حوزهٔ آبریز بختگان را محاسبه کردند. آن‌ها در مطالعهٔ خود از شاخص عدد Z، درصد نرمال بارش PN، دهک‌های بارش DPI، ناهنجاری‌های بارش RAI و بارش استاندارد SPI استفاده کردند. نتایج آن‌ها نشان داد نمایه‌های دهک بارندگی و درصد نرمال بارندگی مقارن با سال وقوع کمینهٔ بارندگی، رخداد خشکسالی بسیار شدید و شدید در تمامی ایستگاه های تحت مطالعه را دارند. بر همین اساس، کارایی بیشتری نسبت به سایر نمایه‌ها برای تعیین شدت خشکسالی‌ها دارند (وفاخواه و رجبی، ۱۳۸۴). آذرخشی و همکاران در مطالعه‌ای با روش من-کندال و رگرسیون خطی روند تغییرات سالانهٔ دما و فصلی بارش در ایران را بررسی کردند. نتایج آن‌ها نشان داد ترکیبی از روندهای افزایشی و کاهشی در داده‌های بارش سالانه در قسمت‌های مختلف ایران دیده می شود. همچنین، روند تغییرات بارش در دامنهٔ شمالی البرز و غربی زاگرس منفی است، در بخش‌های مرکزی ایران مثبت و در مناطق شرقی و جنوب‌شرقی منفی و در بخش‌های جنوبی کشور نیز مثبت است (آذرخشی و همکاران، ۱۳۹۲). خوشحال دستجردی و رحیمی قویدل (۱۳۸۷) در بررسی کاربرد آزمون ناپارامتری من -کندال در برآورد تغییرات دمایی اصفهان به این نتیجه رسیدند که روند معنی دار و مثبت تغییرات دماهای میانگین حداکثر اصفهان بیانگر افزایش تدریجی دماهای بیشینه و افزایش گرمای تابستانه در این منطقه است (خوشحال دستجردی و رحیمی قویدل، ۱۳۸۷). همچنین، خشنو و همکاران در مطالعهٔ خود تغییرات اقلیمی جنوب ایران را به کمک پارامتر های دما و بارش و با استفاده از آزمون من-کندال ارزیابی کردند. آن ها با استفاده از این آزمون چگونگی روندها و تغییرات مشخص پارامترهای مذکور را بررسی کردند (خشنو و همکاران، ۱۳۷۸).

به طور کلی، استفاده از شاخص ها آثار خشکسالی را روی میزان توانایی منابع آب نشان می‌دهند (McKee, et al., 1993; Hayes, 2001). از طرف دیگر، امروزه به منظور تحلیل تغییرات اقلیمی به سری های زمانی دمایی توجه خاصی شده است. دما به منزلهٔ مهم ترین عنصر اقلیمی در تعیین نقش و پراکندگی دیگر عناصر اقلیمی نیز مؤثر است و از مؤلفه‌های اصلی در پهنه‌بندی و طبقه‌بندی اقلیمی محسوب می شود و از این رو نوسانات و تغییرپذیری آن دارای اهمیت کاربردی است (خوشحال دستجردی و رحیمی قویدل، ۱۳۸۷). روند دما و بارش در سراسر جهان همسو نبوده است و تغییر اقلیم نیز لزوماً به معنی تغییر همزمان بارش و دما نیست (Clarke, 2003). از سوی دیگر، اثبات وجود روند معنی‌دار در یک سری زمانی بارندگی به تنهایی نمی تواند دلیل قاطعی بر وقوع تغییر اقلیم در یک منطقه باشد، بلکه فرض رخداد آن را تقویت می‌کند (Serrano, et al., 1999). بنابراین، توجه به اهمیت این موضوع و بررسی کمّی و کیفی تغییرات دما و بارش در ایستگاه های تالاب آق‌گل و کشف جهش‌ها و تغییرات با استفاده از روش آماری گرافیکی ضرورتی اجتناب‌ناپذیر است. بنابراین، با توجه به اینکه تکرار و تداوم شدت خشکسالی همگی توابعی‌اند که به طور مشخص به مقیاس

زمانی وابسته‌اند، برای پایش خشکسالی ارائهٔ شاخصی که در آن مقیاس زمانی مدنظر قرار گرفته باشد، از اهمیت خاصی برخوردار است و برای تحلیل و بررسی این پدیده و آثار آن در محیط کاربردهای فراوانی دارد. از این رو، برای پایش خشکسالی و اعلام هشدارهای لازم بر حسب احتمالات وقوع، شاخص‌هایی ارائه شده است (Hayes, et al., 2007). با توجه به اینکه افزایش دمای جهان آثار جبران‌ناپذیری را در پدیده‌های اقلیمی و در رأس آن‌ها الگوی بارندگی و به تبع آن تغییرات منابع آب می گذارد، هدف این تحقیق پیش‌بینی تغییرات پارامترهای مهم اقلیم در منطقهٔ مورد مطالعه، آشکارسازی خشک شدن تالاب و تعیین سال‌های بحرانی و برنامه‌ریزی برای تالاب آق‌گل در شرایط پیش بینی شده برای مدیریت خشکسالی در سالیان آتی است. همچنین، شناخت دوره های خشکسالی می تواند در ارائهٔ بهتر و جامع تر الگوی مدیریتی منطقهٔ مورد مطالعه کمک شایانی کند.

۲. منطقهٔ مورد مطالعه

تالاب طبیعی و فصلی آق گل با قرارگیری در موقعیت جغرافیایی ۳۴ درجه و ۴۹ دقیقهٔ طول شرقی و ۲۹ درجه و ۲ دقیقهٔ عرض شمالی، در حدفاصل استان های مرکزی و همدان به فاصلهٔ ۲۰ کیلومتری شمال‌شرقی ملایر و یک کیلومتری جنوب‌شرقی روستای کردخورد (اسلام‌آباد) در زیرحوضهٔ آبخیز کمیجان قرار دارد (شکل ۱). پوشش گیاهی تالاب شامل نی، لویی، جگن و عدسک‌های آبی است. در مجموع ۴۶ گونه پرندگان آبزی و کنارآبزی از جمله اگرت بزرگ و کوچک، لک‌لک سیاه و سفید، عقاب طلایی، گیلان شاه بزرگ، آبچلیک، پلیکان و غیره در این زیستگاه شناسایی شده است. همچنین، پستانداران حاشیهٔ تالاب اغلب گونه‌های سازگار با مناطق سرد و کوهستانی‌اند که می‌توان از مهم‌ترین آن‌ها به گرگ، کفتار، قوچ و میش اشاره کرد (چراغی و همکاران، ۱۳۸۷).



شکل ۱. موقعیت تالاب آق‌گل در مرز استان مرکزی و همدان

فصول آبگیری تالاب از اواخر آذرماه آغاز می شود و تا اواسط خردادماه هر سال پایان می‌یابد و با میزان بارندگی سالیانه ارتباط مستقیم دارد. به طوری که عمق آب تالاب از ۰ تا ۱ متر متغیر است و وسعت آن در ماه های پرآبی به ۱۵ کیلومتر مربع می‌رسد. با پیشروی آب در قسمت‌های میانی، جزیره هایی به ارتفاع ۶ متر نیز ظاهر می شوند. در نتیجه آن را در گروه تالاب‌های Floodplains با آب شیرین طبقه‌بندی می‌کنند. اصلی‌ترین منبع آبی که در دسترس تالاب آق گل قرار دارد، شامل دو بخش است؛ بخش اول رودخانهٔ شراء یا قره چای که از حدود ۵ کیلومتری غرب تالاب می گذرد و بخش دوم آب حاصل از ریزش های جوی است که در سالیان گذشته ورود آب از رودخانه ها کاملاً قطع شده است و با توجه به دیوارکوبی در حاشیهٔ تالاب آب حاصل از ذوب نزولات جوی نیز نمی تواند راهی به سمت تالاب پیدا کند. بنابراین، تالاب آق‌گل به‌منزلهٔ منطقهٔ شکار ممنوع واقع در استان همدان همچون بسیاری از تالاب های دیگر کشور، در سالیان اخیر تحت فشار برداشت بیش از حد منابع و مجموعهٔ عوامل متعدد طبیعی و مصنوعی قرار گرفته است تا در نهایت در سال های ۱۳۸۷-۱۳۸۸ بروز خشکی در منابع آبی این تالاب اتفاق افتاد. در این تحقیق سعی شده است با بررسی ویژگی ها و تغییرات اقلیمی، هیدرولوژیکی، کاربری اراضی و سایر این عوامل مؤثر ریشه یابی و راهکارهای تأثیرگذار

در کنترل آثار مخرب تغییرات اقلیمی در جهت احیای این تالاب بررسی شود.

