

تغییرات اقلیمی و محیطی حوضه آبریز دریاچه ارومیه در دو دهه ۲۰۱۹-۲۰۰۰

مصطفی کریمی^۱

سوسن حیدری^۲

مرتضی شریف^۳

چکیده

دریاچه ارومیه بزرگترین دریاچه داخلی کشور و یکی از بزرگ‌ترین دریاچه‌های آب شور روی زمین، با توجه به کاهش چشمگیر سطح آن در سال‌های اخیر مورد توجه بوده است. در این مطالعه روند تغییرات فراسنج‌های محیطی (تراز ارتفاعی، پهنه آبی دریاچه ارومیه، LST و NDVI) و اقلیمی (بارش و دمای هوا) حوضه آبریز دریاچه ارومیه در بازه زمانی (۲۰۱۹-۲۰۰۰) و نقش توامان تغییرات محیطی و اقلیمی در شرایط فعلی مورد بررسی قرار گرفت. اگرچه در این دو دهه، نوسان سالانه در تراز ارتفاعی این دریاچه مشاهده شده است، اما نتایج حاکی از روند کاهشی بدون وقفه در تراز ارتفاعی آب دریاچه ارومیه از سال بسیار خشک ۲۰۰۰ به این سو است به گونه‌ای که در طی بیست سال اخیر تراز ارتفاعی بیش از هفت متر کاهش داشته و همچنین سطح دریاچه از 5143 Km^2 در سال ۲۰۰۰ به 2400 Km^2 در سال ۲۰۱۹ رسیده است. با این که بارش حوضه در بازه مطالعاتی در ماه می (پربارش‌ترین ماه) روند افزایشی و در ماه‌های دسامبر و ژانویه روند کاهشی دارد، ولی در کل بارش حوضه تغییرات معنی‌داری نداشته است. در دوره گرم سال دمای سطح زمین روز و شب‌هنگام، دمای هوا و همچنین در تمامی ماه‌ها شاخص NDVI در سطح حوضه روند افزایشی داشته است. سه اثر اصلی و چشمگیر تغییرپذیری فراسنج‌های محیطی و اقلیمی در این مناطق افزایش دمای سطح زمین و هوا، پوشش گیاهی و کاهش منابع آب است. نتیجه نهایی افزایش و کاهش ذکر شده از یک سو و افزایش نیاز آبی گیاهان از سوی دیگر باعث افزایش فشار بر منابع آب به‌ویژه آب‌های زیرزمینی خواهد شد. کاهش سطح دریاچه و افزایش مصرف و کاهش منابع آب، می‌تواند منجر به گسترش سطوح عریان و رخداد ریزگردها گردد. پیامدهای این تغییرات در حوضه منجر به تغییر خرداقلیم و محیط‌زیست آن گردیده است.

واژگان کلیدی: پوشش گیاهی، بارش، دمای هوا، دمای سطح زمین، شمال‌غرب ایران، ارومیه

مقدمه

مناطق سرد و خشک در برابر تغییرپذیری آب‌وهوا آسیب‌پذیرتر بوده و کانون بررسی اثرات تغییرپذیری آب‌وهوا می‌باشند (Gao et al., 2018; 1161; Oyler et al., 2015; 160). تغییرات آب‌وهوا در مناطق خشک، محدودیت منابع آبی و در مناطق سرد با تأثیر بر پوشش برف و یخچال‌های طبیعی، روندهای هیدرولوژیکی برجسته می‌شود (Sorg et al., 2012: 725; Wang et al., 2010: 1980). در پی گرم شدن کره زمین و تشدید فعالیت‌های انسانی، تغییرات بارش و دما منجر به تغییر رواناب، پوشش برف و یخچال‌های طبیعی در این مناطق شده است (Barnett et al., 2005: 303; Lopez-Ballesteros et al., 2020: 1) و افزایش تبخیر آب سطحی و مصرف آب خواهد بود. این

^۱ استادیار اقلیم‌شناسی گروه جغرافیای طبیعی دانشگاه تهران (نویسنده مسئول)

^۲ دانشجوی دکتری اقلیم‌شناسی دانشکده جغرافیای دانشگاه تهران

^۳ دانش‌آموخته کارشناسی ارشد دانشکده جغرافیای دانشگاه تهران

مسئله همزمان با کاهش بارش و منابع آب سطحی، می‌تواند خسارات زیادی را برای جوامع بشری ایجاد کند (Sayadi et al., 2019: 1).

افزایش دما می‌تواند باعث خشک شدن تالاب‌ها، دریاچه‌ها و رودخانه‌ها و تشکیل مراکز تولید هواپیزه‌ها گردد (Climate Change, 2007: 17). این شرایط، به طور مستقیم و غیرمستقیم باعث تغییر ساختار جامعه و عملکرد زیست بوم دریاچه‌ها در سراسر جهان می‌شود (Jeppesen et al., 2010a, 2010b, 2012b: 119; Woodward et al., 2010: 2093). در نتیجه منجر به تغییراتی در توزیع گونه‌ها جانوری و گیاهی (Parmesan and Yohe, 2003)، تنوع زیست بوم (Perkins et al., 2010)، تغییرات چرخه فنولوژی گیاهان (Thackeray et al., 2010)، عوامل بیولوژیکی (Amarasekare and Savage, 2012; Daufresne et al., 2009)، رشد موجودات و متابولیسم زیست بوم (Yvon-Durocher et al., 2012) شود. همچنین این تغییرات پوشش گیاهی در اقلیم‌های خشک و نیمه‌خشک را با شدت تحت تأثیر قرار می‌دهد. در نهایت تغییرات در شرایط سطحی ناشی از فعالیت‌های انسانی نیز، ممکن است بر روندهای مختلف هیدرولوژیکی تأثیر بگذارد (Zeng, 2020: 1; Mentzafou et al., 2018: 558). بنابراین قرن بیست‌ویکم با معضل‌های زیست‌محیطی زیادی روبه‌رو است که یکی از مهم‌ترین این معضل‌ها تغییرپذیری فراسنج‌های محیطی و اقلیمی است. تأثیرات منفی این تغییرپذیری در آینده به سبب نگرش جوامع بر توسعه‌ی سریع به‌ویژه صنعت و توجه کمتر به محیط‌زیست می‌تواند شدت گرفتن آن را به دنبال داشته باشد. در این بین، زیست بوم دریاچه‌ها و تنوع زیستی آنها در حال حاضر به طور جدی توسط این تغییرات تهدید می‌شوند (Millennium Ecosystem Assessment, 2005: 12; Bellard et al., 2012: 365). دریاچه‌ی ارومیه یکی از مهم‌ترین پهنه‌های آبی در ایران (Karami, 2018: 48؛ سعیدآبادی، ۱۳۹۵: ۳۵) و یکی از بزرگ‌ترین دریاچه‌های آب شور روی زمین (AghaKouchak, et al., 2014: 1) محسوب می‌شود. این دریاچه، دارای نقش مهمی در وضعیت اقلیمی، زیست‌محیطی و اقتصادی (Jalili et al., 2012: 1990) و یک میراث طبیعی ملی (احمدیان و اصغری، ۱۳۹۲: ۸۲) و بین‌المللی در شمال غرب کشور (کریمی و نبی‌زاده، ۱۳۹۷: ۲۷۰) است. آب مورد نیاز دریاچه از طریق ۱۴ رودخانه دائمی تأمین می‌شود و برای حفظ تراز آبی دریاچه سالیانه حداقل حدود ۳/۱ میلیارد مترمکعب آب مورد نیاز خواهد بود (فنی و معرفی، ۱۳۹۶: ۲).

طی دو دهه گذشته، حوضه آبریز دریاچه ارومیه با مشکلات متعددی مانند: تشدید فعالیت‌های کشاورزی، توسعه منابع آبی، احداث پل میانگذر بر روی دریاچه، افزایش میزان شوری و خشکسالی مواجهه است (فنی و معرفی، ۱۳۹۶: ۲؛ بارانی پسیان و همکاران، ۱۳۹۶: ۴۴۱؛ دسترنج و همکاران، ۱۳۹۷: ۱۵۱؛ Hassanzadeh et al. 2012: 133; Delju et al. 2013: 286; Tourian et al. 2015: 350)؛ که فشارهای فزاینده‌ی را بر منابع طبیعی این حوضه اعمال نموده است. در حال حاضر خشک شدن دریاچه ارومیه علاوه بر تهدیدات زیست محیطی، پیامدهای ناگواری بر روی صنعت گردشگری این حوضه به همراه خواهد داشت (اصغری سراسکانرود و همکاران، ۱۳۹۲: ۱۱۲).

بنابراین در اثر کاهش ناگهانی تراز آب دریاچه، اثرات زیست‌محیطی آن و تنش‌های رو به گسترش طی سال‌های اخیر توجه محققین برای مطالعه اقلیمی حوضه آبریز دریاچه ارومیه و دریاچه ارومیه جلب شده است. به طوری که پژوهشگران متعددی در زمینه‌های مختلف با جنبه و هدف خاصی تحقیق کرده‌اند، به عنوان مثال: اثرات تغییر اقلیم (مهسافر و همکاران، ۱۳۹۰؛ گودرزی و همکاران، ۱۳۹۴؛ عزیزی و همکاران، ۱۳۹۶؛ کریمی و نبی‌زاده، ۱۳۹۷)، خشکسالی (زاهدای قره آغاچ و قویدل رحیمی، ۱۳۸۶ و ۱۳۸۱؛ قویدل رحیمی و جهانبخش، ۱۳۸۳؛ پروین، ۱۳۹۰؛ قربانی اقدام و همکاران، ۱۳۹۱؛ ذوالجودی و همکاران، ۱۳۹۶؛ زینالی و صفریان زنگیر، ۱۳۹۶؛ میرزایی حسنلو، ۱۳۹۹)، اثر تغییر پوشش سطحی بر تغییرات رژیم دما، بارش و رطوبت (سعیدآبادی، ۱۳۹۵)، تغییرات خط ساحلی (زینالی و همکاران، ۱۳۹۴)، پیش‌بینی تغییر پارامترهای اقلیمی (صلاحی و همکاران، ۱۳۹۶)، اثر تغییرات بارش و دما بر روند جریان رودخانه‌های حوضه آبریز (فرخ‌نیا و مرید، ۱۳۹۳)، تغییرات تراز (حسینی مهمویی و همکاران، ۱۳۹۰) و نوسان‌های سطح آب دریاچه ارومیه (رسولی و همکاران، ۱۳۸۷؛ فتحی و همکاران، ۱۳۹۴) و همچنین تغییرات سطحی و حجمی آب دریاچه ارومیه (دسترنج و همکاران، ۱۳۹۷).

