

تحلیل روند تغییرات درازمدت پارامترهای اقلیمی و تبخیر تعرق در ناحیه خزری

پدرام عطار^{۱*}، فهیمه خیرخواه^۲، شهرام خلیقی سیگارودی^۳، سید محمد معین صادقی^۴،
آوازه دولتشاهی^۵ و ویلما بایرامزاده^۶

^۱ دانشیار گروه جنگلداری و اقتصاد جنگل، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه تهران، کرج
^۲ دانشجوی دکتری جنگل‌شناسی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری، ساری
^۳ دانشیار گروه احیای مناطق خشک و کوهستانی، دانشکده منابع طبیعی دانشگاه تهران، کرج
^۴ دانشجوی دکتری جنگل‌شناسی و اکولوژی جنگل، دانشکده منابع طبیعی دانشگاه تهران، کرج
^۵ کارشناس ارشد گروه جنگلداری و اقتصاد جنگل، دانشکده منابع طبیعی دانشگاه تهران، کرج
^۶ دانشیار گروه صنایع چوب و کاغذ، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد کرج، کرج

(تاریخ دریافت: ۱۳۹۳/۱۰/۲۲؛ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۴/۹/۶)

چکیده

این تحقیق با هدف مشاهده روند تغییرات پارامترهای اقلیمی و تبخیر تعرق مرجع (ET_0) در ناحیه خزری شمال کشور صورت گرفت. با استفاده از داده‌های هواشناسی ایستگاه‌های هواشناسی همدیدی گرگان، قائم‌شهر، بابلسر، رامسر و انزلی در یک دوره درازمدت (۲۰۰۸-۱۹۶۱) و به کمک نمایه خشکی دومارتن، پنج منطقه اقلیمی در این ناحیه شناسایی و با استفاده از فرمول فائو پنمن - مانیت، مقدار ET_0 برای هر یک از اقلیم‌ها محاسبه شد. براساس شاخص دومارتن، از شرق به غرب، گرگان دارای اقلیم مدیترانه‌ای، قائم‌شهر دارای اقلیم نیمه‌مرطوب، بابلسر دارای اقلیم مرطوب، رامسر دارای اقلیم خیلی مرطوب نوع (الف) و انزلی دارای اقلیم خیلی مرطوب نوع (ب) تشخیص داده شدند. در بیشتر ایستگاه‌ها، دمای هوا در نیم قرن گذشته روند افزایشی معنی‌داری نشان داده، به طوری که طی بیست سال اخیر، میانگین دمای ناحیه رویشی خزری، $0/74$ درجه سانتی‌گراد افزایش یافته است. سرعت باد در کلیه ایستگاه‌های مورد مطالعه روند افزایشی معنی‌داری داشته و طی دو دهه اخیر به طور متوسط در ناحیه خزری، $1/1$ متر بر ثانیه افزایش نشان داده است. مقدار ET_0 نیز در طی این دوره، به طور متوسط $0/4$ میلی‌متر در روز افزایش داشته و در نهایت شاخص خشکی دومارتن از $39/5$ به $36/8$ کاهش یافته است. تغییر پارامترهای اقلیمی و ET_0 به شدت بر فعالیت اکوسیستم‌های طبیعی و مصنوعی ناحیه رویشی خزری اثرگذار است و بنابراین، مدیران در برنامه‌ریزی‌های توسعه‌ای آینده، باید این تغییرات را مدنظر قرار دهند.

واژه‌های کلیدی: پارامترهای هواشناسی، تبخیر تعرق مرجع، تغییر اقلیم، ناحیه خزری.

مقدمه

گرم شدن کره زمین معادل بحران آب‌وهواست و از دیدگاه متوسط دمای سالانه را به همراه خواهد داشت (Mendelsohn, 2009). براساس اعلام هیأت

یکی از مسائل مهم و اساسی در قرن اخیر مسئله گرم شدن جهانی است (Khaleghi et al., 2015).

تغییر اقلیم و پیامدهای آن در ارتباط است. در حقیقت تغییر اقلیم، بحثی فرامرزی است که به یک یا چند کشور محدود نمی‌شود. تغییراتی که در اثر گرم شدن زمین و تغییر اقلیم در مناطق مختلف جهان در حال وقوع است یا در آینده به وقوع خواهد پیوست، ایران را هم در بر خواهد گرفت.