۳. روش تحقیق

برای بررسی خشکسالی‌ها و تحلیل‌های اقلیمی از داده‌های ایستگاه‌های سینوپتیک ملایر، همدان- نوژه و همدان- فرودگاه که در منطقهٔ همدان قرار دارند و نزدیک‌ترین ایستگاه‌ها به تالاب آق‌گل هستند طی دورهٔ ۱۹۸۰-۲۰۱۳ استفاده شد. انتخاب ایستگاه‌های یادشده با توجه به اینکه خود تالاب ایستگاه هواشناسی نداشت، بر اساس نزدیکی آن‌ها به رودخانه‌های تأمین‌کنندهٔ آب تالاب (قره‌چای و شراء) صورت گرفت تا بتوان آثار تغییرات شاخص‌های اقلیمی مرتبط با منابع تأمین‌کنندهٔ آب تالاب را پیگیری کرد. پراکنش ایستگاه‌های سه‌گانهٔ انتخابی به گونه‌ای است که محدودهٔ تالاب را کامل تحت پوشش قرار دهد. لذا نتایج تفسیر آن‌ها برای تالاب قابل تعمیم است. مشخصات ایستگاه‌های منطقهٔ مطالعاتی به شرح جدول ۱ است.

بر اساس داده‌های ایستگاه‌های سینوپتیک حاشیهٔ تالاب آق‌گل، ابتدا اجزای آماری داده‌ها شامل میانگین، چولگی، انحراف معیار، کشیدگی، کمینه و بیشینهٔ بارش تجزیه و تحلیل سپس، شاخص‌های خشکسالی شامل SPI، RAI و PNPI[۷] برای تعیین شدت خشکسالی طی سال‌های ذکرشده، استفاده شد. به صورت کلی شاخص‌های خشکسالی برای بیان کمّی پدیدهٔ خشکسالی استفاده می‌شوند. بسیاری از محققان در مطالعات خود تأکید کرده‌اند مناطق واقع در عرض‌های میانی (۱۵ تا ۴۰ درجهٔ شمالی) بر اساس پیش‌بینی‌های اقلیمی آینده با افزایش چشمگیر درجهٔ حرارت و کاهش قابل ملاحظهٔ نزولات مواجه‌اند. شاخص‌های خشکی مناسب‌ترین معیار برای ارزیابی آثار منطقه‌ای تغییر اقلیم در این نواحی خواهند بود (Dinar, et al., 1998; Hammer and Nicholls, 1996; IPCC, 1996). از میان شاخص‌های خشکسالی شاخص SPI برای کمّی‌کردن کمبود بارش در مقیاس‌های زمانی مختلف از یک تا ۴۸ ماهه طراحی شده است (McKee, et al., 1995). شاخص SPI توزیع داده‌های بارندگی را از یک توزیع اریب به یک توزیع نرمال تبدیل می‌کند، از این شاخص معمولاً در دوره‌های زمانی سالانه به‌منزلهٔ یک سیکل متداول هیدرولوژیک استفاده می‌شود (Mckee, et al., 1996).

شاخص ناهنجاری بارش (RAI) را وان‌روی ارائه کرده است. این شاخص، بارندگی ماه یا سال معین را روی مقیاس خطی که از روی سری داده‌ها حاصل می‌شود، ارزیابی می‌کند. مراحل محاسبهٔ این شاخص به صورت زیر است (Van-Rooy, 1965):

۱. محاسبهٔ میانگین درازمدت بارندگی سالیانه (P) در ایستگاه مورد نظر؛

۲. استخراج میانگین ۱۰ مورد از بزرگ‌ترین مقادیر بارندگی اتفاق‌افتاده در دورهٔ مطالعاتی (M)؛

۳. استخراج میانگین ۱۰ مورد از کوچک‌ترین مقادیر بارندگی اتفاق‌افتاده در دورهٔ مطالعاتی (X)؛

۴. مقایسهٔ داده‌های بارندگی سالیانهٔ P با میانگین درازمدت P بار.

جدول ۱. مختصات جغرافیایی ایستگاه‌های هواشناسی محدودهٔ تالاب آق‌گل

ایستگاه سینوپتیک	عرض جغرافیایی	طول جغرافیایی	ارتفاع (متر)
همدان- فرودگاه	N۳۴۵۲	E۴۸۳۲	۱۷۴۱/۵
همدان- نوژه	N۳۵۱۲	E۴۸ ۴۳	۱۶۷۹/۷
ملایر	N۳۴ ۱۵	E۴۸۵۱	۱۷۷۷/۸

اگر $\bar{P}$>P باشد RAI از رابطهٔ $RAI = 3(P - \bar{P})/(M - P)$ و اگر $\bar{P}$>P باشد، RAI از رابطهٔ $RAI = 3(P - \bar{P})/(X - P)$ به دست می‌آید. در حالت اول، ناهنجاری مثبت و در حالت دوم، منفی است. نسبت‌دادن آستانه‌های ۳+ و ۳- به ترتیب به میانگین ۱۰ مورد از بزرگ ترین مقادیر ناهنجاری مثبت و ۱۰ مورد از کوچک ترین مقادیر ناهنجاری‌های منفی در نهایت با مقیاس‌گذاری خطی روی مقادیر حاصل از شاخص ناهنجاری های بارندگی، ۹ طبقه ناهنجاری با دامنه‌ای از ترسالی بسیار شدید تا خشکسالی بسیار شدید تعیین می‌شود. طبقات مختلف این شاخص از طریق جدول ۲ مشخص شده است.

شاخص دیگر نمایهٔ بارش استاندارد (SPI) است که این شاخص از بهترین، جامع‌ترین و در عین حال ساده‌ترین روش مطالعهٔ خشکسالی و ترسالی و خصوصیات آن‌ها محسوب می‌شود. اساس محاسبهٔ این شاخص انحراف از میانگین نسبت به انحراف معیار داده‌های آماری است. معادلهٔ آن به شکل $SPI = \frac{Pi-p}{SD}$ است که در آن P_i بارندگی سال i، SD انحراف معیار بارش طی دورهٔ آماری و p میانگین بارندگی بلندمدت است (محمدی‌مطلق، ۱۳۸۹).

PNPI یا شاخص درصد نرمال بارندگی یکی از شاخص‌های خشکسالی است که استفاده از آن‌ها بین محققان رایج است و محققان زیادی از آن استفاده کرده‌اند. این شاخص از رابطهٔ زیر به دست می‌آید:

$$\mathrm{PNPI} = \frac{Pi}{\bar{P}} \times ۱۰۰$$

که در آن Pi بارندگی سال i و P میانگین بارندگی در سال‌های آماری است. این شاخص همواره مثبت است و از سمت پایین محدوده به صفر و از قسمت بالا از نظر تئوری محدوده‌ای ندارد. تعیین وضعیت خشکسالی بر حسب این شاخص در جدول ۲ آورده شده است (دهقانی و همکاران، ۱۳۹۲).