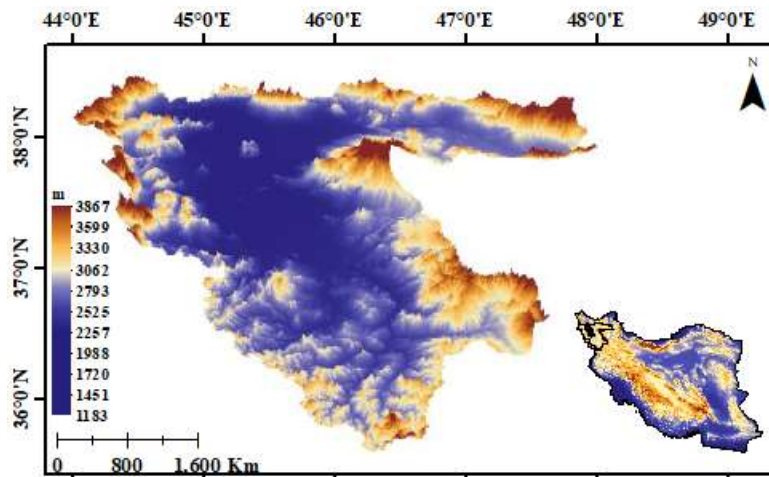


از آنجایی که تغییرپذیری فراسنج‌های محیطی و اقلیمی به عنوان یکی از مهم‌ترین چالش‌های پیش‌روی بشر می‌باشد. هدف این پژوهش، بررسی تغییرات فراسنج‌های محیطی و اقلیمی در حوضه آبریز دریاچه ارومیه در دو دهه اخیر می‌باشد. چرا که عوامل اقلیم و محیطی محرک‌های اصلی و مؤثر بر فرآیندهای هیدرولوژیکی حوضه‌های آبخیز هستند (Kalnay and Cai, 2003: 529; Kim et al., 2013: 552). این عوامل بر عملکرد چرخه زیست بوم حوضه‌ها، مانند کنترل فرسایش، تأمین آب (Peraza-castro et al., 2018) و امنیت آب که می‌تواند بر تولید مواد غذایی، انرژی و حتی ثبات سیاسی کشورها در سراسر جهان تأثیر بگذارد (Nguy-1robertson et al., 2018). علاوه بر موارد ذکر شده، دمای سطح زمین (LST^۱) عامل مهم در مطالعات جهانی و تغییر و تعادل گرماست و به عنوان یک نماینده برای تغییر آب‌وهوا به شمار می‌رود (Srivastava et al., 2009: 1563). همچنین پراکنش مکانی پوشش گیاهی ارتباط زیادی با شرایط اقلیمی دارد (Saugier, 1996) و دما عامل تأثیرگذارتری نسبت به بارش در تغییر رشد گیاه است (Dou et al., 2008: 1). بنابراین هدف این مطالعه، بررسی شرایط محیطی (از جمله تراز ارتفاعی و پهنه آبی دریاچه ارومیه، پوشش گیاهی و دمای سطح زمین در روز و شب هنگام) و اقلیمی (مانند بارش و دمای هوا) حوضه دریاچه ارومیه است. هدف ذکر شده برای پاسخ به سوال چگونگی روند تغییرات فراسنج‌های محیطی و اقلیمی در حوضه و ارتباط بین این تغییرات در شرایط فعلی حوضه آبریز دریاچه ارومیه بوده است.

منطقه مورد مطالعه

دریاچه ارومیه بزرگترین دریاچه شور جهان، در عرض‌های جغرافیایی $8^{\circ} E$ و 45° عرض شرقی و $52^{\circ} N$ و 37° طول شمالی قرار دارد. حوضه آبریز دریاچه با مساحتی حدود ۵۲ هزار کیلومتر مربع (Ghaheri et al., 1999: 20) ۳ درصد از مساحت ایران (دین پژوه و همکاران، ۱۴۰۰: ۱۲۸) را شامل می‌شود. این حوضه یکی از شش حوضه آبریز کشور در شمال غربی ایران است (رسولی و همکاران، ۱۳۹۹: ۲۵۶). حدود ۳۴۱۰۰ کیلومتر مربع از سطح حوضه دریاچه ارومیه را مناطق کوهستانی و ۱۳۱۱۴ کیلومتر مربع آن را دشت و کوهپایه و حدود ۴۶۳۹ کیلومتر آن را نیز دریاچه ارومیه (حسینی موغاری و همکاران، ۱۳۹۶: ۵۸۹) با متوسط عمق دریاچه حدود ۶ متر (شایان و جنتی، ۱۳۸۶: ۲۷)، در بر گرفته است. قسمت عمده حوضه را مناطق کوهستانی تشکیل می‌دهد. اقلیم آن بر اساس طبقه‌بندی اقلیمی کوپن-گایگر در محدوده نیمه خشک و قاره‌ای قرار دارد (منتصری و همکاران، ۱۳۹۶: ۱۲۶۲). میانگین سالانه بارش در نواحی اطراف دریاچه بین ۲۵۰ تا ۳۰۰ میلی‌متر (عزیزی و همکاران، ۱۳۹۶: ۷) اما در سطح حوضه دریاچه بین ۱۸۰ تا ۵۰۰ میلی‌متر (مهسافر و همکاران، ۱۳۹۰: ۴۹) متغیر است. متوسط سالانه دمای هوای ثبت شده در ایستگاه‌های اطراف دریاچه بین ۶/۴ تا ۱۳/۲ درجه سانتی-گراد تغییر می‌کند (عزیزی و همکاران، ۱۳۹۶: ۷) و متوسط درجه حرارت سالانه حوضه ۱۱ درجه سانتی‌گراد (رسولی و همکاران، ۱۳۹۳: ۱۱) و تبخیر در آن حدود ۱۲۰۰ میلی‌متر در سال (ذوالجودی و همکاران، ۱۳۹۶: ۱۰۶) می‌باشد.

^۱ - Land Surface Temperature



شکل (۱). توپوگرافی منطقه مورد مطالعه

داده‌ها و روش‌ها

با توجه به هدف و مساله تحقیق، متغیر اقلیمی و محیطی متنوعی مورد نیاز است. بر این اساس داده‌های پژوهش در شش دسته: (۱) داده‌های ماهواره‌های TOPEX و جیسون ۱ تا ۳ جهت بررسی وضعیت تغییرات تراز ارتفاعی آب دریاچه ارومیه، (۲) تصاویر ماهواره لندست ۷ سال ۲۰۰۰ و لندست ۸ سال ۲۰۱۹ برای تغییرات پهنه آبی دریاچه، (۳) داده‌های بارشی ماهواره^۱ GPM محصول (IMERG^۲) به منظور شناسایی روند تغییرات بارش در حوضه، (۴) محصولات شاخص پوشش گیاهی سنجنده مودیس (Mod13A3 v006) برای شناسایی تغییرات پوشش گیاهی، (۵) دمای شب هنگام و روز هنگام سطح زمین سنجنده مودیس (MOD11A2 v006) و در نهایت (۶) داده‌های بازکاوی (ERA5) به منظور بررسی روند تغییرات دمای سطح زمین و هوا از پایگاه‌های بین‌المللی اخذ گردید مشخصات و تارنمای اخذ این داده‌ها در جدول ۱ آمده است.

جدول (۱). فراسنج‌های استفاده شده در پژوهش

تارنما	تفکیک زمانی	تفکیک مکانی	فراسنج	محصول
https://ipad.fas.usda.gov	روزانه		تغییرات تراز ارتفاعی دریاچه	TOPEX, Jason1,2,3
https://earthexplorer.usgs.gov	روزانه	۳۰×۳۰ (m)	تغییرات پهنه آبی دریاچه	Landsat
https://giovanni.gsfc.nasa.gov	ماهانه	۰/۱×۰/۱ (°)	بارش	IMERG
https://www.ecmwf.int	ماهانه	۰/۱×۰/۱ (°)	دمای هوای ۲ متری	ERA5
https://lpdaacsvc.cr.usgs.gov	ماهانه	۱×۱ (KM)	پوشش گیاهی (NDVI)	Mod13A3 v006
https://lpdaacsvc.cr.usgs.gov	۸ روزه	۱×۱ (KM)	دمای سطح زمین (LST)	MOD11A2 v006

در گام نخست با استفاده از داده‌های ماهواره‌های TOPEX و جیسون ۱ تا ۳ تراز ارتفاعی روزانه آب دریاچه استخراج و برای نمایش روند تغییرات، سری زمانی داده‌های تراز ارتفاعی آب دریاچه ترسیم گردید.

در ادامه برای بررسی تغییرات پهنه آبی دریاچه، از شاخص تفاضل نرمال شده^۳ آب اصلاح شده^۳ تصاویر ماهواره لندست ۷ سال ۲۰۰۰ و لندست ۸ سال ۲۰۱۹ (McFeeters, 1996: 1425) استفاده شد. با توجه به تعادل تقریبی سطح دریاچه تا سال ۲۰۰۰ و قبل از رخداد

1- Global satellite Measurement

2- Integrated Multi-Satellite Retrievals for GPM

3- Modified Normalized Difference Water Index(MNDWI)



خشکسالی شدید و سراسری این سال (کریمی و همکاران، ۱۳۹۸: ۵۵۰) عنوان سال پایه برای بررسی تغییر سطح در انتهای دوره در نظر گرفته شد. حساسیت بالای این شاخص به رطوبت باعث شده است افزون بر شناسایی منابع آبی، در مطالعات تنش پوشش گیاهی، مطالعات شاخص سطح برگ (LAI)^۱ و مدل سازی محصولات کشاورزی نیز کاربرد داشته باشد. بنابراین برای تغییرات پهنه آبی دریاچه از شاخص (MNDWI) که نسبت گیری بین باندهای سبز و مادن قرمز کوتاه است، استفاده گردید. این شاخص از طریق رابطه (۱) به دست آمد (McFeeters, 1996: 1425).

$$MNDWI = \frac{Green - SWIR2}{Green + SWIR2} \quad (1)$$

سپس داده‌های دمای سطح زمین (شب و روز هنگام) محصولات MOD11A2 v006، با استفاده از نرم افزار MATLAB به داده-های ماهانه تبدیل گردید. از آنجا که تغییرات تراز ارتفاعی و پهنه آبی دریاچه در طی سال های مطالعه پیوسته کاهش یافته بودند، فقط روند تغییرات برای داده‌های بارش، دمای ۲ متری هوا، دمای سطح زمین (شب و روز هنگام) و پوشش گیاهی (NDVI) با استفاده از آزمون من-کندال (MK^۲) بررسی گردید.