Koocheki et al. (2006) بر اساس مدل منطقه‌ای گردش عمومی هواسپهر (UKMO)^۳ پیش‌بینی کردند که تا سال ۲۰۵۰ دمای هوای ایران ۲/۷ درجه سانتی‌گراد افزایش خواهد یافت که افزایش نیاز آبی گیاهان را در پی خواهد داشت. به‌طور کلی تأثیر تغییر اقلیم بر بوم‌سازگان‌های جنگلی در حال حاضر قابل مشاهده است و جمع‌بندی مطالعات مختلف حاکی از آن است که تأثیرات تغییر اقلیم در آینده‌ای نه‌چندان دور افزایش خواهد داشت. اهمیت تغییر اقلیم بسته به مناطق زیستی و جغرافیایی مختلف، متفاوت است و تأثیرات نهایی تغییر اقلیم بر بوم‌سازگان‌ها با توجه به نرخ افزایش دما و متعاقباً نرخ مثبت یا منفی تغییر بارندگی، متفاوت خواهد بود. توزیع و پراکنش گیاهان در هر اقلیم به شرایط دمایی و رطوبتی آن بستگی دارد.

با توجه به شرایط اقلیمی ویژه منطقه ریشی خزری نسبت به سایر مناطق ایران و اهمیت جنگل‌های خزری در کشور و جهان، تحقیق حاضر با هدف بررسی روند و میزان تغییرات پارامترهای اقلیمی و تبخیرتعرق در این ناحیه انجام گرفت. این تحقیق اطلاعات مفیدی را در زمینه مدیریت منابع آب و برنامه‌ریزی اصولی در زمینه رفع تأثیرات سوء تغییر اقلیم بر جنگل ارائه می‌دهد.

بین‌المللی تغییر اقلیم (IPCC)^۱ در سال ۲۰۰۷، دمای سطح زمین به دلیل انتشار گازهای گلخانه‌ای، ۰/۳ تا ۰/۶ درجه سانتی‌گراد در طول قرن گذشته افزایش یافته و تا سال ۲۱۰۰، ۱ تا ۳/۵ درجه سانتی‌گراد افزایش می‌یابد.

در پدیده گرم شدن جهانی، علاوه بر دما، تغییراتی عمده در پارامترهای اقلیمی نظیر رطوبت مطلق، بارندگی، تابش خورشیدی، جهت و سرعت وزش باد ایجاد شده و تغییر این پارامترها در نهایت سبب تغییر اقلیم شده است (Shirzadi & Hemayati, 2012). از طرف دیگر، این تغییرات، تأثیرات شگرفی بر پارامترهای هیدرولوژیکی نظیر رواناب، تبخیرتعرق (از دست دادن طبیعی آب از خاک و پوشش گیاهی و سطح آزاد آب‌ها و آزاد شدن آب به سمت هواسپهر، ET)^۲، رطوبت خاک و چرخه آب خواهد داشت (Netherer & Schopf, 2010; Attarod et al., 2015).

تغییر اقلیم، یکی از خطرهای جدی ارزیابی شده است که توسعه پایدار را در ابعاد مختلف محیط زیستی، سلامت انسان، امنیت غذایی، فعالیت‌های اقتصادی، منابع طبیعی و ساختارهای زیربنایی تهدید می‌کند (Huntjens et al., 2012). پدیده تغییر اقلیم و تأثیرات آن، از مهم‌ترین چالش‌های پیش رو در مدیریت منابع آب و انرژی به‌شمار می‌رود. تحقیقات نشان داده است که تناوب و شدت وقایعی مانند خشکسالی‌ها و سیلاب‌ها با افزایش تأثیرات پدیده تغییر اقلیم، رو به افزایش است (IPCC, 2007). این در حالی است که حتی تغییر کوچکی در متغیرهای هیدرولوژیکی، می‌تواند سبب تغییرات محسوسی در عملکرد سیستم منابع آب شود. با توجه به اهمیت تغییر اقلیم بر ساختار محیط کره زمین و ساکنان آن، تلاش برای شناخت هر چه بیشتر چگونگی رخدادهای تغییر اقلیم ضروری است. این ضرورت به‌ویژه در زمان فعلی که گرم شدن جهانی به مسئله‌ای جدی تبدیل شده است، آشکار می‌شود.