جدول ۲. طبقه‌بندی وضعیت خشکسالی بر اساس شاخص‌های خشکسالی

طبقات شدت خشکسالی	رتبه	شاخص بارش استانداردشدهٔ **SPI**	شاخص ناهنجاری‌های بارش **RAI**	شاخص درصد نرمال بارندگی **PNPI**
نرمال	۰	۰ تا ۱+	۰/۳- تا ۰/۳+	بیشتر از ۸۰ درصد
خشکسالی ضعیف	۱	۱- تا ۰	۱/۲- تا ۰/۳-	۷۰ تا ۸۰ درصد
خشکسالی متوسط	۲	۱/۵- تا ۱-	۲/۱- تا ۱/۲-	۵۵ تا ۷۰ درصد
خشکسالی شدید	۳	۲- تا ۱/۵-	۳- تا ۲/۱-	۴۰ تا ۵۵ درصد
خشکسالی بسیار شدید	۴	کمتر از ۲-	کمتر از ۳-	کمتر از ۴۰ درصد

برای تشخیص روند در سری های زمانی متغیر های آب و هواشناسی از آزمون‌های مختلفی استفاده می‌شود که این آزمون ها به دو دستهٔ پارامتری و غیر پارامتری تفکیک می‌شوند. سری‌های زمانی مجموعه‌ای از داده‌ها هستند که بر حسب زمان مرتب شده باشند. بنابراین، پارامتر های هواشناسی چون طی زمان برداشت می شوند، می توانند سری زمانی تشکیل دهند. این در حالی است که مطالعات جدید نیز نشان داده است که بسیاری از سری های زمانی هیدرولوژیکی روند و تغییرپذیری بلندمدت داشته‌اند که می‌توانند ناشی از عوامل انسانی یا ویژگی‌های طبیعی آب و هوا در کرهٔ زمین باشند. بنابراین، یکنواختی، صعودی یا نزولی‌بودن پارامترهای اقلیمی می تواند تعیین کنندهٔ روند داده‌ها باشد (بزرگ‌نیا و نیرومند، ۱۳۹۰). مدل‌های سریزمانی جزء مدل‌های رگرسیون سادهٔ کلاسیک و

چندمتغیرهٔ خطی‌اند و همبستگی بین متغیر وابسته (تابع) و متغیرهای مستقل را نشان می‌دهند (عزیزی و همکاران، ۱۳۸۷). بنابراین، تحلیل‌های سری زمانی با توجه به ماهیت داده‌های اقلیمی و احتمال تبعیت آن‌ها از روند، می‌تواند بسیار سودمند باشد. از سوی دیگر، آزمون‌های پارامتری نسبت به غیرپارامتری توان بیشتری در تشخیص روند دارند و هنگام استفاده از آن‌ها، بایستی داده‌ها تصادفی (مستقل) و دارای توزیع نرمال باشند. از طرف دیگر، آزمون‌های غیرپارامتری در صورت تصادفی‌بودن داده‌ها قابل استفاده‌اند و به نرمال‌بودن حساس نیستند (Chen, et al., 2007; Hamed and Rao, 1998; Yue, et al., 2002; Dhorde and Gadgil, 2005; Rodriguesde Silva, 2004; Qian and Lin, 2004). آزمون من-کندال نمونه‌ای از آزمون‌های غیرپارامتری است که در بررسی روند متغیرهای آب و هواشناسی از آن‌ها استفاده می‌شود. همچنین، برای بررسی انحراف احتمالی نوع تغییر (کاهشی یا افزایشی) و زمان تغییر در سری های اقلیمی دما و بارش کاربرد دارد. این آزمون به توزیع فراوانی نرمال یا خطی بودن رفتار داده‌ها نیاز ندارد و در برابر مقادیر داده‌هایی که چولگی و کشیدگی زیاد (مانند داده‌های بارش) و داده‌هایی که از رفتار خطی انحراف چشمگیری دارند، بسیار قوی است و به منظور ارزیابی روند به کار می‌روند (حجازی‌زاده و پروین، ۱۳۸۸). این روش، یکی از روش‌های آماری است که اقلیم‌شناسان معاصر برای تعیین روند از آن استفاده می‌کنند (Tomozeiu, et al., 2006; Domoroes, 2005). از آنجا که این آزمون در جهت بررسی تغییرات روند به کار می‌رود، در این مطالعه برای نشان‌دادن روند تغییرات و محاسبهٔ سری‌های زمانی در پارامترهای اقلیمی از این روش استفاده شد. در آزمون من-کندال، هر مقدار در سری زمانی، پیوسته و پشت سر هم با بقیهٔ مقادیر سری مقایسه می‌شود.

برای این کار ابتدا داده های آماری، به ترتیب سال در یک ستون قرار و در ستون دوم داده‌ها شمارهٔ ردیف می گیرند. سپس، در ستون سوم مقادیر پارامتر مورد نظر نوشته و در ستون چهارم مقادیر عددی ستون سوم به ترتیب صعودی تنظیم می‌شوند. برای تکمیل جدول مورد نظر به محاسبهٔ ضرب t آزمون کندال نیاز است که از رابطهٔ زیر به دست می‌آید (Sueyers, 1990). $ti = \sum_{i=1}^{n} \mathrm{ni}$ که تابع آن در شرایطی که فرض صفر حاکم باشد، از لحاظ مجانبی با میانگین و واریانس برابر است. $E(t_i) = \frac{n(n-1)}{4}$ و $Var(t_i) = \frac{n(n-1)(2n+5)}{18}$ واریانس آن نیز برابر با است.

در این آزمون وجود روند در شکل دوطرفهٔ آن صحیح است و از این رو فرض صفر برای مقادیر بالای $|u(t_i)|$ رد و $u(t_i)$ از رابطهٔ زیر محاسبه می‌شود:

$u(t_i)$ زمانی $U(ti) = [ti - E(ti)] / \sqrt{Var(ti)}$ معنی‌دار است که روند افزایش یا کاهش در آن مشاهده شود. مسئلهٔ ذکرشده به این بستگی دارد که مقدار آن بزرگ‌تر از صفر یا کوچک تر از صفر باشد. برای تعیین زمان وقوع تغییر لازم است علاوه بر $u(t_i)$ مؤلفهٔ $u(t'_i)$ نیز از رابطهٔ زیر محاسبه شود: $t'i = \sum_{i=1}^{n} \mathrm{ni}$.

دیگر مؤلفهٔ مورد نیاز مقدار u' است که معادل عکس u است: $ui' = -u(t'_i)$.

پس از محاسبات و ترسیم گراف های مربوطه روند سری‌ها مشخص می‌شود و زمانی که روند معنی‌داری در داده ها وجود داشته باشد خطوط ui و u'_i همدیگر را قطع می‌کنند. اگر خطوط مذکور داخل محدودهٔ بحرانی (± 1.96) همدیگر را قطع کنند نشانهٔ زمان آغاز تغییر ناگهانی و در صورتی که در خارج از محدودهٔ بحرانی همدیگر را قطع کنند بیانگر وجود روند در سری های زمانی است (Sueyers, 1990؛ عزیزی و روشنی، ۱۳۸۷).

زمانی که مقادیر u معنی دار است روند افزایشی یا کاهشی در آن مشاهده می شود و این امر به کوچک‌بودن یا بزرگ‌بودن آن از صفر بستگی دارد. محل تلاقی دو نمودار u_i و u'_i بیانگر نقطهٔ چشمگیر تغییر و وجود روند است. به طوری که اگر خطوط مذکور داخل محدودهٔ بحرانی

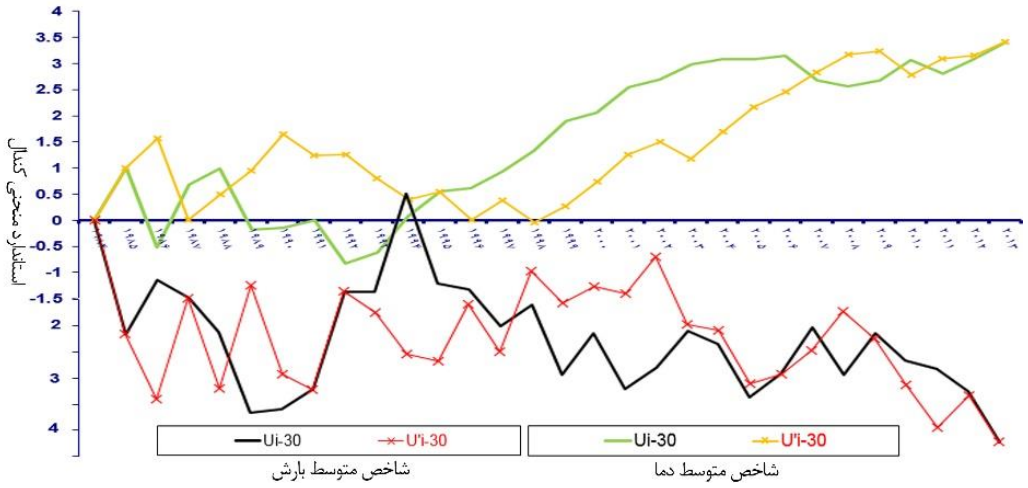
(۱/۹۶) همدیگر را قطع کنند، نشانهٔ زمان آغاز تغییر ناگهانی در داده‌هاست. در صورتی که در خارج همدیگر را قطع کنند بیانگر وجود روند در سری زمانی است (Sueyers, 1990). رفتار u_i نیز بعد از محل تلاقی وضعیت روند (کاهشی یا افزایشی) سری را نمایان می‌کند. عدم تلاقی دو شاخص نیز معرف عدم وقوع تغییر در سری زمانی است (Turkes, et al., 2002؛ حجازی‌زاده و پروین، ۱۳۸۸).