این آزمون توسط Mann (۱۹۴۵) ارائه و سپس توسط Kendall (۱۹۷۵) توسعه یافت. هدف از این آزمون، ارزیابی آماری وجود روند یکنواخت بالا و یا پایین در متغیرهای مورد نظر در طول زمان است. در آزمون من کندال، فرض صفر (H^۰) مستقل بودن و یکنواختی توزیع داده‌های نمونه [X_i=i=1,2,...,n] و فرض مقابل (H₁) وجود یک روند یکنواخت در داده‌ها است (Mann, 1945; Kendall, 1975).

$$S = \sum_{i=2}^n \sum_{j=1}^{i-1} (\text{sign}(x_i - x_j)) \quad (2)$$

$$\text{Sign}(x) = \begin{cases} 1 & \text{if } (x_i - x_j) > 0 \\ 0 & \text{if } (x_i - x_j) = 0 \\ -1 & \text{if } (x_i - x_j) < 0 \end{cases} \quad (3)$$

$$(S) = \frac{n(n-1)(2n+5)}{18} \text{Var} \quad (4)$$

$$Z = \begin{cases} \frac{S-1}{\sqrt{\text{Var}(S)}} & \text{if } S > 0 \\ 0 & \text{if } S = 0 \\ \frac{S+1}{\sqrt{\text{Var}(S)}} & \text{if } S < 0 \end{cases} \quad (5)$$

که، x_i و x_j مشاهدات سری زمانی و n طول سری زمانی است. آمار Z از توزیع نرمال استاندارد با میانگین صفر و واریانس واحد پیروی می کند که ارزش صفر عدم وجود روند، ارزش Z مثبت روند رو به بالا و ارزش Z منفی رو به پایین را نشان می دهد (جدول ۲).

1- Leaf Area Index

2- Mann-Kendall

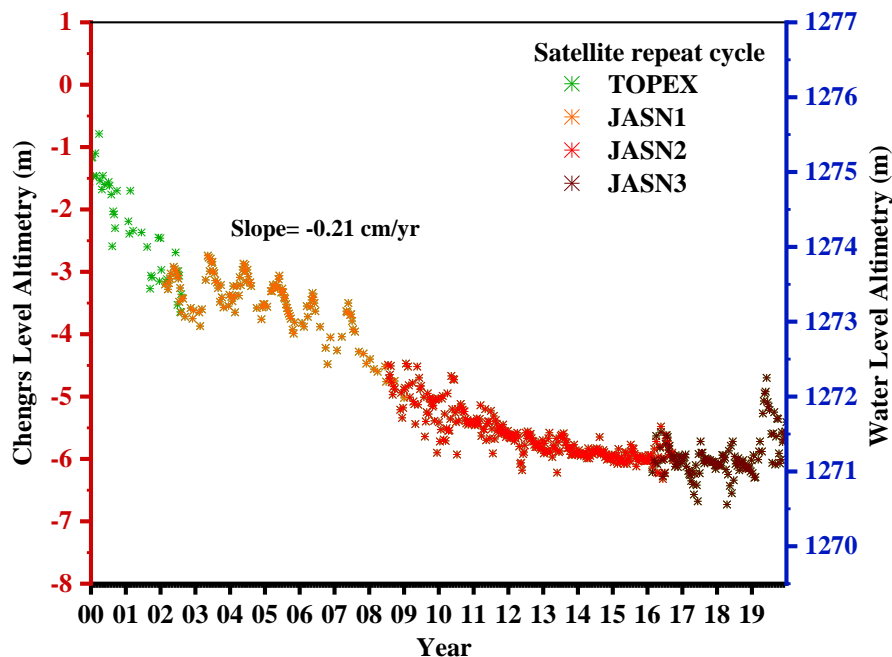
جدول (۲). طبقه‌بندی آزمون من-کندال. توزیع فضایی سطح معنی‌داری روندها **،*** و * به ترتیب ($P > 99\%$)، ($95\% < P < 99\%$) و ($P > 90\%$) می‌باشد.

علامت	(*)	(**)	(***)	علامت
تعریف	روند کاهش (۹۰٪)	روند کاهش (۹۵٪)	روند کاهش (۹۹٪)	تعریف
Z-Value	$\alpha = 0.1 = -1/64$	$\alpha = 0.05 = -1/96$	$\alpha = 0.05 = -1/96$	Z-Value
علامت	+(*)	+(**)	+(***)	علامت
تعریف	روند افزایش (۹۰٪)	روند افزایش (۹۵٪)	روند افزایش (۹۹٪)	تعریف
Z-Value	$\alpha = 0.1 = 1/64$	$\alpha = 0.05 = 1/96$	$\alpha = 0.05 = 1/96$	Z-Value

یافته‌ها

تغییرات تراز ارتفاعی

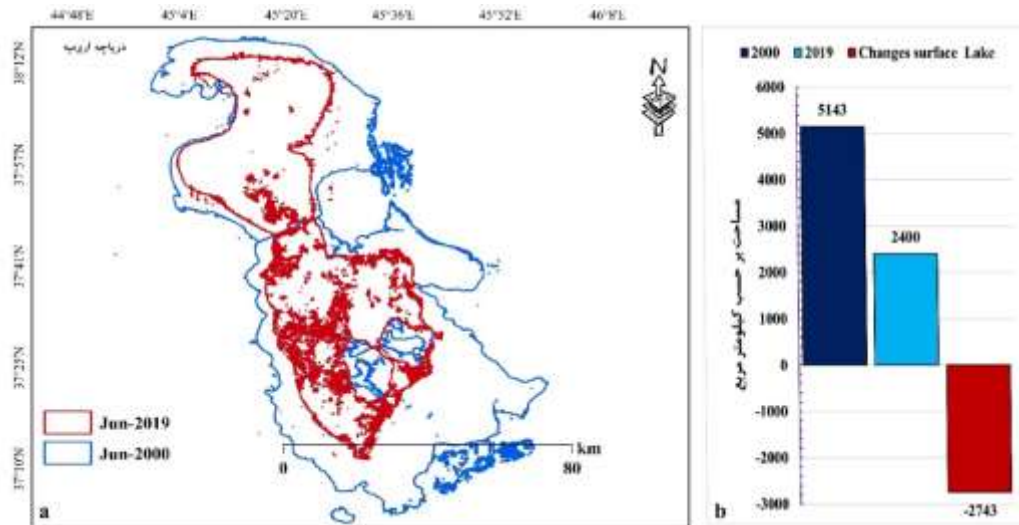
بیشترین تغییرات تراز ارتفاعی در دو دهه اخیر مربوط به سال ۲۰۰۰ تا ۲۰۱۰ می‌باشد (شکل ۲). پایین‌ترین تراز ارتفاعی با سطح تراز ۱۲۷۰/۳۲ متر در سال ۲۰۱۸ بوده است. افت تراز از همان سال ۲۰۰۰ مشهود است، از آن سال تا سال ۲۰۱۰ تراز آب دریاچه ۴ متر کاهش یافته و بیشترین شیب کاهش سطح تراز ارتفاعی نیز در همین بازه مشاهده می‌گردد. به طور کلی، این میزان تغییرات تراز ارتفاعی دریاچه ارومیه بیانگر کاهش هفت متری در بیست سال اخیر می‌باشد. در سال ۲۰۱۹، تراز آب کمی روند افزایش (۱/۵) متر یافته است.



شکل (۲). نمودار سطح تراز ارتفاعی آب دریاچه‌ها از سال ۲۰۰۰ تا ۲۰۱۹

تغییرات پهنه آبی

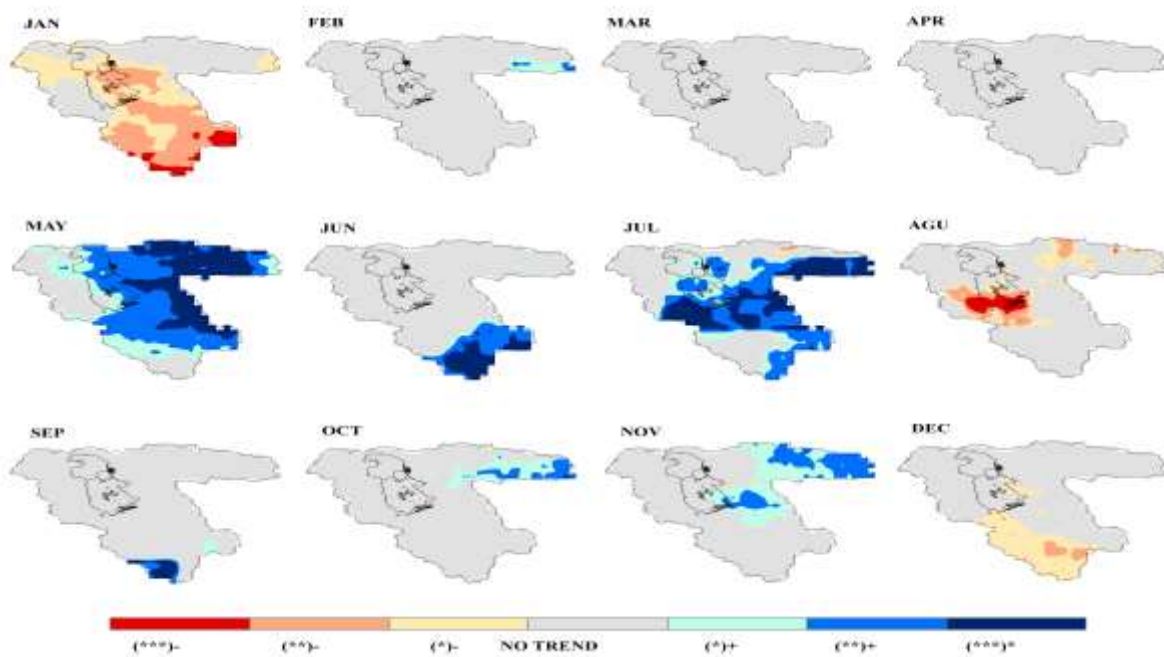
تغییر مساحت به دست آمده از شاخص MNDWI داده‌های لندست ۷ و ۸ بیش از ۵۰٪ درصد مساحت دریاچه در سال ۲۰۱۹ نسبت به سال پایه (۲۰۰۰) بوده است (شکل ۳ ب). این تغییر مساحت به میزان 2740 km^2 باعث شده، سطح دریاچه از 5143 km^2 به 2400 km^2 در سال ۲۰۱۹ کاهش یابد. این روند کاهش بسیار چشمگیر در شکل ۳ الف که مرز پهنه آبی را در دو سال ۲۰۰۰ و ۲۰۱۹ نشان می‌دهد به وضوح قابل مشاهده است. بر اساس این شکل، کاهش سطح دریاچه در بخش جنوبی و شرقی آن بیشتر از بخش غربی و شمالی بوده است. این نتایج با داده‌های محاسبه شده از داده‌های آلتیمتری (شکل ۲) تطابق دارد.