ایران همانند سایر کشورهای جهان به‌شدت با

^۱ Intergovernmental panel on climate change

^۲ Evapotranspiration

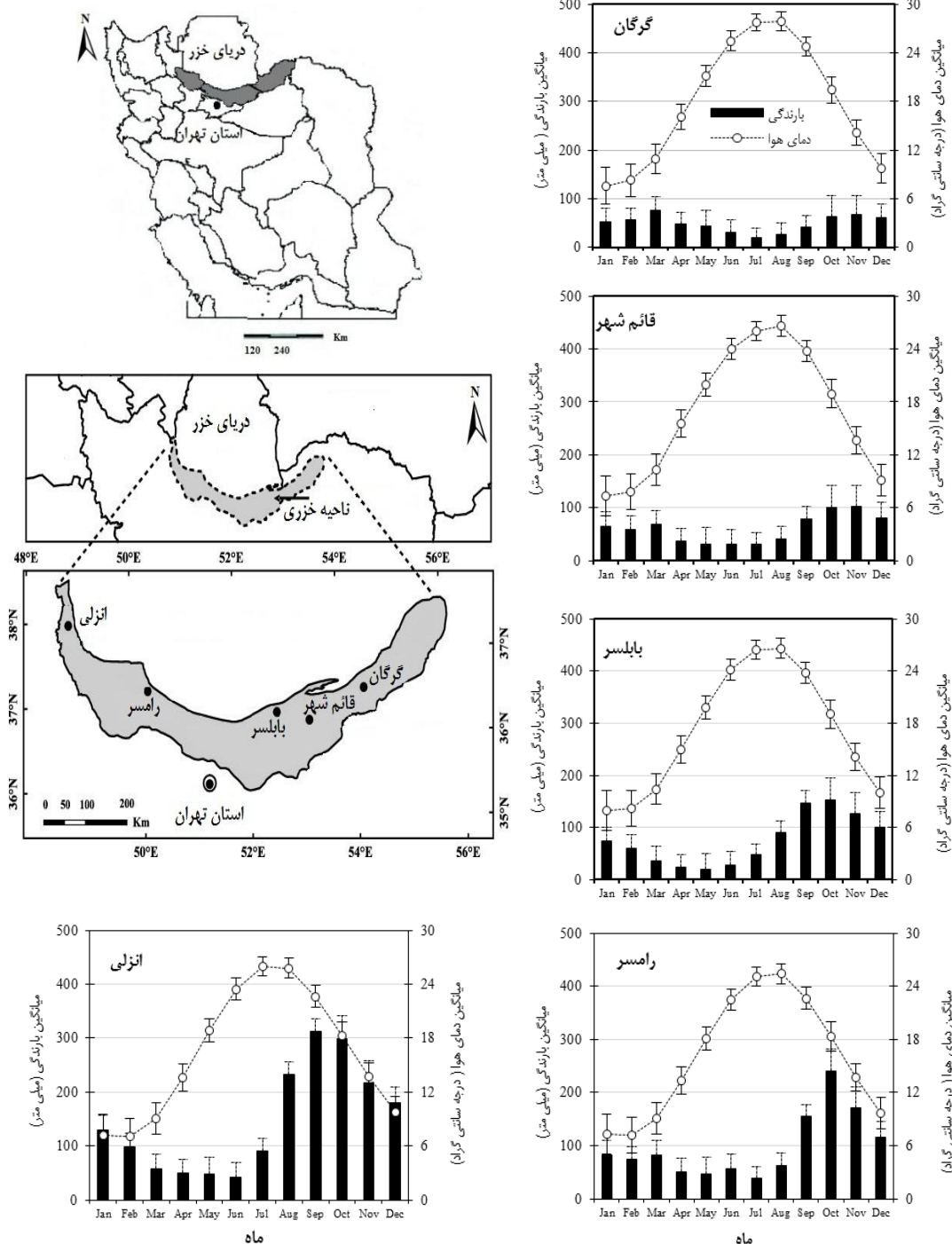
^۳ United kingdom meteorological office

در پنج ایستگاه همدیدی^۱ هواشناسی در شهرهای گرگان، قائم شهر، بابلسر، رامسر و انزلی انجام گرفت (شکل ۱).