در ادامه برای شناسایی روند تغییرات در تالاب وضعیت تغییرات پوشش زمین آن از طریق تصاویر ماهواره‌ای لندست در یک دورهٔ ۱۴ ساله بررسی و تغییرات آن تحلیل شد. برای این کار از الگوی طبقه‌بندی حداکثر احتمال (Maximum Likelihood) در نرم‌افزار ENVI-4.7، پس از طی مراحل مقدماتی پیش پردازش و پردازش نهایی انجام و در نهایت الگوی پوشش منطقه با دقت K=۰/۸۲ محاسبه شد. در ادامه با استفاده از نرم افزار IDRISI-SELVA تحلیل تغییرات و تبدیلات کاربری ها انجام شد. در پایان مطالعه نیز به تحلیل ارتباط تغییرات شاخص های خشکسالی و تحلیل روند و جهش های موجود طی دورهٔ مطالعه اقدام و نتایج آن در ادامه با تغییرات اتفاق‌افتاده روی اراضی منطقه تحلیل شد.

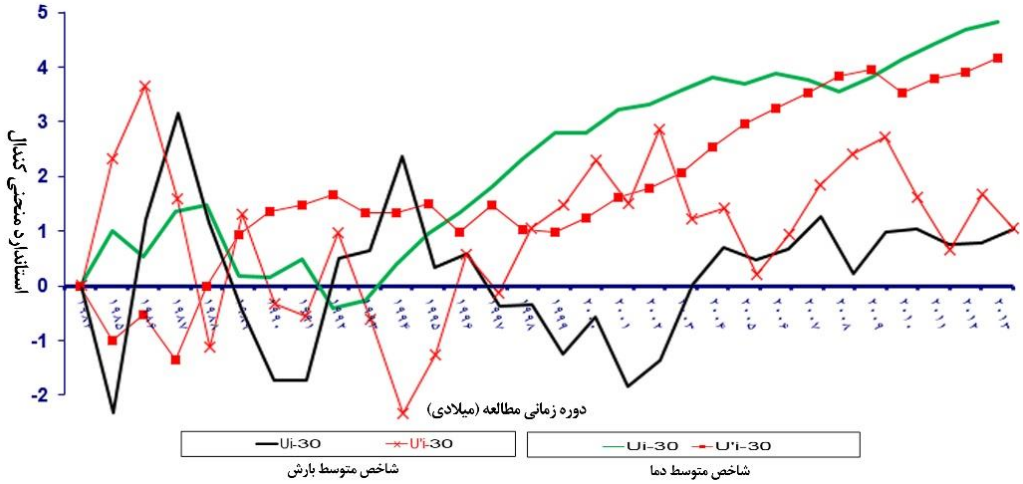
۴. نتایج

بر حسب تحلیل ها برای ایستگاه هواشناسی همدان- نوژه، نتایج آزمون گرافیکی کندال شکل ۲ نشان می دهد که با توجه به برخورد دو نمودار u و u' برای شاخص دمایی در خارج از محدودهٔ بحرانی ±۱/۹۶ روند معناداری برای شاخص دما در این ایستگاه قابل تشخیص است. نتایج و روند تغییرات نمودار حاکی از وقوع جهش برای شاخص دمایی در ایستگاه نوژه در سال های ۲۰۰۷، ۲۰۱۰ و ۲۰۱۲ است. همچنین، از سال ۱۹۹۹ شاخص دمایی این ایستگاه، روند مثبتی را طی کرده، به طوری که در سالیان اخیر افزایش ۱ تا ۳ درجهٔ سانتی گرادی دما در این ایستگاه نیز ثبت شده است. از طرف دیگر، تحلیل شاخص بارش در این ایستگاه نشان‌دهندهٔ این است که در سالیان اخیر روند معنی داری داشته و نتایج بیانگر مشاهدهٔ جهش در سال ۲۰۱۳ است. همچنین، شاخص بارش در این ایستگاه روند منفی را تجربه کرده است که علت آن را می توان کاهش میزان بارش در این ایستگاه در سال های اخیر دانست. میزان بارش برای این ایستگاه با توجه به میانگین بارش در ۳۰ سال اخیر که برابر با ۳۱۷ میلی متر است در سال ۲۰۱۳ افت ۵۰ درصدی را نشان داده و میزان بارش به ۱۵۱ میلی متر رسیده است. از آنجا که یکی از منابع اصلی تأمین کنندهٔ آب تالاب، ریزش های جوی است، بنابراین افت ۵۰ درصدی بارش در منطقه می تواند یکی از موارد تغییرات و تحت فشار قرار گرفتن تالاب باشد. از سوی دیگر، وقوع جهش در سال ۲۰۱۳ را می توان به نوعی ادامهٔ روند تغییر مثبت دمایی دانست و علت آن را تأثیر افزایش دما در افت بارش در منطقه قلمداد کرد، زیرا تغییر در روند بارش با یک تأخیر زمانی نسبت به تغییرات دمایی اتفاق می افتد و به نوعی وابستگی نسبی بین این دو متغیر برقرار است.

نتایج تحلیل گراف-کندال در ایستگاه همدان- فرودگاه (شکل ۳) در دورهٔ زمانی مطالعه (۱۹۸۴- ۲۰۱۳) با توجه به عبور خط u از نقطهٔ بحرانی ±۱/۹۶ روند معناداری را برای شاخص دمایی تأیید می‌کند. از سوی دیگر، در این سال ها شاخص بارش، روند معناداری را بر حسب گراف- کندال نشان نمی‌دهد. نتایج نشان داد در شاخص دمایی ایستگاه همدان- فرودگاه در سال های ۲۰۰۸ و ۲۰۰۹ شاهد وقوع جهش است که می‌تواند شروعی برای تغییرات ناگهانی اقلیم باشد. تغییرات خط u در این ایستگاه نیز با توجه به اینکه در محدودهٔ u>+۱/۹۶ سیر صعودی داشته است، روند مثبتی را دارد و می‌تواند وجود سری زمانی در داده های ایستگاه همدان- فرودگاه را تأیید کند. همچنین، می توان گفت میانگین دما در این ایستگاه ۱۱/۷ درجه است که در سال های ۲۰۰۹ به بعد افزایش ۱ تا ۲ درجه‌ای دما در این ایستگاه مشاهده شده است. وضعیت بارش نیز در این ایستگاه با میانگین ۳۱۳ میلی‌متری بیانگر نبود تغییرات محسوس در میزان بارش این منطقه است.



شکل ۲. آزمون گرافیکی من-کندال، ایستگاه هواشناسی همدان- نوژه



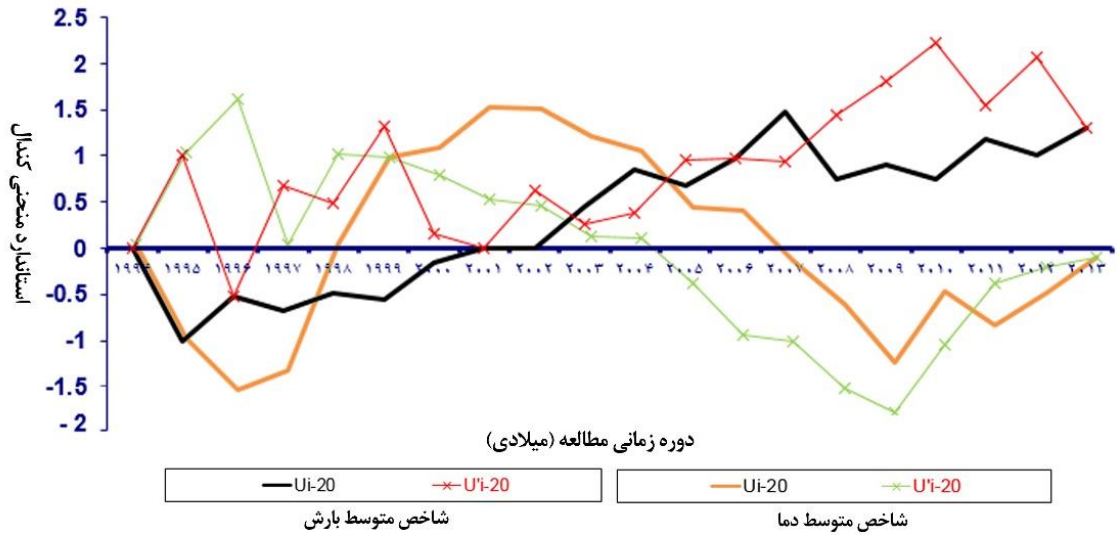
شکل ۳. آزمون گرافیکی من-کندال، ایستگاه هواشناسی همدان- فرودگاه

بررسی نتایج مدل من -کندال در ایستگاه هواشناسی ملایر در بازهٔ زمان ۱۹۹۴ تا ۲۰۱۳، به علت قرار گرفتن نمودار خط u برای دو شاخص دما و بارش در بازهٔ ۱/۹۶± و مشاهده‌نکردن روند، به دلیل قرارگیری سری ها تصادفی در داده های این ایستگاه، روند معناداری را برای این دو شاخص نشان نمی‌دهد. همچنین، با بررسی تغییرات دما و بارش طی دورهٔ بررسی، می توان گفت، انحراف این تغییرات نسبت به میانگین بسیار پایین است و مقدار عددی شاخص دما و بارش به ترتیب برابر با ۱۳/۵ درجهٔ سانتی‌گراد و ۳۱۷ میلی‌متر است که این امر گویای روند ثابت و تغییرات ناچیز در منطقه است.