شکل (۳). (a) تغییرات پهنه آبی دریاچه ارومیه بین سال‌های ۲۰۰۰ تا ۲۰۱۹؛ (b) مساحت پهنه آبی دریاچه ارومیه با استفاده از شاخص MNDWI در دو سال ۲۰۰۰ و ۲۰۱۹ (بر حسب km^2)

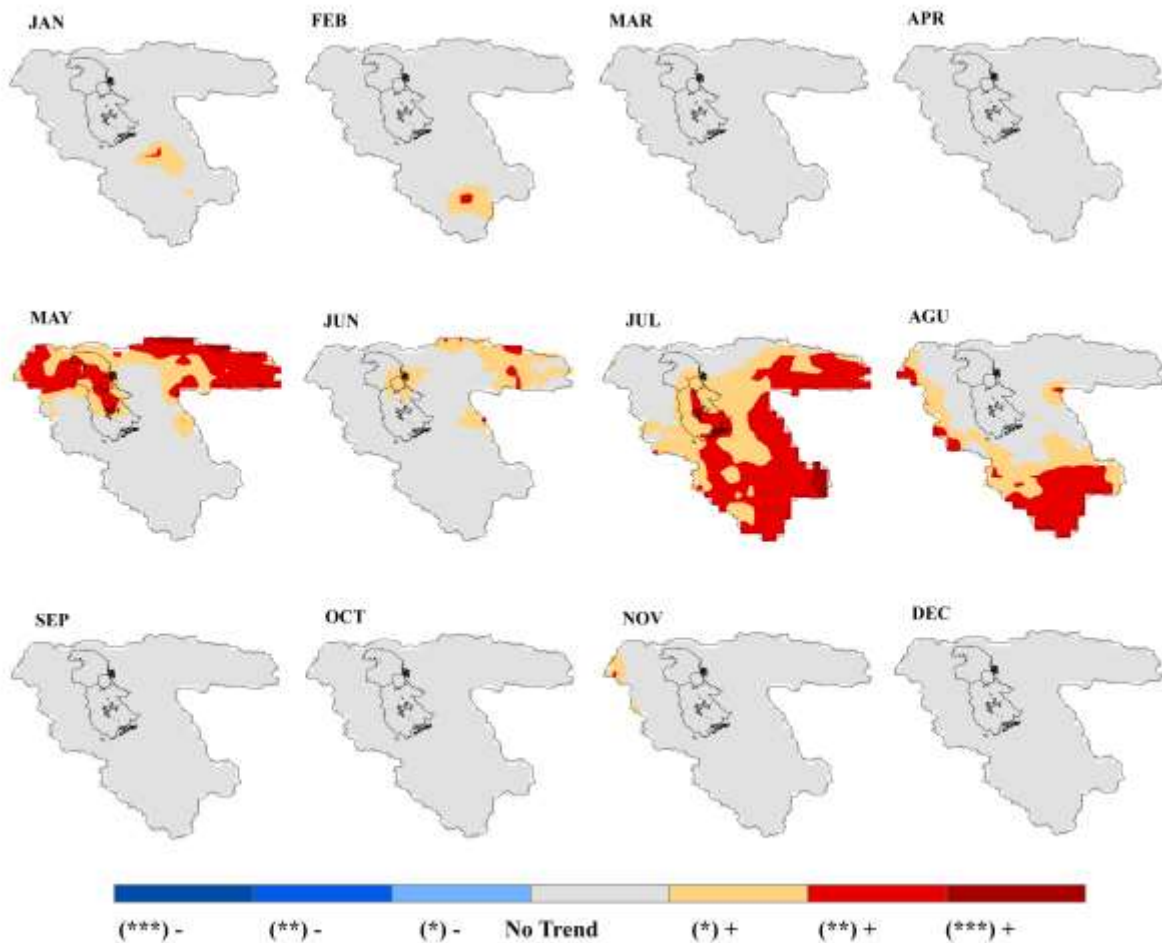
روند تغییرات بارش و دما

روند تغییرات بارش ماهانه دو الگوی زمانی و مکانی متفاوت را نشان می‌دهد (شکل ۴). روند کاهشی بارش در ماه‌های ژانویه، آگوست و دسامبر دیده می‌شود. پهنه کاهشی ماه ژانویه از دو ماه دیگر بیشتر بوده و تقریباً دو سوم حوضه را پوشش داده است. نکته حائز اهمیت این که روند کاهشی در هر سه ماه در نواحی میانی و جنوبی حوضه وجود دارد. در مقابل در ماه‌های می و ژوئیه روند افزایشی مشخصی در نیمه شرقی و جنوبی حوضه مشاهده می‌شود. این شرایط در ماه ژوئن، سپتامبر، اکتبر و نوامبر البته با پهنه‌های کوچک‌تر در همان نواحی قابل رویت است. در دیگر ماه‌های سال بارش تغییرات معنی‌داری را نشان نداده است. (شکل ۴).



شکل (۴). روند تغییرات بارش ماهانه (۲۰۰۰_۲۰۱۹)

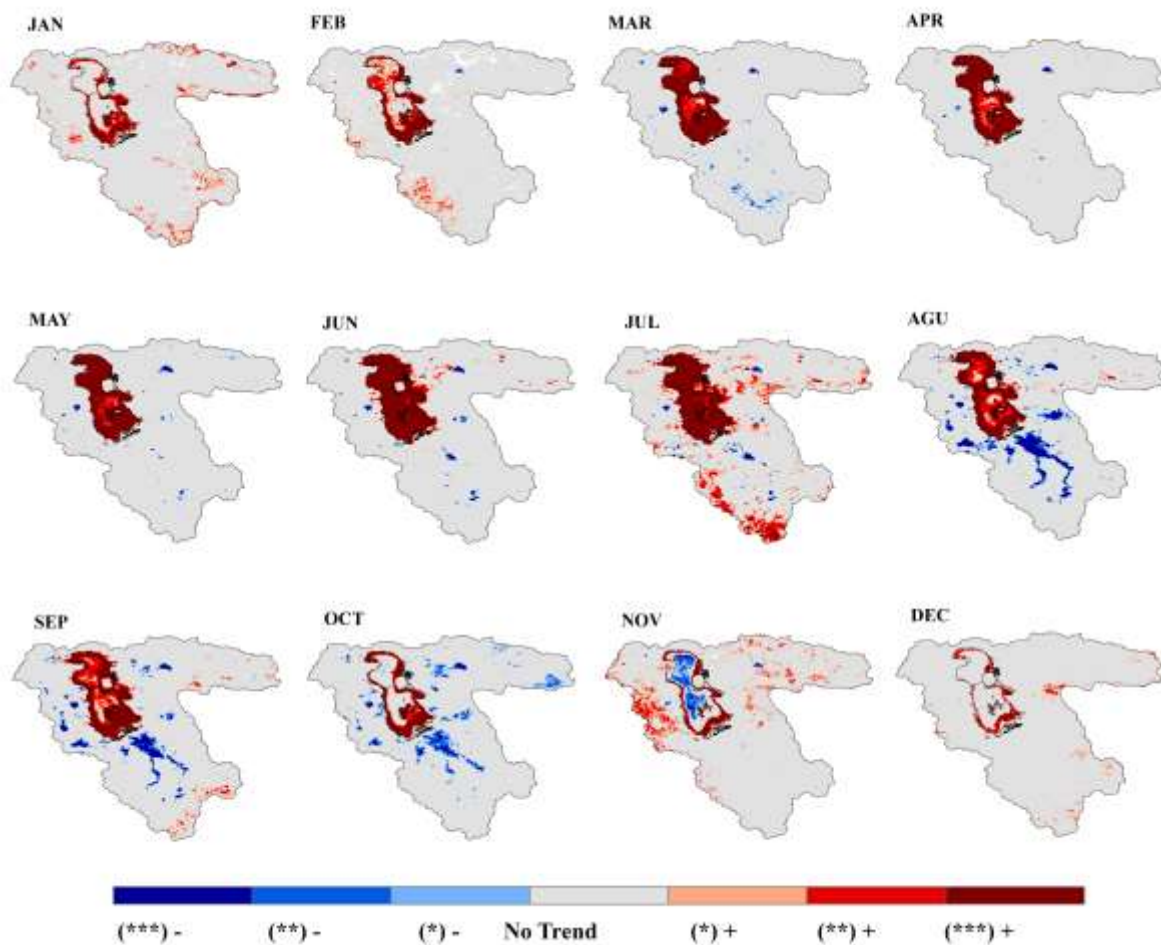
اما روند تغییرات دمای هوای ۲ متری تنها در ماه‌های دوره گرم یعنی می، ژون، ژولای و اگوست معنی‌دار بوده است. روند دما در این ماه‌ها افزایشی است که در ماه می در نیمه شمالی و شرقی، در ماه ژولای در نیمه جنوبی و شرقی و در ماه اگوست در جنوب و غرب مشاهده می‌شود. جابجایی مکانی تغییرات افزایشی دمای هوا یک حرکت ساعتگرد از شمال به شرق و در ادامه جنوب و غرب را از ماه می الی ماه اگوست نشان می‌دهد. در ماه‌های ژانویه، فوریه و نوامبر فقط پهنه بسیار کوچکی به ترتیب در مرکز (صائین قلعه)، جنوب (میان‌دوآب و سقز) و شمال غرب (سلماس) حوضه وجود دارد (شکل ۵).



شکل (۵). روند تغییرات دمای هوا ماهانه (۲۰۱۹-۲۰۰۰)