مواد و روش‌ها

منطقه پژوهش

تحقیق حاضر در سراسر ناحیه خزری شمال ایران



شکل ۱- موقعیت ایستگاه‌های هواشناسی در ناحیه خزری و میانگین دما و بارندگی ماهیانه هر یک از ایستگاه‌ها براساس آمار درازمدت (۲۰۰۸-۱۹۶۱). خطوط روی منحنی‌ها، انحراف معیار میانگین ماهیانه پارامترها را نشان می‌دهند.

¹ Synoptic Station

مناطق شرقی به حدود سه ماه می‌رسد. متوسط دمای سالانه بین ۱۶ تا ۲۰ درجه سانتی‌گراد است. رطوبت نسبی هوا بسیار زیاد و مقدار متوسط آن از ۷۴/۶ درصد در شرق تا ۸۴/۶ درصد در غرب متغیر است (Jafari, 2008).

شیوه اجرای پژوهش

داده‌های هواشناسی و طبقه‌بندی اقلیمی ناحیه خزری به‌منظور تحلیل وضعیت اقلیمی، از داده‌های ایستگاه‌های هواشناسی همدیدی موجود در سراسر ناحیه خزری استفاده شد که داده‌های درازمدت کامل و قابل اطمینانی داشتند (جدول ۱).

این ناحیه رویشی از نظر آب‌وهوایی تحت نفوذ رطوبت دریای خزر از شرق و رطوبت مدیترانه از غرب و توده‌های کم‌فشار سیبری است. ناحیه خزری یک زون مرطوب در شمال ایران محسوب می‌شود و متوسط بارندگی سالیانه آن ۱۰۰۰ میلی‌متر است و مقدار بارندگی آن از غرب به شرق کاهش می‌یابد، به طوری که بیشترین بارندگی حدود ۲۰۰۰ میلی‌متر در غرب و کمترین آن حدود ۵۳۰ میلی‌متر در شرق ثبت شده است (Zohary, 1973). بارندگی در تمام طول سال وجود دارد، اما بیشترین مقدار آن در طول فصل‌های بهار، پاییز و زمستان می‌بارد. همچنین دوره خشکی در طول تابستان در قسمت‌های غربی حدود یک ماه، در مناطق مرکزی تا حدود دو ماه و در

جدول ۱- مشخصات ایستگاه‌های هواشناسی همدیدی در ناحیه خزری

| دوره بررسی | ارتفاع از سطح دریا (متر) | طول جغرافیایی | عرض جغرافیایی | ایستگاه |
|------------|--------------------------|---------------|---------------|----------|
| ۱۹۶۱-۲۰۰۸ | ۱۳ | ۵۴° ۱۶' | ۳۶° ۵۱' | گرگان |
| ۱۹۸۴-۲۰۰۸ | ۱۵ | ۵۲° ۴۶' | ۳۶° ۲۷' | قائم‌شهر |
| ۱۹۶۱-۲۰۰۸ | -۲۱ | ۵۲° ۳۹' | ۳۶° ۴۳' | بابلسر |
| ۱۹۶۱-۲۰۰۸ | -۲۰ | ۵۰° ۱۶' | ۳۶° ۵۴' | رامسر |
| ۱۹۶۱-۲۰۰۸ | -۲۶ | ۴۹° ۲۸' | ۳۷° ۲۸' | انزلی |

دوره زمانی مشخص مصرف می‌کند، به طوری که گیاهان این مزرعه در طول دوره رشد با کمبود آب مواجه نشوند. تبخیرتعرق (ET) فراسنجی است که به روش مستقیم یا غیرمستقیم با استفاده از داده‌های هواشناسی و روابط تجربی ارائه شده، برآورد می‌شود. به دلیل ممکن نبودن نصب لایسیمتر در کلیه مناطق و در دسترس بودن داده‌های هواشناسی در مناطق مختلف، از روش غیرمستقیم برای برآورد ET استفاده می‌شود. مقدار ET برآورد شده توسط اغلب این روابط، ET_0 است (Kouchakzadeh & Nikbakht, 2004).

برای برآورد میزان ET_0 روزانه در این مطالعه، از فرمول ترکیبی فائو پنمن - مانیت (رابطه ۲) استفاده شد (Allen et al., 1998):

در مطالعه حاضر، ابتدا ناحیه خزری، با استفاده از داده‌های میانگین دما و بارندگی سالیانه درازمدت به روش طبقه‌بندی اقلیمی دومارتن (رابطه ۱)، به پنج طبقه اقلیمی متفاوت تقسیم شد (Baltas, 2007).

$$I_A = P / (T_a + 10) \quad \text{رابطه ۱}$$

در رابطه ۱، I_A شاخص خشکی دوماتن، T_a میانگین دمای هوای سالیانه و P مقدار بارش سالیانه است.