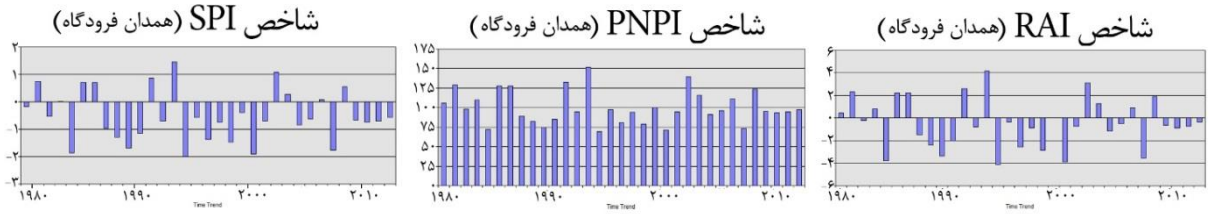
در ادامه شاخص‌های خشکسالی در ایستگاه‌های حاشیهٔ تالاب آق‌گل، در تعیین سال‌های خشکسالی به‌منزلهٔ یکی از عوامل و مشخصه‌های تغییر اقلیم بررسی شده است.

بررسی شاخص‌های خشکسالی مطابق شکل ۵ بیان کنندهٔ این امر است که بر حسب شاخص RAI در سال‌های ۱۹۸۵، ۱۹۹۰، ۱۹۹۵، ۲۰۰۱ و ۲۰۰۸ ایستگاه همدان- فرودگاه سال‌های به شدت خشک و در بقیهٔ سال های دورهٔ مطالعاتی نیز منطقه وضعیت متعادل یا خشکسالی های خفیفی را تجربه کرده است. همچنین، بر

حسب شاخص PNPI منطقـه در سـال هـای ۱۹۸۵، ۱۹۹۰، ۱۹۹۹، ۲۰۰۱ و ۲۰۰۸ با خشکسالی‌های خفیفی مواجه بوده و در بقیهٔ سال ها منطقه به لحاظ خشکسالی در تعادل بـوده است. اما شاخص SPI نیـز نشـان مـی دهـد در سـال هـای ۱۹۸۵، ۱۹۹۰، ۲۰۰۱ و ۲۰۰۸ ایستگاه همدان- فرودگاه بـه لحاظ شاخص خشکسالی در وضعیت رو به خشـک قـرار دارد.

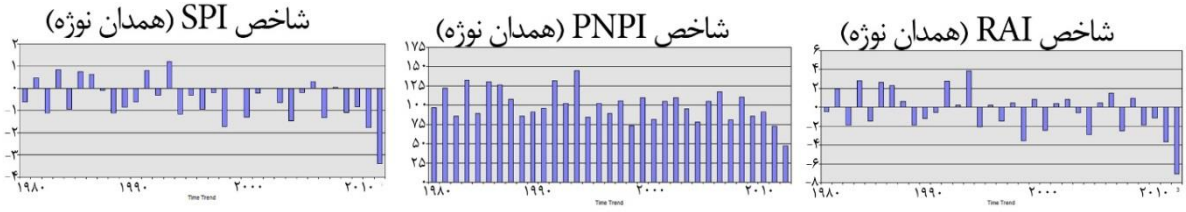


شکل ۴. آزمون گرافیکی من-کندال، ایستگاه هواشناسی ملایر



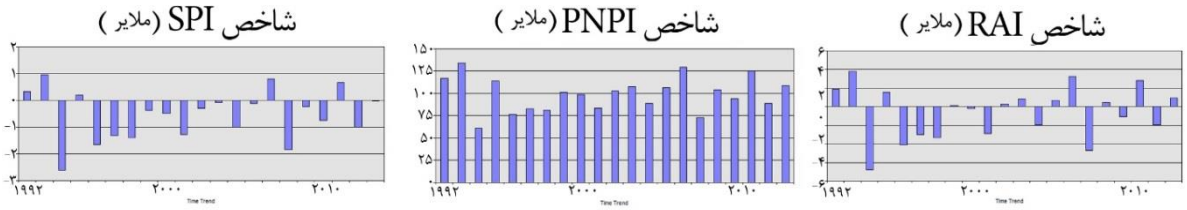
شکل ۵. روند تغییرات شاخص‌های خشکسالی در ایستگاه هواشناسی همدان- فرودگاه

بررسی شاخص خشکسالی در ایستگاه همـدان- نـوژه نشان داد بـر حسـب شـاخص RAI در سـال هـای ۲۰۱۳، ۲۰۱۲ و ۱۹۹۹ منطقه سال های به شدت خشکی را تجربـه کرده است. در بقیهٔ سال هـا نیـز منطقـه وضـعیت مطلـوبی نداشته و سال های به نسبت خشکی را تجربه کـرده اسـت. شاخص PNPI نیز تأکید می کند که ایـن ایسـتگاه در سـال ۲۰۱۳ خشکسـالی شـدید و در سـال‌هـای ۱۹۹۹، ۲۰۰۵ و ۲۰۱۲ خشکسالی‌های خفیفی را پشت سـر گذاشـته اسـت. بر حسب شـاخص SPI نیـز در سـال ۲۰۱۳ منطقـهٔ بسـیار خشـک و در سـال‌هـای ۲۰۱۲ و ۱۹۹۹ نیـز خشکسـالی شـدیدی را داشـته اسـت. در بقیـهٔ سـال‌هـا نیـز وضـعیت خشکسالی منطقه در در حد نرمال است یـا خشکسـالی هـا خفیفی را داشته که همگـی در شـکل۶ نمـایش داده شـده است.



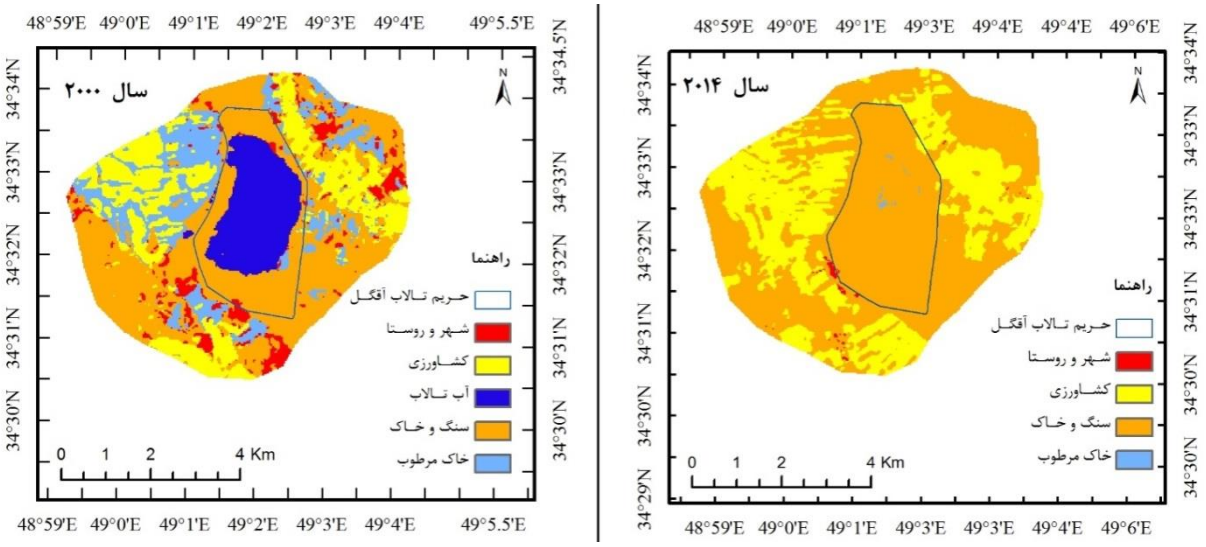
شکل ۶. روند تغییرات شاخص‌های خشکسالی در ایستگاه هواشناسی همدان- نوژه