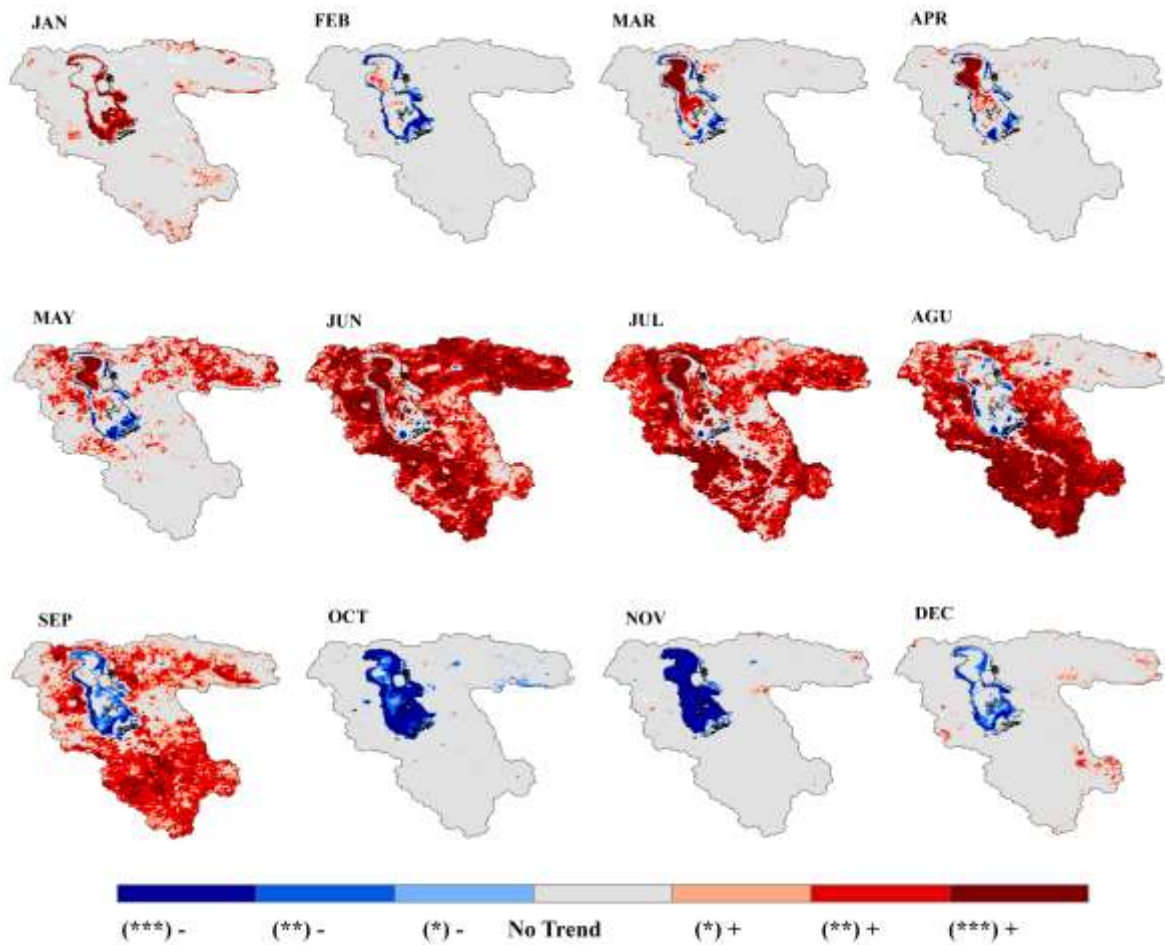
روند تغییرات دمای سطح زمین

همانطور که گفته شد برای بررسی روند تغییرات دمای سطح‌زمین از دماهای دو زمان روز و شب استفاده شده است (شکل ۶). روند تغییرات دمای سطح زمین روزنگام حوضه آبریز دریاچه ارومیه در طی دو دهه گذشته (۲۰۱۹-۲۰۰۰) یک تضاد فضایی مابین سطح دریاچه و سطح‌زمین را نشان می‌دهد. این تضاد رفتاری با افزایش دمای سطح دریاچه و روند کاهش در مناطق جنوبی و غربی منطبق بر نواحی کشاورزی در ماه‌های اگوست، سپتامبر و اکتبر بیشتر نمایان می‌باشد. بالاترین روند افزایشی دمای سطح دریاچه در ماه‌های می تا اگوست، به علت کاهش حجم و عمق آب دریاچه ناشی از کاهش ورودی و تبخیر بیشتر در این زمان از سال قابل مشاهده است. تغییر رفتار دمای سطح‌زمین در سطح حوضه از ماه نوامبر الی فوریه که پهنه‌های پراکنده و کوچک افزایشی در آن مشاهده می‌گردد، نیز می‌تواند به علت کاهش سبزیگی و پوشش گیاهی در دوره سرد سال باشد (شکل ۶).



شکل (۶). روند تغییرات ماهانه دمای سطح زمین روز هنگام (۲۰۱۹_۲۰۰۰)

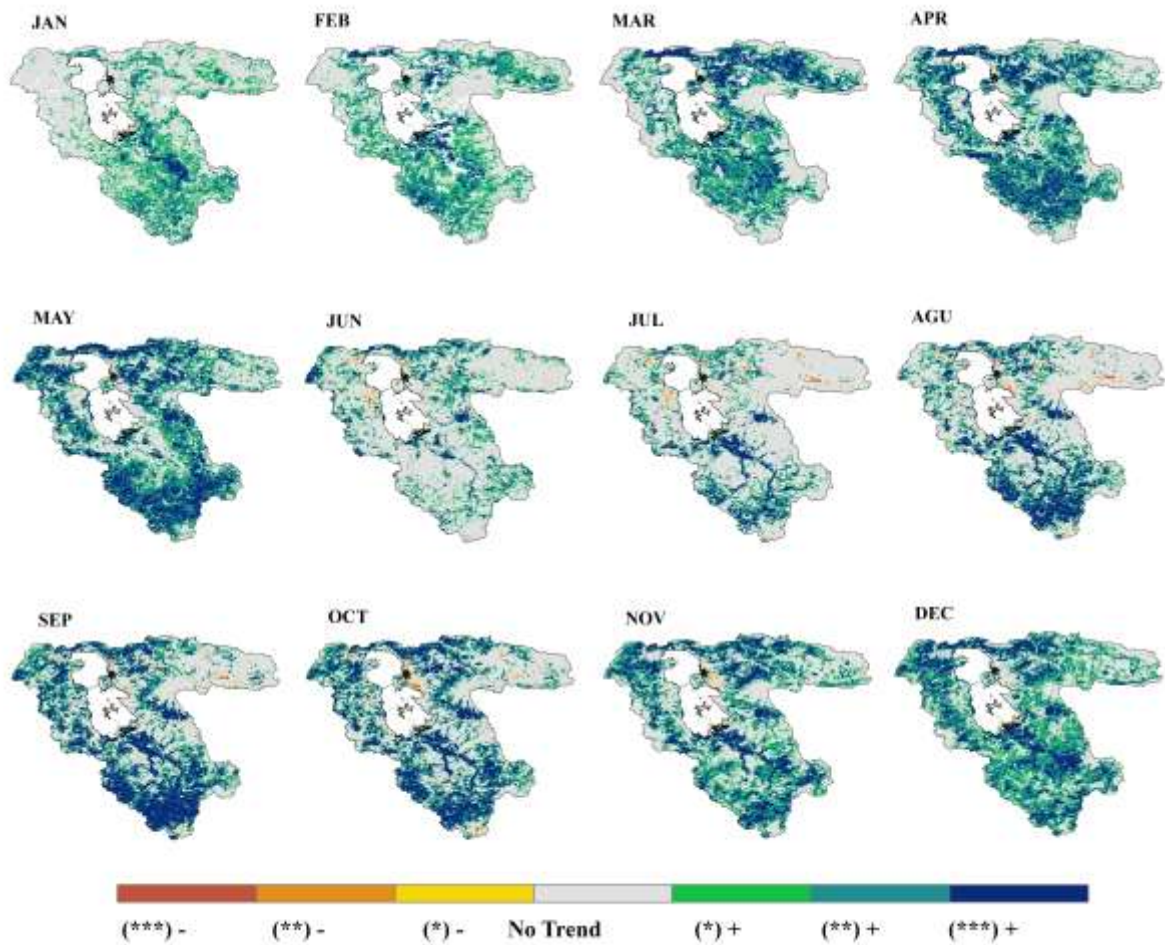
برخلاف دمای روز هنگام سطح زمین، در شب هنگام آن چیزی که بیشتر به چشم می‌آید، پهنه‌های بزرگ افزایشی دما به خصوص از ژون الی سپتامبر در سراسر حوضه است (شکل ۷). با توجه به این شکل در این ۴ ماه مذکور، علاوه بر سطح زمین، دمای سطح دریاچه در دو ماه ژون و ژولای نیز افزایشی بوده که این شرایط در ماه‌های ژانویه، مارس و آوریل، می، آگوست و دسامبر روند کاهشی را نشان داده‌اند. ماه‌های اکتبر و نوامبر و بخش‌های حاشیه‌ای آن در ماه‌های فوریه، مارس، آوریل، می، آگوست و دسامبر روند کاهشی را نشان داده‌اند. این تفاوت زمانی و روند در دمای روز هنگام سطح دریاچه نیز مشاهده می‌شد که فقط در ماه اکتبر این همخوانی وجود ندارد. نکته دیگر این که سطوح کشاورزی و پوشش گیاهی که در روز هنگام پهنه‌های کاهشی دما را به خود اختصاص داده بود در شب یا افزایشی بوده‌اند و یا روند خاصی نداشته‌اند (شکل ۷).



شکل (۷). روند تغییرات ماهانه دمای سطح زمین شب هنگام (۲۰۱۹_۲۰۲۰)

روند تغییرات پوشش گیاهی (NDVI)

NDVI در بازه زمانی ۲۰۱۹-۲۰۲۰ از یک روند صعودی در همه ماه‌ها، البته با شدت و وسعت متفاوت برخوردار بوده است (شکل ۸). سه الگوی زمانی در روند تغییرات پوشش گیاهی حوضه قابل درک است. الویت روند افزایشی از ماه ژانویه الی می، بعد از آن شروع روند کاهش از ژون که تا آگوست ادامه داشته و دوباره روند افزایشی که تا ماه دسامبر ادامه داشته است. کمترین پهنه‌های افزایشی در ماه‌های فصل تابستان از ژون الی آگوست مشاهده می‌شود. همچنین در این سه ماه پهنه‌های پراکنده و کوچک کاهش در شرق (دشت سراب) و چند ناحیه پراکنده در حاشیه دریاچه دیده می‌شود. این افزایش قابل توجه در پوشش گیاهی حوضه می‌تواند هم از تغییر روند بارش و دمای در ماه‌های مختلف که در بالا اشاره شد و هم از افزایش سطح زمین‌های کشاورزی که در چند دهه اخیر رشد قابل توجهی داشته‌اند، باشد (شکل ۸).



شکل (۸). روند تغییرات ماهانه پوشش گیاهی (۲۰۱۹_۲۰۰۰)

بحث و بررسی

دریاچه ارومیه از سال ۲۰۰۰ یک روند کاهش تراز آب بدون وقفه را تجربه کرده است، به گونه‌ای که در طی بیست سال اخیر بیش از هفت متر کاهش سطح آبی را داشته است. علاوه بر تراز ارتفاعی طی این سال‌ها، دریاچه ارومیه بیش از نیمی (2743 Km^2) از مساحت پهنه آبی خود را از دست داده و مساحت آن از 5143 Km^2 در سال ۲۰۰۰ به 2400 Km^2 در سال ۲۰۱۹ رسیده است. روند کلی کاهش تراز آب در مطالعات آل‌شیخ (۱۳۸۴)؛ رسولی و همکاران (۱۳۸۷)؛ زینالی و اصغری سراسکانرود (۱۳۹۴)، دسترنج و همکاران (۱۳۹۷) و Sattari و همکاران (۲۰۲۰) نیز اشاره شده است. یکی از دلایل افت تراز آب و کاهش سطح بخش قابل ملاحظه‌ای از آن تحت تأثیر بخش کشاورزی و بهره‌برداری از منابع آب حوضه آبریز آن بوده باشد (فتحیان، ۱۳۹۱). نتایج پژوهش حاضر نشان داد که روند افزایشی معنی‌داری در شاخص NDVI در سطح حوضه به‌ویژه با تمرکز جنوب حوضه وجود داشته است. که با نتایج مطالعات قلیزاده و همکاران (۱۳۹۷)، فرخ‌نیا و همکاران (۱۳۹۷) و اسماعیل‌نژاد و زینال‌نژاد (۱۳۹۸) مطابقت دارد. این در حالی است که در سطح حوضه روند تغییرات بارش در این بازه زمانی (۲۰۰۰-۲۰۱۹) به طور کلی معنی‌دار نبوده (شکل ۴)، همچنین با توجه به بروز خشکسالی متعدد در سطح حوضه که روند افزایشی نیز داشته (زینالی و صفریان زنگیر ۱۳۹۶؛ میرزایی حسنلو و همکاران ۱۳۹۹)، گسترش اراضی زیرکشت آبی (یونس‌زاده جلیلی و همکاران، ۱۳۹۵: ۱۵) و تقاضای آب‌های زیرزمینی بیشتر گردیده است. بنابراین این مسئله گویای دلایل مختلفی به غیر از تغییرات فراسنج‌های اقلیمی بویژه بارش در کاهش سطح آب دریاچه ارومیه می‌باشد. همان‌طور که در نتایج برخی از تحقیقات، سهم تأثیر عوامل طبیعی در روند نزولی تراز دریاچه بسیار کم می‌باشد (عزیزی و همکاران، ۱۳۹۶: ۱). هرچه زینالی و صفریان زنگیر (۱۳۹۶)،