سپس در هر یک از طبقات اقلیمی، روند درازمدت پارامترهای اقلیمی دما، رطوبت نسبی، سرعت باد، فشار بخار اشباع هوا و نیز تبخیرتعرق مرجع (ET_0) مشاهده شد. ET_0 مقدار آبی است که یک مزرعه پوشیده از گیاه مرجع (نظیر چمن یا یونجه) در یک

$$ET_0 = [0.408\Delta(R_n - G) + \gamma(900/T_a + 273)u_2(e_s - e_a)] / [\Delta + \gamma(1 + 0.34u_2)] \quad \text{رابطه ۲}$$

رطوبت و سرعت باد، میزان ET_0 را برآورد می‌کند.

روش تحلیل

- معنی‌داری روند تغییرات پارامترهای اقلیمی و ET_0 برای بررسی روند داده‌های اقلیمی و نیز ET_0 در مقیاس سالانه، از آزمون غیرپارامتری من‌کنندال استفاده شد که در بسیاری از مطالعات مربوط به روندیابی پارامترهای اقلیمی استفاده می‌شود. در این آزمون فرض صفر (H_0) و فرض مقابل (H_1) به ترتیب معادل بدون روند وجود روند در سری زمانی داده‌های مشاهده‌ای است (Sabziparvar & Shadmani, 2011). در این آزمون، چنانچه مقدار آماره من‌کنندال (Z)، منفی باشد، بیانگر روند کاهشی و چنانچه مثبت باشد، نشان‌دهنده روند افزایشی در سری داده‌هاست. با توجه به سطح معنی‌دار ۹۵ درصد، اگر قدر مطلق آماره Z بزرگ‌تر از ۱/۹۶ باشد، فرض صفر رد می‌شود و سری زمانی پارامتر مورد مطالعه دارای روند معنی‌دار و در غیر این صورت فاقد روند ارزیابی می‌شود (Sabziparvar & Shadmani, 2011).

نتایج

تقسیم‌بندی اقلیمی ناحیه خزری

بر اساس تقسیم‌بندی اقلیمی دومارتن، در ناحیه خزری، پنج اقلیم مجزا مطابق جدول ۲ تشخیص داده شد.

R_n تابش خالص ورودی خورشید به سطح گیاه براساس $MJ.m^{-2}.day^{-1}$ انرژی که صرف گرم کردن خاک می‌شود (شار گرمای خاک) براساس $MJ.m^{-2}.day^{-1}$ که به دلیل ناچیز بودن مقدار آن در مقایسه با R_n در مقیاس روزانه از آن صرف‌نظر شد، T_a میانگین روزانه دمای هوا با واحد درجه سانتی‌گراد، u_2 میانگین روزانه سرعت باد در ارتفاع دو متری از سطح زمین بر حسب $m.s^{-1}$ ، e_s فشار بخار اشباع هوا بر حسب kPa ، e_a فشار بخار واقعی هوا بر حسب kPa ، $e_s - e_a$ کمبود فشار بخار اشباع بر حسب kPa ، Δ شیب منحنی فشار بخار در میانگین دمای هوای روزانه بر حسب $kPa.^{\circ}C^{-1}$ و γ ، ثابت سایکرومتریک بر حسب $kPa.^{\circ}C^{-1}$ هستند.

از بین روابط تجربی متعدد ارائه‌شده برای محاسبه ET_0 ، در سال ۱۹۹۰ از سوی کمیسیون بین‌المللی آبیاری و زهکشی (ICID) و سازمان خواربار و کشاورزی جهانی (FAO)، روش فائو پنمن - مانتیث به‌عنوان تنها روش استاندارد برای برآورد ET_0 با استفاده از داده‌های اقلیمی و همچنین برای ارزیابی سایر روش‌ها پیشنهاد شده است. نتایج تحقیقات در نقاط مختلف جهان نشان می‌دهد که دقت مقادیر ET برآوردشده توسط رابطه فائو پنمن - مانتیث در مقایسه با مقادیر اندازه‌گیری‌شده از طریق لایسیمتر، از دیگر روابط برآورد ET بیشتر است (Allen, et al., 1994). معادله فائو پنمن - مانتیث با استفاده از مختصات محل و داده‌های هواشناسی درازمدت تابش خورشیدی، دما،