بررسی روند تغییرات خشکسالی بر حسب شاخص RAI در ایستگاه ملایر نشان داد در سال‌های ۱۹۹۵، ۱۹۹۷، ۱۹۹۸، ۱۹۹۹ و ۲۰۰۸ شاخص خشکسالی در وضعیت بسیار خشک قرار داشته و بقیهٔ سال‌های دورهٔ بررسی در این ایستگاه وضعیت نرمال یا با خشکسالی خفیفی همراه بوده است. شاخص PNPI نیز تنها در سال‌های ۲۰۰۸ و ۱۹۹۹، خشکسالی را در منطقه ضعیف و در سال ۱۹۹۵ نیز خشکسالی متوسطی را نشان داد. بقیهٔ سال‌ها در این ایستگاه از وضعیت مطلوب و نرمالی برخوردار بود. شاخص SPI نیز نشان داد سال ۱۹۹۵ برای ایستگاه ملایر و سال های ۱۹۹۷ و ۲۰۰۸ در این منطقه وضعیت به شدت خشک بوده که به طور کامل در شکل ۷ وضعیت شاخص‌های خشکسالی در سال‌های مختلف آورده شده است. بنابراین، تأکید شاخص‌های خشکسالی در منطقه نشان از وقوع خشکسالی‌های متمادی در دههٔ گذشته داشته است که این امر می‌تواند در روند خشکی تالاب ناشی از تغییرات پدیده‌های اقلیمی باشد، زیرا وقوع خشکسالی‌ها فشار در منابع آبی تالاب را بیشتر و منشأ و منابع تأمین‌کنندهٔ آب تالاب را با بحران و کم‌آبی مواجه کرده است که تأثیر این بحران‌ها را می‌توان با خشک‌شدن کامل تالاب طی یک دهه مشاهده کرد.



شکل ۷. روند تغییرات شاخص‌های خشکسالی در ایستگاه هواشناسی ملایر

بررسی پوشش اراضی منطقهٔ تالاب آق‌گل بر حسب شکل ۸ تغییرات مشهودی را نشان می‌دهد. بر این اساس، طی سال های ۲۰۰۰ تا ۲۰۱۴ روند خشکسالی تالاب کاملاً سریع اتفاق افتاده است. به طوری که در سال ۲۰۰۰ مساحتی بالغ بر ۴۴۳ هکتار از مرز تالاب آبگیری می‌شده که این امر بنا بر دلایل مختلف شامل نبود مدیریت مصرف منابع آب زیرزمینی، افزایش کشاورزی، تغییرات اقلیمی و سایر موارد به بحران آب در منطقه و خشکی و کم‌آبی در منابع آب تأمین‌کنندهٔ آب تالاب آق‌گل منجر شده است، به طوری که در سال ۲۰۱۴ اراضی تالاب کاملاً خشک بوده و هیچ‌گونه آبی را در خود نداشته است. این تغییرات به گونه‌ای است که ۳ هکتار از اراضی محدودهٔ مرز تالاب که قبلاً آبگیری می شده، به اراضی کشاورزی تبدیل شده است. همچنین، ۴۳۵ هکتار طی این ۱۴ سال به خاک و اراضی بایر تبدیل شده و ۵/۵ هکتار نیز آب خود را از دست داده و تنها خاکی مرطوب به جا مانده است. این تغییرات پوشش زمین نشان‌دهندهٔ عبور فشارهای وارده بر تالاب از آستانهٔ تحمل آن بوده که در نهایت خشکی کامل تالاب را همراه داشته است.



شکل ۸. تغییرات پوشش اراضی تالاب آق‌گل در سال‌های ۲۰۰۰-۲۰۱۴

خشک‌شدن تالاب آق‌گل می‌تواند دلایل متعددی داشته باشد و نمی توان دلیل اصلی این اتفاق را تغییرات اقلیمی دانست، اما بر اساس نتایج روند های تغییر اقلیمی و شاخص های خشکسالی در این مطالعه، می توان این ادعا را مطرح کرد که یکی از عوامل مهم تشدید روند خشکی تالاب تغییر شاخص‌های اقلیمی، خشکسالی‌ها و به طور کلی تغییر اقلیم است، زیرا بیشترین جهش ها و تغییرات شاخص های اقلیمی و افزایش دما و کاهش بارندگی بر اساس تحلیل نمودارهای گرافیکی کندال و شاخص های خشکسالی در سال‌های ۲۰۰۷، ۲۰۰۸، ۲۰۱۰ و ۲۰۱۲ اتفاق افتاده و منابع آبی تأمین‌کنندهٔ تالاب را تحت فشار قرار داده است. شاخص های خشکسالی نیز وقوع خشکسالی در این سال‌ها را تأیید می‌کنند. بر این اساس، با توجه به افزایش مصرف آب منابع و برداشت بیش از حد از حوزه های بالادستی که تأمین‌کنندهٔ آب تالاب است و برداشت از منابع آب زیرزمینی، وضعیت آبگیری تالاب را در این سال‌ها کاملاً بحرانی و بیشتر از آستانهٔ تحمل محیطی آن قرار داده است. از طرفی، فشارهای واردهٔ ناشی از تغییرات اقلیمی و سوء مدیریت در منطقه (برداشت بیش از حد، رعایت‌نکردن حقابه و ...) خارج از تحمل و مقاومت فیزیکی تالاب است و ارتجاعیت و برگشت‌پذیری اکوسیستم تالاب را با مشکل مواجه کرده به طوری که در این سال‌ها روند قهقرایی تالاب آق‌گل به ایجاد مشکلات عدیده‌ای در سطح منطقه و مردم محلی (شامل افزایش گرد و خاک، کمبود آب و سایر موارد) منجر شده است. تالاب آق‌گل به‌منزلهٔ اکوسیستمی که پذیرای موقت پرندگان مهاجر است امروزه شوره‌زاری از آن بر جای مانده است که می بایست با مدیریت صحیح و برنامه ریزی همه‌جانبه و سیستمی سعی در احیا آن داشت.

۵. بحث و نتیجه‌گیری

منطقهٔ مطالعاتی حاشیهٔ تالاب آق‌گل طی دورهٔ مطالعاتی ۳۰ ساله (۱۹۸۴-۲۰۱۳) به لحاظ اقلیمی در ایستگاه‌های هواشناسی وضعیت پایداری را تجربه نکرده است. به طوری که تحلیل نتایج اقلیمی تأکید دارد که سال‌های ۱۹۹۹، ۲۰۰۱، ۲۰۰۵، ۲۰۰۸ و سال‌های اخیر (۲۰۱۰-۲۰۱۳) بر حسب تمام تحلیل‌ها روند معنی‌دار خشکسالی را تجربه کرده است. با توجه به گزارش‌ها و مشاهدهٔ تصاویر سنجش از دور در سالیان گذشته از وضعیت این تالاب، سال ۲۰۰۸ را می توان آغاز دورهٔ خشکسالی در منطقه دانست. بر این اساس، کاهش میزان بارش در دههٔ گذشته و افزایش میانگین دما در این سال ها روند ایجاد