میرزایی حسنی و همکاران (۱۳۹۹) و واعظی‌هیر و همکاران (۱۳۹۵) رخداد خشکسالی‌ها در سطح حوضه آبریز دریاچه ارومیه مؤثر بر کاهش تراز آب دریاچه ارومیه دانسته‌اند ولی علل اصلی این تغییرات را به غیر از عوامل طبیعی، در عوامل انسانی (تغییر کاربری اراضی و افزایش بهره‌برداری از منابع آب) (فتحیان و همکاران، ۱۳۹۲؛ لک همکاران، ۱۳۹۰: ۳۵۶) و مدیریت منابع آب باید جستجو کرد. علاوه بر موارد ذکر شده، دمای سطح زمین روز هنگام و شب هنگام در دوره گرم سال و همچنین دمای هوا بر روی دریاچه روند افزایشی داشته (شکل ۵، ۶ و ۷) که با مطالعات خوش‌اخلاق و همکاران (۱۳۹۲: ۱) و سعیدآبادی (۱۳۹۵: ۴۴) مطابقت دارد. این افزایش بالطبع باعث تشدید تبخیر به‌خصوص در دوره‌ای که تغذیه آن با توجه به خشکی فصلی کاهش داشته، می‌شود (سعیدآبادی، ۱۳۹۵: ۴۷). اگرچه در انتهای فصل بهار ریزش بارش افزایش (شکل ۴) یافته است ولی با روند افزایشی دما (شکل ۵)، افزایش بارش با فزونی میزان تبخیر و تعرق و نیاز آبی گیاهان (شیدائیان و همکاران، ۱۳۹۳: ۱۲۸۴) خنثی می‌گردد. بنابراین تغییر توأم فراسنج‌های محیطی و جوی را می‌توان تشدید کننده شرایط رخدادها مخاطر آمیز در این حوضه دانست. همچنین، با در نظر گرفتن نتایج تحقیقاتی که دورنمای شرایط حوضه در آینده همانند: کاهش رواناب سطحی، کاهش بارش (کریمی و نبی‌زاده، ۱۳۹۷)، افزایش دمای حداکثر و حداقل (گودرزی و همکاران، ۱۳۹۴؛ صلاحی و همکاران، ۱۳۹۶) و وقوع خشکسالی (جهانبخش اصل و قویدل رحیمی، ۱۳۸۳) که پیامدهای این تغییرات منجر به تغییر میکروکلیمای و با بالا رفتن نیاز آبی به اجبار کاهش سطح زیر کشت گردد (خوش‌اخلاق و همکاران، ۱۳۹۲: ۱؛ Delju et al., 2013; Chaharborj, 2014; Zagharimi, 2015: 5) در نتیجه می‌تواند بروز بحران‌های زیست محیطی، اجتماعی و اقتصادی را در منطقه شمال غرب کشور فراهم کند (بارانی پسیان و همکاران، ۱۳۹۶: ۴۴۱).

نتیجه‌گیری

تغییرپذیری فراسنج‌های محیطی و اقلیمی از جمله نگرانی‌های اصلی محیط زیست به شمار می‌رود. ارزیابی این تغییرپذیری فرآیندی است که به ایجاد درک صحیحی از نحوه تعامل انسان و محیط زیست منجر می‌شود. این پژوهش تغییرپذیری فراسنج‌های اقلیمی و محیطی در حوضه آبریز دریاچه ارومیه در دو دهه اخیر (۲۰۱۹-۲۰۰۰) با استفاده از فراسنج‌های محیطی (تراز ارتفاعی و پهله آبی دریاچه ارومیه و LST و NDVI) و اقلیمی (بارش و دمای هوا) حوضه آبریز دریاچه ارومیه بررسی نموده است. نتایج مشاهده شده در این پژوهش با بسیاری از تحقیقات پیشین در خصوص تغییرات کاهش تراز آبی و سطح دریاچه، روند افزایشی دمای هوا، سطح زمین و NDVI در حوضه آبریز انطباق دارد. نتایج مطالعه نشان می‌دهد که به طور کلی بیشترین تغییرپذیری در این حوضه در تراز آب و سطح دریاچه همراه با افزایش پوشش گیاهی و دمای سطح زمین شب هنگام حوضه قابل مشاهده است. براساس بررسی انجام شده در این پژوهش، می‌توان نتیجه گرفت که حوضه آبریز دریاچه ارومیه آسیب‌پذیر شده است. بنابراین سه اثر اصلی و چشمگیر تغییرپذیری فراسنج‌های محیطی و اقلیمی در این حوضه شامل افزایش دمای سطح زمین و هوا، پوشش گیاهی و کاهش منابع آب است. نتیجه نهایی شرایط مذکور از یک سو و افزایش نیاز آبی گیاهان از سوی دیگر باعث افزایش فشار بر منابع آب به‌ویژه آب‌های زیرزمینی شده و خواهد شد. کاهش سطح دریاچه و افزایش مصرف و کاهش منابع آب، می‌تواند منجر به گسترش سطوح عریان و رخداد ریزگردها گردد. زمانی- که این مخاطرات با خشک شدن دریاچه همراه شود، بروز طوفان گردوغبار نمکی امری اجتناب‌ناپذیر خواهد بود. در نهایت می‌توان گفت پیامدهای این تغییرات در حوضه دریاچه ارومیه منجر به تغییر خرداقلیم و محیط‌زیست آن گردیده است.



منابع

- احمدیان، محمدعلی، اصغری، سمیرا (۱۳۹۲). عواقب زیست محیطی کاهش سطح آب دریاچه ارومیه و راهکارهای نجات آن، *جغرافیایی سرزمین*، سال دهم، شماره ۴۰، صص: ۹۶-۸۱.
- اسماعیل نژاد، رضا، زینال زاده، کامران (۱۳۹۸). *ارزیابی* تغییرات کاربری اراضی با استفاده از سنجش از دور و سیستم اطلاعات جغرافیایی در زیر حوضه نازلوچای، مدیریت خاک و تولید پایدار. جلد نهم، شماره چهارم، صص: ۱۷۲-۱۵۹.
- اصغری سراسکانرود، صیاد، جلالی عنصرودی، طاهره، زینالی، بتول (۱۳۹۲). تحلیل تغییرپذیری وضعیت گردشگری شهرهای واقع در اطراف دریاچه ارومیه، *برنامه‌ریزی منطقه‌ای*، سال سوم، شماره ۱۱، صص: ۹۹-۱۱۴.
- آل شیخ، علی اصغر، علی محمدی، عباس، قربانعلی، علی (۱۳۸۴). پایش خطوط ساحلی دریاچه ارومیه با استفاده از سنجش از دور، *تحقیقات کاربردی علوم جغرافیایی*. دوره ۴، شماره ۴، صص: ۲۵-۹.
- بارانی پسبان، وحید، پواکرامی، محمد، فتوحی مهربانی، پواکرامی، سعید (۱۳۹۶). تحلیل روند خشک شدن دریاچه ارومیه و مهم‌ترین تأثیرات آن بر سکونتگاه‌های پیرامونی، *فصلنامه پژوهش‌های روستایی*. دوره ۸، شماره ۳، صص: ۴۵۳-۴۳۸.
- پروین، نادر (۱۳۹۰). الگوهای سینوپتیکی شدیدترین خشکسالی حوضه آبریز دریاچه ارومیه، *تحقیقات جغرافیایی*، سال ۲۵، شماره ۸۱۰، صص: ۱۰۷-۸۹.
- جهانبخش اصل، سعید، قوبدل رحیمی، یوسف (۱۳۸۳). مدل‌سازی روند بارش و پیش‌بینی خشکسالی‌های حوضه‌های آبریز دریاچه ارومیه، *علوم انسانی و اجتماعی دانشگاه تبریز*. شماره ۱۷، صص: ۵۲-۳۳.
- حسنی مهمویی، بهروز، درویش، محمد، فتح‌الله زاده، همایون، مسیبه، مهرداد (۱۳۹۰). نقش تغییرات آب‌وهوایی و اقلیمی در کاهش تراز سطح آب دریاچه ارومیه، *همایش ملی تغییر اقلیم و تأثیر آن بر کشاورزی و محیط زیست*. تبریز.
- حسینی موغاری، سید محمد، عراقی نژاد، شهاب، ابراهیمی، کیومرث (۱۳۹۶). بررسی دقت اطلاعات بارش شبکه‌بندی شده جهانی در حوضه دریاچه ارومیه، *تحقیقات آب و خاک ایران*، دوره ۴۸، شماره ۳، صص: ۵۹۸-۵۸۷.
- خوش‌اخلاق، فرامرز، حیدری، محمدمامین، مرادی مقدم، محمدمامین، مولایی پارده، اصغر (۱۳۹۲). شبیه‌سازی تغییرات رژیم دمای مراغه در اثر خشک شدن دریاچه ارومیه، *جغرافیا و مخاطرات محیطی*. دوره ۲، شماره پیاپی ۸، شماره ۴، صص: ۱۸-۱.
- دسترنج، حمیدرضا، توکلی، فرخ، سلطانیپور (۱۳۹۷). بررسی تغییرات سطحی و حجمی آب دریاچه ارومیه با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای و ارتفاع‌سنجی ماهواره‌ای، *اطلاعات جغرافیایی*، دوره ۲۷، شماره ۱۰۷، صص: ۱۶۳-۱۴۹.
- دین پژوه، یعقوب، جهانبخش اصل، سعید، موسوی جهانی، لیلیا (۱۴۰۰). مدل‌سازی تبخیر و تعرق بالقوه با استفاده از فراسنج‌های هواشناسی (مطالعه موردی: حوضه دریاچه ارومیه)، *جغرافیا و برنامه‌ریزی*. سال ۲۵، شماره ۷۵، صص: ۱۳۹-۱۲۷.
- ذوالجودی، مجتبی، صناعی، بهرام، غفاریان، پروین (۱۳۹۶). بررسی ارتباط بین دوره‌های خشکسالی و ترسالی حوضه آبریز دریاچه ارومیه با الگوی پیوند از دور نوسان اطلس شمالی، *تحقیقات جغرافیایی*، سال سی و دوم، شماره دوم، شماره پیاپی ۱۲۵، صص: ۱۱۹-۱۰۶.
- رسولی، علی اکبر، رستم‌زاده، هاشم، ساری صراف، بهروز، امیدفر، محمد (۱۳۹۹). بررسی کارایی رادار داپلر با استفاده از داده‌های بارندگی ایستگاه‌های سینوپتیک حوضه دریاچه ارومیه (مطالعه موردی بارش مهرماه ۱۳۹۳)، *جغرافیا و برنامه‌ریزی*، سال ۲۴، شماره ۷۲، صص: ۲۶۶-۲۴۷.
- رسولی، علی اکبر، رضائی بنفشه، مجید، مساح بوانی، علیرضا، خورشید دوست، علی محمد، قرمزچشمه، باقر (۱۳۹۳). بررسی اثر عوامل مرفو-اقلیمی بر دقت ریزمقیاس گردانی مدل LARS-WG، *آبخیزداری ایران*، جلد ۸، شماره ۲۴، صص: ۱۸-۹.
- رسولی، علی اکبر، شیرزاد، عباسیان، جهانبخش، سعید (۱۳۸۷). پایش نوسان‌های سطح آب دریاچه با پردازش تصاویر ماهواره‌ای چند سنجنده‌ای و چند زمانه، *مدرس علوم انسانی*. دوره ۱۲، شماره ۲، پیاپی ۵۷، صص: ۷۱-۵۴.
- زاهدی قره آبادی، مجید، قوبدل رحیمی، یوسف (۱۳۸۱). شناخت، طبقه‌بندی و پیش‌بینی خشکسالی با استفاده از روش سری‌های زمانی در حوضه آبریز ارومیه، *فضایی جغرافیایی*. دوره ۲، شماره ۶، صص: ۴۸-۱۹.