جدول ۲- تقسیم‌بندی اقلیمی ناحیه خزری براساس رابطه دومارتن و با استفاده از داده‌های درازمدت (۲۰۰۸-۱۹۶۱)

| نام ایستگاه | عدد شاخص خشکی دومارتن | طبقه اقلیمی |
|-------------|-----------------------|--------------------|
| گرگان | ۲۱ | مدیترانه‌ای |
| قائم‌شهر* | ۲۷ | نیمه‌مرطوب |
| بایلسر | ۳۳ | مرطوب |
| رامسر | ۴۵ | خیلی مرطوب نوع الف |
| انزلی | ۶۷ | خیلی مرطوب نوع ب |

* قائم‌شهر (۲۰۰۸-۱۹۸۴)

- وضعیت اقلیمی ناحیه خزری

جدول ۳ میانگین پارامترهای اقلیمی دمای هوا، بارندگی، رطوبت نسبی، سرعت باد و ET_0 در طول فصل رویش، فصل غیررویش و در طی سال را در ناحیه خزری نشان می‌دهد. با توجه به جدول ۳، هرچه از شرق ناحیه خزری به سمت غرب آن حرکت می‌کنیم، از دمای هوا کاسته و بر بارندگی افزوده

می‌شود، به طوری که گرگان دارای بیشترین میانگین دمای سالیانه (\pm انحراف معیار) یعنی $17/8$ درجه سانتی‌گراد ($\pm 0/1$) و کمترین بارندگی یعنی 582 میلی‌متر ($\pm 16/35$) و برعکس انزلی دارای کمترین میانگین دمای سالیانه یعنی $16/3$ درجه سانتی‌گراد ($\pm 0/9$) و بیشترین میانگین بارندگی یعنی 1763 میلی‌متر ($\pm 48/3$) هستند.

جدول ۳- متوسط سالیانه (\pm انحراف معیار) پارامترهای اقلیمی براساس آمار ۴۸ ساله* (۲۰۰۸-۱۹۶۱)

| ایستگاه | فصل** | میانگین دمای هوا (درجه سانتی‌گراد) | میانگین بارندگی (میلی‌متر) | میانگین رطوبت نسبی (درصد) | سرعت باد (متر بر ثانیه) | تبخیر تعرق مرجع (میلی‌متر بر روز) |
|----------|---------|---------------------------------------|-------------------------------|------------------------------|----------------------------|--------------------------------------|
| گرگان | رویش | $23/9 \pm 0/10$ | $207 \pm 9/21$ | $70 \pm 0/71$ | $3/4 \pm 0/20$ | $4/4 \pm 0/11$ |
| | غیررویش | $11/7 \pm 0/14$ | $375 \pm 12/03$ | $73 \pm 0/74$ | $2/5 \pm 0/17$ | $1/6 \pm 0/04$ |
| | سالیانه | $17/8 \pm 0/10$ | $582 \pm 16/35$ | $70 \pm 0/69$ | $3/0 \pm 0/18$ | $3/0 \pm 0/07$ |
| قائم‌شهر | رویش | $22/6 \pm 0/13$ | $252 \pm 14/70$ | $81 \pm 0/34$ | $4/3 \pm 0/11$ | $3/8 \pm 0/05$ |
| | غیررویش | $11/2 \pm 0/14$ | $479 \pm 18/64$ | $85 \pm 0/37$ | $4/2 \pm 0/11$ | $1/5 \pm 0/02$ |
| | سالیانه | $17 \pm 0/11$ | $731 \pm 23/01$ | $83 \pm 0/30$ | $4/2 \pm 0/03$ | $2/6 \pm 0/03$ |
| بابلسر | رویش | $22/6 \pm 0/10$ | $354 \pm 16/14$ | $80 \pm 0/28$ | $4/1 \pm 0/13$ | $3/8 \pm 0/05$ |
| | غیررویش | $11/6 \pm 0/13$ | $550 \pm 18/82$ | $85 \pm 0/30$ | $3/5 \pm 0/12$ | $1/5 \pm 0/01$ |
| | سالیانه | $17/2 \pm 0/10$ | $906 \pm 22/67$ | $83 \pm 0/27$ | $3/8 \pm 0/12$ | $2/6 \pm 0/03$ |
| رامسر | رویش | $21/2 \pm 0/09$ | $411 \pm 16/95$ | $83 \pm 0/44$ | $4/4 \pm 0/09$ | $3/4 \pm 0/06$ |
| | غیررویش | $14/3 \pm 0/14$ | $766 \pm 34/49$ | $85 \pm 0/40$ | $4/1 \pm 0/11$ | $1/3 \pm 0/01$ |
| | سالیانه | $16/4 \pm 0/09$ | $1177 \pm 36/65$ | $84 \pm 0/39$ | $4/2 \pm 0/09$ | $2/3 \pm 0/03$ |
| انزلی | رویش | $21/7 \pm 0/09$ | $777 \pm 31/75$ | $82 \pm 0/44$ | $4/4 \pm 0/12$ | $4/5 \pm 0/13$ |
| | غیررویش | $10/8 \pm 0/14$ | $984 \pm 34/28$ | $87 \pm 0/37$ | $4/7 \pm 0/12$ | $1/6 \pm 0/06$ |
| | سالیانه | $16/3 \pm 0/09$ | $1763 \pm 48/30$ | $84 \pm 0/38$ | $4/5 \pm 0/12$ | $3/1 \pm 0/08$ |