تغییرات اقلیمی در منطقه را تأیید می‌کند. استفاده از شاخص‌های خشکسالی در این تحقیق گویای تنش‌هایی است که منطقه طی یک دورهٔ ۳۰ ساله تحمل کرده که مشهودترین آن‌ها در سال‌هایی که است که منطقه بر حسب همهٔ شاخص‌ها در خشکسالی شدید قرار گرفته است. مقایسهٔ این نتایج با بررسی روند تغییرات و سیر زمانی تغییرات نشان داد بیشترین تغییرات در منطقه روی شاخص دما اتفاق افتاده و تغییرات بارش معمولاً با یک تأخیر دو تا چند ساله بعد از جهش‌های دمایی در منطقه پدیدار و بر این اساس مقدمات خشک‌شدن تالاب فراهم شده است. این تبعیت می تواند گویای وابستگی تغییرات پارامتر بارش به دما باشد که در منطقهٔ تالاب آق گل با افزایش دما میزان بارش کاهش یافته و منابع آب تأمین‌کنندهٔ تالاب در بالادست کمتر و افزایش میزان تبخیر بیشتر به روند قهقرایی تالاب آق‌گل منجر شده است. از سوی دیگر، تحلیل تغییرات اراضی و تبدیل شدن اراضی تالاب به زمین بایر یا کشاورزی و خشکی کامل آب تالاب می تواند یکی از شواهدی دال بر تغییر اقلیم در منطقه باشد همچنان که تغییرات شاخص‌های خشکسالی و جهش‌های نمودار گرافیکی کندال و تحلیل تصاویر ماهواره‌ای نیز این امر را تأیید می‌کند. بنابراین، خشکسالی تالاب آق گل و تبدیل اراضی آبگیر تالاب به اراضی بایر و شوره‌زار یکی از آثار تغییرات شرایط اقلیمی است که در کنار سایر عوامل سرعت تخریب در منطقهٔ تالاب آق گل را بیشتر کرده است و تالاب آق‌گل به‌منزلهٔ حساس‌ترین اکوسیستم موجود در این منطقه می تواند گواه خوبی برای انعکاس فشارها و تغییرات وارده از سوی اقلیم و انسان در منطقه باشد.

شناخت پدیده‌های اقلیمی و بررسی سری‌های زمانی در داده‌ها و شاخص‌ها می‌تواند به برنامه‌ریزی و مدیریت منطقه برای احیای تالاب آق‌گل کمک شایانی کند. تالاب آق گل با توجه به میزان فشاری که منابع آبی آن متحمل شده سیر قهقرایی داشته و آثار ناشی از تغییر اقلیم نیز فشار دوچندانی را بر منابع آن وارد کرده است. بنابراین، می بایست برنامهٔ مدیریتی برای افزایش حقابهٔ تالاب از رودخانه‌های بالادستی تنظیم و اجرایی شود. همچنین، تغییر در الگوهای کشت سازگار با اقلیم منطقه، مدیریت میزان برداشت از منابع، نظارت بر چاه‌ها و منابع آب زیرزمینی، استفاده از پتانسیل مشارکت‌های مردمی و تدوین رهیافت‌های مدیریت پایدار و بدون تعارض در منطقه می‌تواند به ارائهٔ راهکارهای کنترلی برای مدیریت تغییر اقلیم منجر شود و از آثار جبران‌ناپذیر آن جلوگیری کند. شایان یادآوری است که نتایج تحقیق حاضر با مطالعهٔ پیری و انصاری هم‌راستاست. آن‌ها شاخص خشکسالی دشت سیستان را شاخصی مناسب برای نشان‌دادن یکی از دلایل خشکسالی تالاب هامون بیان کردند. این مطالعه نیز نشان داد بر اساس شاخص خشکسالی، خشکسالی‌های اتفاق افتاده در زیر حوزهٔ کمیجان روی منابع آبی تالاب آق گل اثر داشته و در کنار سایر عوامل انسانی بر سرعت خشک‌شدن تالاب افزوده است. مطالعات انجام‌شده با توجه به سطح دسترسی و مدل‌های به‌کار گرفته‌شده در این تحقیق به صورت نقطه ای انجام شده است. از این رو پیشنهاد می‌شود در مطالعات دیگر پیرامون تغییرات اقلیمی در این منطقه به صورت غیرنقطه‌ای و به‌منزلهٔ یک پهنه نیز بررسی شود. بنابراین، می‌توان با یک برنامه‌ریزی دقیق و در نظر گرفتن منافع همهٔ گروهای ذی‌ربط و ذی‌نفوذ برنامهٔ جامعی برای مدیریت پایدار برای کنترل و کاهش آثار خشکسالی و تغییر اقلیم در منطقهٔ تالاب آق گل را ارائه داد تا شاهد آبگیری مجدد تالاب در سال‌های آتی باشیم. همچنین، ارائهٔ برنامهٔ کشاورزی پایدار و منطبق با شرایط اقلیمی منطقه می تواند در پایداری و احیای تالاب کمک شایانی کند.

تشکر و قدردانی

پژوهش حاضر در غالب طرح پژوهشی از سوی ادارهٔ کل محیط‌زیست استان همدان انجام شده است. از این رو، لازم می‌دانیم از مسئولان سازمان محیط زیست استان همدان که

طی پروژه کمال همکاری را با تیم پژوهشی دانشکدهٔ محیط زیست داشته و از دانشکدهٔ محیط زیست دانشگاه تهران که طی پروژه تیم پژوهشی را حمایت کرده‌اند، تشکر کنیم.

یادداشت‌ها

1. Aridity
2. Drought
3. Percent of Normal
4. Standardized precipitation Index
5. Deciles of precipitation Index
6. Rainfall Anomaly Index
7. Percent of Normal Precipitation Index

منابع

آذرخشی، م.، فرزادمهر، ج.، اصلاح، م.، صحابی، ح. ۱۳۹۲. «بررسی روند تغییرات سالانه و فصلی بارش و پارامترهای دما در مناطق مختلف آب و هوایی ایران»، مجلهٔ *منابع طبیعی ایران*، دورهٔ ۶۶، شمارهٔ ۱، صص ۱-۱۶.

بابائیان، ا.، نجفی نیک، ز.، زابل عباسی، ف.، حبیبی نوخندان، م.، ادب، ح.، ملبوسی، ش. ۱۳۸۸. «ارزیابی تغییرات اقلیم کشور در دورهٔ ۲۰۱۰-۲۰۳۹ میلادی با استفاده از ریزمقیاس نمایی داده‌های مدل گردش عمومی جو ECHO-G»، جغرافیا و توسعه، شمارهٔ ۱۳، صص ۱۳۵-۱۵۲.

بزرگ‌نیا، ا.، نیرومند، ح. ۱۳۹۰. *مقدمه‌ای بر تحلیل سری‌های زمانی*، چاپ سوم، انتشارات دانشگاه فردوسی مشهد، صص ۲۸۹.

پیری، ح.، انصاری، ح. ۱۳۹۲. «بررسی خشکسالی دشت سیستان و تأثیر آن بر تالاب بین‌المللی هامون»، تالاب، شمارهٔ ۱۵، صص ۶۳-۷۴.

حجازی‌زاده، ز.، پروین، ن. ۱۳۸۸. «بررسی تغییرات دما و بارش تهران طی نیم قرن اخیر»، جغرافیا و برنامه‌ریزی منطقه‌ای، سال بیستم، شمارهٔ ۳ (پیاپی ۳۵)، صص ۴۳-۵۶.

خشنو، ا. ۱۳۷۸. «بررسی تغییرات اقلیمی جنوب ایران (دما و بارش)»، پایان نامهٔ کارشناسی ارشد جغرافیا، بهلول علیجانی، دانشگاه تربیت معلم تهران، صص ۸۵ تا ۹۴.

خوشحال دستجردی، ج.، قویدل رحیمی، ی. ۱۳۸۷. «کاربرد آزمون ناپارامتری من-کندال در برآورد تغییرات دمایی (مطالعهٔ موردی: اصفهان)»، فضای جغرافیایی، سال هشتم، شماره ۳۲، صص ۲۱-۳۸.

دهقانی، ن.، شیخ‌علیشاهی، ن.، طالبی، م. ص. ۱۳۹۲. «پایش و تحلیل چند شاخص خشکسالی و تعیین مناسب‌ترین شاخص (مطالعهٔ موردی: حوزهٔ آبخیز میانکوه استان یزد)»، سی و دومین گردهمایی و کنگرهٔ بین‌المللی تخصصی علوم زمین، سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور، تهران، ایران.

صمدی‌بروجنی، ح.، ابراهیمی، ع. ۱۳۸۹. *پیامدهای خشکسالی و راه‌های مقابله با آن*، چاپ اول، مرکز تحقیقات منابع آب ایران، انتشارات سروش، تهران.

عزیزی، ق.، روشن، ع. ۱۳۸۴. «بررسی خشکسالی‌ها- ترسالی‌ها و امکان پیش‌بینی آن‌ها با استفاده از مدل سری زمانی هالت وینترز در استان هرمزگان»، تحقیقات جغرافیایی، شمارهٔ ۷۹، صص ۴۸-۶۳.