- زاهدی قره آبادی، مجید، قویدل رحیمی، یوسف (۱۳۸۶). تعیین آستانه خشکسالی و محاسبه میزان بارش قابل اعتماد ایستگاه‌های حوضه آبریز دریاچه ارومیه، *پژوهش‌های جغرافیایی*، شماره ۵۹، صص: ۳۴-۲۱.
- زینالی، بتول، اصغری سراسکانرود، صیاد (۱۳۹۴). بررسی تغییرات خط ساحلی تراز آب دریاچه ارومیه و تأثیر آن بر شهرهای واقع در حوضه آن، *پژوهش‌های بوم‌شناسی شهری*، سال سوم، شماره ۲، پیاپی ۶، صص: ۱۰۳-۱۱۶.
- زینالی، بتول، صفریان زنگیر، وحید (۱۳۹۶). پایش خشکسالی در حوضه دریاچه ارومیه با استفاده از شاخص فازی، *مخاطرات محیط طبیعی*، سال ششم، شماره دوازدهم، صص: ۳۷-۶۲.
- سعیدآبادی، رشید (۱۳۹۵). بررسی اثر تغییرپوشش سطحی بر تغییرات رژیم دما، بارش و رطوبت در بخش‌های شرقی و غربی دریاچه ارومیه، *مطالعات جغرافیایی مناطق خشک*. دوره ششم، شماره بیستم و سوم، صص: ۳۴-۴۹.
- شایان، سیاوش، جنتی، مهدی (۱۳۸۶). شناسایی نوسانات مرز پیرامونی و ترسیم نقشه پراکنش مواد معلق دریاچه ارومیه با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای (سنجنده‌های ETM, TM & LISIII)، *پژوهش‌های جغرافیایی*. شماره ۶۲، صص: ۳۹-۲۵.
- شیدائیان، مجید، ضیاء تبار احمدی، میرخالق، فضل اولی، رامین (۱۳۹۳). تأثیر تغییرات اقلیم بر نیاز خالص آبیاری و عملکرد محصول برنج (مطالعه موردی: دشت تجن)، آب و خاک (علوم و صنایع کشاورزی). جلد ۲۸، شماره ۶، صص: ۱۲۹۷-۱۲۸۴.
- صلاحی، برومند، گودرزی، مسعود، حسینی، سیداسعد (۱۳۹۶). پیش‌بینی تغییر پارامترهای حوضه آبریز دریاچه ارومیه در دوره ۲۰۳۰-۲۰۱۱، *انجمن آبخیزداری ایران*. سال یازدهم، شماره ۳۷، صص: ۴۷-۵۶.
- عزیزی، قاسم، نظیف، سارا، عباسی، فائزه (۱۳۹۶). ارزیابی سهم تغییرات اقلیم در کاهش تراز آب دریاچه ارومیه، *فصلنامه مطالعات میان رشته‌ای در علوم انسانی*، ۹ (۴)، ۲۱-۱.
- فتحی، محمدحسین، مددی، عقیل، بهشتی، ابراهیم، سرمستی، نادر (۱۳۹۴). ارزیابی نوسان‌های سطح آب دریاچه ارومیه و افزایش پهنه‌های نمکی در منطقه شمال غرب ایران، *جغرافیای طبیعی (پژوهش‌های جغرافیایی)*. دوره ۴۷، شماره ۲، صص: ۲۸۵-۲۷۱.
- فتحیان، فرشاد (۱۳۹۱). بررسی روند تغییرات کاربری اراضی با استفاده از فن‌آوری سنجنش از دور و متغیرهای آب‌وهواشناسی در حوضه دریاچه ارومیه، پایان نامه کارشناسی ارشد. استاد راهنما سعید مرید. دانشگاه تربیت مدرس.
- فتحیان، فرشاد، مرید، سعید، ارشد، صالح (۱۳۹۲). ارزیابی روند تغییرات کاربری با استفاده از فن‌آوری سنجنش از دور و ارتباط آن با روند جریان رودخانه‌ها (مطالعه موردی: زیر حوضه‌های شرق دریاچه ارومیه، آب و خاک (علوم و صنایع کشاورزی). جلد ۲۷، شماره ۳، صص: ۶۴۲-۶۵۵.
- فرخ‌نیا، اشکان، مرید، سعید (۱۳۹۳). ارزیابی اثر تغییرات بارش و دما بر روند جریان رودخانه‌های حوضه آبریز دریاچه ارومیه، آب و فاضلاب. دوره ۲۵، شماره ۳، شماره پیاپی ۳، صص: ۸۶-۹۷.
- فرخ‌نیا، اشکان، مرید، سعید، دلاور، مجید (۱۳۹۷). بررسی تغییر کاربری اراضی در حوضه آبریز دریاچه ارومیه بر مبنای تصاویر Landsat-TM و تکنیک‌های طبقه‌بندی پیکسل پایه و شی پایه، آبیاری و زهکشی ایران. جلد ۱۲، شماره ۴، صص: ۸۳۹-۸۲۳.
- فنی، زهره، معرفی، ایوب (۱۳۹۶). بررسی اثرات خشکی دریاچه ارومیه بر آسیب‌پذیری محیط‌زیست طبیعی و انسانی ناحیه پیرامون، محیط زیست. دوره ۲، شماره ۵۸، صص: ۱-۱۶.
- قربانی اقدام، مرضیه، دین پڑوه، یعقوب، فاخری فرد، احمد، دربندی، صابره (۱۳۹۱). پهنه‌بندی حوضه دریاچه ارومیه از نظر خشکسالی با روش تجزیه به عامل‌ها، آب و خاک (علوم و صنایع کشاورزی). جلد ۲۶، شماره ۵، صص: ۱۲۷۶-۱۲۶۸.
- قلیزاده، محسن، طاهری، مرسته، تجربی، مسعود (۱۳۹۷). ارزیابی اثر احداث سدهای واقع در حوضه آبریز دریاچه ارومیه بر توسعه کشاورزی در مناطق پایین دست آن‌ها، انجمن علوم و مهندسی منابع آب ایران. هفتمین کنفرانس ملی مدیریت منابع آب ایران با رویکرد پیوند چرخه آب و اکولوژی در مناطق خشک برای پایداری سرزمین. ۵-۶ اردیبهشت ماه. دانشگاه یزد.
- کریمی، مصطفی، نبی‌زاده، عادل (۱۳۹۷). ارزیابی اثرات تغییرات اقلیم بر پارامترهای اقلیمی حوضه آبریز دریاچه ارومیه طی سال‌های ۲۰۴۰-۲۰۱۱ با استفاده از مدل WG-Lars، *جغرافیا و برنامه‌ریزی*. سال ۲۲، شماره ۶۵، صص: ۲۶۷-۲۸۵.



- کریمی، مصطفی، جعفری، مهناز، خوش اخلاق، فرامرزی، بازگیر، سعید (۱۳۹۸). نقش تغییرات رطوبت انتقال یافته در رخداد خشکسالی و ترسالی ایران. *جغرافیای طبیعی*، دوره ۵۱، شماره ۴، صص: ۵۴۲-۵۴۵.
- گودرزی، مسعود، صلاحی، برومند، حسینی، سیداسعد (۱۳۹۷). بررسی تأثیر تغییرات اقلیمی بر تغییرات رواناب سطحی (مطالعه موردی: حوضه آبریز دریاچه ارومیه)، *کوهپدولوژی*. دوره ۲، شماره ۲، صص: ۱۷۵-۱۸۹.
- لک، راضیه، درویشی خاتونی، جواد، محمدی، علی (۱۳۹۰). مطالعات پالتولیمولوژی و علل کاهش ناگهانی تراز آب دریاچه ارومیه، *زمین شناسی کاربردی*. سال ۷، شماره ۴، صص: ۳۴۳-۳۵۸.
- منتصری، مجید، امیرعطایی، بابک، رضایی، حسین (۱۳۹۶). تحلیل منطقه‌ای و استخراج منحنی بزرگی-مساحت-فراوانی خشکسالی با استفاده از توابع مفصل در حوضه آبریز دریاچه ارومیه، آب و خاک (علوم و صنایع کشاورزی). دوره ۳۱، شماره ۴، صص: ۱۲۶۰-۱۲۷۷.
- مهسافر، حمید، مکتون، رضا، ثقفیان، بهرام (۱۳۸۹). اثرات تغییر اقلیم بر بیلان آبی دریاچه ارومیه، *تحقیقات منابع آب ایران*. سال هفتم، شماره ۱، صص: ۴۷-۵۸.
- میرزایی حسنلو، ایوب، عبقری، هیراد، عرفانیان، مهدی (۱۳۹۹). تأثیر الگوهای دورپیوند بر بارش و خشکسالی حوضه آبریز دریاچه ارومیه، *فیزیک زمین و فضا*، دوره ۴۶، شماره ۳، صص: ۵۳۷-۵۵۹.
- واعظی هیر، عبدالرضا، سازی صراف، بهروز، والائی، اکرم (۱۳۹۵). بررسی علل کاهش جریان در رودخانه‌های شاخص جنوب شرق دریاچه ارومیه، *فضای جغرافیایی*، سال شانزدهم، شماره ۵۳، صص: ۱۲۳-۱۵۰.
- یونسزاده جلیلی، سهیلا، کمالی، میثم، دانش کار آراسته، پیمان (۱۳۹۵). بررسی تحلیلی کاربری اراضی (اراضی کشت آبی و پهنه‌های آبی) در حوضه آبخیز دریاچه ارومیه با استفاده از تصاویر ماهواره لندست، *علوم آب و خاک*. سال بیستم، شماره هفتاد و هشتم، صص: ۲۸-۱۵.