عزیزی، ق.، روشنی، م. ۱۳۸۷. «مطالعهٔ تغییر اقلیم در سواحل جنوبی دریای خزر به روش من-کندال»، پژوهش‌های جغرافیایی، شمارهٔ ۶۴، صص ۱۳-۲۸.

عزیزی، ق.، شمسی پور، ع.، یاراحمدی، د. ۱۳۸۷. «بازیابی تغییر اقلیم در نیمهٔ غربی کشور با استفاده از تحلیل‌های آماری چندمتغیره»، جغرافیای طبیعی، شمارهٔ ۶۶، صص ۱۹-۳۵.

کریمی، و.، کامکار حقیقی، ع.، سپاس‌خواه، ع.، خلیلی، د. ۱۳۸۰. *بررسی خشکسالی‌های هواشناسی در استان فارس، علوم و فنون کشاورزی و منابع طبیعی علوم آب و خاک*، جلد ۵، شمارهٔ ۴، صص ۱-۱۱.

کوچکی، ا.، نصیری، م.، کمالی، غ. ۱۳۸۶. *مطالعهٔ شاخص‌های هواشناسی ایران در شرایط تغییر اقلیم*، پژوهش‌های زراعی ایران، جلد پنجم، شمارهٔ اول، صص ۱۳۳-۱۴۲.

محمدی‌مطلق، ر. ۱۳۸۹. «کارایی نمایه‌های خشکسالی هواشناسی در مدیریت خطر خشکسالی‌های سه دههٔ اخیر در شیراز، دومین کنفرانس سراسری مدیریت جامع منابع آب»، دانشگاه کرمان، بهمن‌ماه، کرمان، ایران.

وفاخواه، م.، رجبی، م. ۱۳۸۴. *کارایی نمایه‌های خشکسالی هواشناسی برای پایش و ارزیابی خشکسالی‌های حوزهٔ آبریز دریاچهٔ بختگان*، طشک و مهارلو، بیابان، جلد ۱۰، شمارهٔ ۲، صص ۳۷۰-۳۸۲.

Alizadeh, A. 2010. Principales of applied hydrology, 29th edition, university of Imam Reza press.

Chen, H., Guo, S., Xu, C.Y. and Singh, V.P. 2007. Historical temporal trends of hydro-climatic variables and runoff response to climate variability and their relevance in water resource management in the Hanjiang basin, Journal of Hydrology, 344: pp. 171-184.

Clarke, T.S. 2003. Regional Climate Change: Trend Analysis of Temperature and Precipitation Series at Canadian Sites, Canadian Journal of Agricultural Economics, 48:pp. 194-210.

Dhorde, A. and Gadgil S. 2009. Long term temperature trends at four largest cities of India during twentieth century. Journal of India Geophysic, 13(2): pp. 85-97.

Dinar, A. R., Mendelsohn, R. E., Evenson, J., Parikh, A., Sanghi, K., Kumar, J., McKinsey and Lonergan, S. 1998. Measuring the Impact of Climate Change on Indian Agriculture. Washington, D.C, World Bank Technical Paper,pp. 402.

Domroes, M. & El-Tantawi. 2005. Recent temporal and spatial temperature changes in Egypt. International journal of Climatology, 25:pp. 51- 63.

Ferrati, R., Canziani, GA., Moreno, D.R. 2005. Estero Del Ibera: hydrometeorological and hydrological characterization. Ecol Model, 186:pp. 3–15.

Folland, C. K. and Coauthors. 2001. Observed climate variability and change. Climate Change 2001: The Scientific Basis, Cambridge University Press.

Hamed, K.H. and Rao, A.R. 1998. A modified Mann–Kendall trend test for auto correlated data, Journal of Hydrol, 204:pp.182-196.

Hammer, G. L. and Nicholls, N. 1996. Managing for climate variability: the role of seasonal climate forecasting in improving agricultural systems. In: Proc. Second Australian Conference on Agricultural Meteorology. Bureau of Meteorology, Commonwealth of Australia, Melbourne, Australia,pp. 19–27.

Hayes, M.J. 2001. Drought indices, National drought mitigation center, Noaa Press.

Hayes, M.J., Svoboda, M., Comte, D.L., Redmond, K.T. and Pasteris, P. 2007. Drought monitoring: new tools for the21st century. In: D.A. wilhite, Editor", Drought and Water Crisis. Science, Technology, and Management Issues, Taylor & Francis, Boca Raton,pp. 53-69.

Hulme, PE. 2005. Adapting to climate change: is there scope for ecological management in the face of a global threat, Appl Ecol, 42:pp.784–794.

IPCC (International Panel on Climate Change). 1996. Climate change 1996 impacts, adaptations and mitigation of climate change: scientific technical analysis. Contribution of working group II to the second assessment report of the IPCC, Cambridge University Press.

IPCC.1996. Summary for policy makers. In: Houghton et al. d. J. T. (Eds.). Climate change 1995—the science of Climate change. The Second Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change: Contribution of WorkingGroup I. Cambridge University Press.

Jiangping, Z., Zhong, Y., Daojie,W. and Xinbao,Z. 2002. Climate change and causes in the Yuanmou Dry-Hotvally of Yunnan,China. Journal of Arid Environments, 51:pp.153-162.

Katiraie Borojerdy, P.S. 2008. The analysis of precipitation variation and quantiles in Iran.-3rd IASME/WSEAS Int.conf.on energy and environment, UK.

Mckee, T., Doeskin, N., Kleist, j. 1996. Drought monitoring with multiple time scales. Climatology Conference, DALLS,pp. 233-236.

McKee, T.B., Doesken, N.J., and Kleist, J. 1993. The Relationship of Drought Frequency and Duration to time scales. In proc, Climatology Conference, American Meteorological society, Massachusetts, pp. 233-236.

McKee, T.B., Doesken, N.J.,and Kleist, J.1995.Drought Monitoring with Multiple Time Scales. Climatology Conference, American Meteorological Society, Massachusetts,pp. 233-236.

Modarres, R. and Rodrigues de silva, V.P.R. 2007. Rainfall trends in arid and semiarid regions of Iran, arid environments, 70:pp. 344-355.

Morid, S., Smakhtinb, V. and Bagherzadehc, K. 2007. Drought forecastingusing artificial neural networks and time series of drought indices, Climatol. 27:pp. 2103–2111.

Paul. S., Jusel, K. and Alewell, C. 2006. Reduction processes in forest wetlands: tracking down heterogeneity of source/link functions with a combination of methods, Soil Biol Biochem, 38,pp. 1028–1039.

Qian, W. and Lin, X. 2004. Regional trends in recent temperature indices in China. Climate Research, 27:pp.119-134.

Rodrigues da Silva, V. P. 2004. On climate variability in northeast of Brazil. Arid Environmental, 58:pp. 575-596.

Root, T.L., Price, J.T., Hall, K.R., Schneider, S.H., Rosen Zweig, C. and Pounds, J.A. 2003. Fingerprints of global warming on wild animals and plants, Nature, 421:pp.57–60.

Segal, M. 1994. Some assessments of the potential 2× CO2 climatic effects on water balance components in the eastern Mediterranean. Climatic Change, 27:pp. 351-371.

Serrano, A., Mateos, V.L. & Garcia, J.A. 1999. Trend Analysis of Monthly Precipitation Over the Iberian Peninsula for the Period 1921-1995, phys. Chem. EARTH (B), 24:pp. 85-90.

Sueyers, R. 1990. On the Statistical Analysis of Series of Observation, WMO, 415: 2-15.

Tomozeiu, R., Pavan, V. Cacciamani, C. and Amici, M. 2006. Observed temperature changes in Emilia-Romagna: mean values and extremes. Climate Research, 31:pp. 217-225.

Turkes, M., Sumer, U.M. & Demir, I. 2002. Re- Evaluation of Trends and Changes in mean. Maximum and Minimum Temperatures of Turkey for the Period 1929-1999, Climatol, 22:pp. 947-977.

Van - Rooy, M. P. 1965. Rainfall Anomaly Index Independent of time and space, Notos, 14:pp. 43.

Wheaton, E. E. 1994. Impacts of a Variable and Changing Climate on the Canadian Prairie Provinces: A Preliminary Integration and Annotated Bibliography, Saskatchewan Research Council Publication.

Yue, S., Pilon, P., Phinney, B. and Cavadias, G. 2002. The influence of autocorrelation on the ability to detect trend in hydrological series, Hydrological Processes, 16:pp. 1807-1829.