- AghaKouchak, A., Norouzi, H., Madani, K., Mirchi, A., Azarderakhsh, M., Nazemi, A., Nasrollahi, N., Farahmand, A., Mehran, A. and Hasanzadeh, E (2015), **Aral Sea syndrome desiccates Lake Urmia: call for action**. *Journal of Great Lakes Research*, 41(1), pp.307-311.
- Amarasekare, P. and Savage, V (2012), **A framework for elucidating the temperature dependence of fitness**. *The American Naturalist*, 179(2), pp.178-191.
- Assessment, M.E (2005), **Ecosystems and human well-being** (Vol. 5, p. 563). United States of America: Island press.
- Barnett, T.P., Adam, J.C. and Lettenmaier, D.P (2005), **Potential impacts of a warming climate on water availability in snow-dominated regions**. *Nature*, 438(7066), pp.303-309.
- Bellard, C., Bertelsmeier, C., Leadley, P., Thuiller, W. and Courchamp, F (2012), **Impacts of climate change on the future of biodiversity**. *Ecology letters*, 15(4), pp.365-377.
- Chaharborj, A. J (2014), **Evaluation of Iran's performance in relation to the environmental problem of the Urmia lake form the the persective of international environmental law**. DAMA. 2319-431, pp. 2319-5037.
- Intergovernmental Panel On Climate Change (2007), **The Physical Science Basis. Summary for Policymakers**. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. *Jelektronnyj resurs*] URL: <http://www.ipcc.ch>.
- Daufresne, M., Lengfellner, K. and Sommer, U (2009), **Global warming benefits the small in aquatic ecosystems**. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 106(31), pp.12788-12793.
- Delju, A.H., Ceylan, A., Piguët, E. and Rebetez, M (2013), **Observed climate variability and change in Urmia Lake Basin, Iran**. *Theoretical and applied climatology*, 111(1), pp.285-296.
- Dou, Y., Chen, X., Bao, A., Luo, G., Jappar, G. and Li, J (2008), July. **The Correlation Analysis of Vegetation Variable Process and Climate Variables in Alpine-Cold Wetland in Arid Area**.

- In *IGARSS 2008-2008 IEEE International Geoscience and Remote Sensing Symposium* (Vol. 4, pp. IV-878). IEEE.
- Gao, H., Li, H., Duan, Z., Ren, Z., Meng, X. and Pan, X (2018), **Modelling glacier variation and its impact on water resource in the Urumqi Glacier No. 1 in Central Asia**. *Science of the total environment*, 644, pp.1160-1170.
 - Ghaheri, M., Baghal-Vayjooee, M.H. and Naziri, J (1999), **Lake Urmia, Iran: a summary review**. *International Journal of Salt Lake Research*, 8(1), pp.19-22.
 - Hassanzadeh, E., Zarghami, M. and Hassanzadeh, Y (2012), **Determining the main factors in declining the Urmia Lake level by using system dynamics modeling**. *Water Resources Management*, 26(1), pp.129-145.
 - Jalili, S., Kirchner, I., Livingstone, D.M. and Morid, S (2012), **The influence of large-scale atmospheric circulation weather types on variations in the water level of Lake Urmia, Iran**. *International Journal of Climatology*, 32(13), pp.1990-1996.
 - Jeppesen, E., Meerhoff, M., Holmgren, K., González-Bergonzoni, I., Teixeira-de Mello, F., Declerck, S.A., De Meester, L., Søndergaard, M., Lauridsen, T.L., Bjerring, R. and Conde-Porcuna, J.M (2010), **Impacts of climate warming on lake fish community structure and potential effects on ecosystem function**. *Hydrobiologia*, 646(1), pp.73-90.
 - Jeppesen, E., Moss, B., Bennion, H., Carvalho, L., DeMeester, L., Feuchtmayr, H., Friberg, N., Gessner, M.O., Hefting, M., Lauridsen, T.L. and Liboriussen, L (2010), **Interaction of climate change and eutrophication**. *Climate change impacts on freshwater ecosystems*, pp.119-151.
 - Kalnay, E. and Cai, M (2003), **Impact of urbanization and land-use change on climate**. *Nature*, 423(6939), pp.528-531.
 - Karami, N (2018), **The Drying of Lake Urmia as a Case of the “Aralism” Concept in Totalitarian Systems**. *International Journal of Geography and Regional Planning*, 4(1), pp.043-063.
 - Kendall, M., 1975. **Rank correlation methods** (4th edn.) Charles Griffin. San Francisco, CA, 8.
 - Kim, H.W., Amatya, D.M., Chescheir, G.M., Skaggs, W.R. and Nettles, J.E (2013), **Hydrologic effects of size and location of fields converted from drained pine forest to agricultural cropland**. *Journal of Hydrologic Engineering*, 18(5), pp.552-566.
 - López-Ballesteros, A., Senent-Aparicio, J., Martínez, C. and Pérez-Sánchez, J (2020), **Assessment of future hydrologic alteration due to climate change in the Arachthos River basin (NW Greece)**. *Science of The Total Environment*, 733, p.139299.
 - Mann, H.B (1945), **Nonparametric tests against trend**. *Econometrica*. Journal of the econometric society, pp.245-259.
 - McFeeters, S.K (1996), **The use of the Normalized Difference Water Index (NDWI) in the delineation of open water features**. *International journal of remote sensing*, 17(7), pp.1425-1432.
 - Mentzafou, A., Wagner, S. and Dimitriou, E (2018), **Historical trends and the long-term changes of the hydrological cycle components in a Mediterranean river basin**. *Science of The Total Environment*, 636, pp.558-568.
 - Nguy-Robertson, A., May, J., Dartevelle, S., Birkett, C., Lucero, E., Russo, T., Griffin, S., Miller, J., Tetrault, R. and Zentner, M (2018), **Inferring elevation variation of lakes and reservoirs from areal extents: Calibrating with altimeter and in situ data**. *Remote Sensing Applications: Society and Environment*, 9, pp.116-125.
 - Oyler, J.W., Dobrowski, S.Z., Ballantyne, A.P., Klene, A.E. and Running, S.W (2015), **Artificial amplification of warming trends across the mountains of the western United States**. *Geophysical research letters*, 42(1), pp.153-161.
 - Parmesan, C. and Yohe, G (2003), **A globally coherent fingerprint of climate change impacts across natural systems**. *Nature*, 421(6918), pp.37-42.

- Peraza-Castro, M., Ruiz-Romera, E., Meaurio, M., Sauvage, S. and Sánchez-Pérez, J.M (2018), **Modelling the impact of climate and land cover change on hydrology and water quality in a forest watershed in the Basque Country (Northern Spain).** *Ecological Engineering*, 122, pp.315-326.
- Perkins, D.M., Mckie, B.G., Malmqvist, B., Gilmour, S.G., Reiss, J. and Woodward, G (2010), **Environmental warming and biodiversity–ecosystem functioning in freshwater microcosms: partitioning the effects of species identity, richness and metabolism.** *Advances in Ecological Research*, 43, pp.177-209.
- Sattari, M.T., Mirabbasi, R., Jarhan, S., Sureh, F.S. and Ahmad, S (2020), **Trend and abrupt change analysis in water quality of Urmia Lake in comparison with changes in lake water level.** *Environmental monitoring and assessment*, 192(10), pp.1-16.
- Saugier, B (1996), **Végétation et atmosphère France Dominos Flammarion.** 107.
- Sayadi, A., Beydokhti, N.T., Najarchi, M. and Najafizadeh, M.M (2019), **Investigation into the effects of climatic change on temperature, rainfall, and runoff of the Doroudzan catchment, Iran, using the ensemble approach of CMIP3 climate models.** *Advances in meteorology*, 2019.
- Sorg, A., Bolch, T., Stoffel, M., Solomina, O. and Beniston, M (2012), **Climate change impacts on glaciers and runoff in Tien Shan (Central Asia).** *Nature Climate Change*, 2(10), pp.725-731.
- Srivastava, P.K., Majumdar, T.J. and Bhattacharya, A. K (2009), **Surface temperature estimation in Singhbhum Shear Zone of India using Landsat-7 ETM+ thermal infrared data.** *Advances in space research*, 43(10), pp.1563-1574.
- Thackeray, S.J., Sparks, T.H., Frederiksen, M., Burthe, S., Bacon, P.J., Bell, J.R., Botham, M.S., Brereton, T.M., Bright, P.W., Carvalho, L. and Clutton-Brock, T.I.M (2010), **Trophic level asynchrony in rates of phenological change for marine, freshwater and terrestrial environments.** *Global Change Biology*, 16(12), pp.3304-3313.
- Tourian, M.J., Elmi, O., Chen, Q., Devaraju, B., Roohi, S. and Sneeuw, N (2015), **A spaceborne multisensor approach to monitor the desiccation of Lake Urmia in Iran.** *Remote Sensing of Environment*, 156, pp.349-360.
- Wang, J., Li, H. and Hao, X (2010), **Responses of snowmelt runoff to climatic change in an inland river basin, Northwestern China, over the past 50 years.** *Hydrology and Earth System Sciences*, 14(10), pp.1979-1987.
- Woodward, G., Perkins, D.M. and Brown, L.E (2010), **Climate change and freshwater ecosystems: impacts across multiple levels of organization.** *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences*, 365(1549), pp.2093-2106.
- Yvon-Durocher, G., Caffrey, J.M., Cescatti, A., Dossena, M., Del Giorgio, P., Gasol, J.M., Montoya, J.M., Pumpanen, J., Staehr, P.A., Trimmer, M. and Woodward, G (2012), **Reconciling the temperature dependence of respiration across timescales and ecosystem types.** *Nature*, 487(7408), pp.472-476.
- Zagharmi, M., Ku, K.T., Ying, L., Shabab, S. and Islam, M (2015), **Urmia Lake: Policy Analysis for Effective Water Governance.**
- Zeng, F., Ma, M.G., Di, D.R. and Shi, W.Y (2020), **Separating the Impacts of Climate Change and Human Activities on Runoff: A Review of Method and Application.** *Water*, 12(8), p.2201.