* قائم‌شهر (۲۰۰۸-۱۹۸۴)، ** فصل رویش: (آوریل تا سپتامبر)، فصل غیررویش (اکتبر تا مارس).

نتایج نشان داد که در ناحیه خزری بیشترین بارش جوی در فصل غیررویش است، به طوری که در حدود ۶۰ درصد از کل بارندگی سالیانه در فصل غیررویش (پاییز و زمستان) رخ می‌دهد (گرگان: ۶۴/۴ درصد، قائم‌شهر: ۶۵/۵ درصد، بابلسر: ۶۰/۷ درصد، رامسر:

۶۵/۱ درصد و انزلی: ۵۵/۸ درصد). شرق ناحیه خزری (گرگان) دارای کمترین رطوبت سالیانه (۷۰ درصد) و غرب آن (انزلی) دارای بیشترین رطوبت سالیانه (۸۴ درصد) است.

با حرکت از غرب به شرق ناحیه خزری بر سرعت

نتایج نشان داد که در ناحیه خزری بیشترین بارش جوی در فصل غیررویش است، به طوری که در حدود ۶۰ درصد از کل بارندگی سالیانه در فصل غیررویش (پاییز و زمستان) رخ می‌دهد (گرگان: ۶۴/۴ درصد، قائم‌شهر: ۶۵/۵ درصد، بابلسر: ۶۰/۷ درصد، رامسر:

سالیانه در ناحیه خزری در فصل رویش به وقوع می‌پیوندد.

محاسبه میانگین ET_0 در ناحیه خزری به تفکیک ماه نشان می‌دهد که در ایستگاه‌های گرگان و قائمشهر، کمترین ET_0 در ماه دسامبر و بیشترین ET_0 در ماه ژوئن است، در حالی که در ایستگاه‌های بابلسر و رامسر بیشترین ET_0 در ماه جولای محاسبه شد (جدول ۴). در ایستگاه انزلی نیز کمترین مقدار ET_0 در ماه فوریه و بیشترین ET_0 در ماه جولای است.

باد افزوده شد، به طوری که بیشترین و کمترین میانگین سرعت باد (\pm انحراف معیار) اندازه‌گیری شده در ناحیه خزری به ترتیب مربوط به ایستگاه‌های انزلی، ۴/۵ متر بر ثانیه ($\pm 0/12$) و گرگان، ۳ متر بر ثانیه ($\pm 0/18$) بوده است.

در جدول ۳، میانگین روزانه ET_0 از شرق به غرب ناحیه خزری نشان داده شده است. انزلی و گرگان با حدود ۳ میلی‌متر در روز بیشترین، و رامسر با ۲/۳ میلی‌متر در روز، کمترین مقدار را نشان دادند. بیشترین مقدار ET_0 سالیانه در فصل رویش رخ می‌دهد، به طوری که در حدود ۷۰ درصد تبخیرتغرق

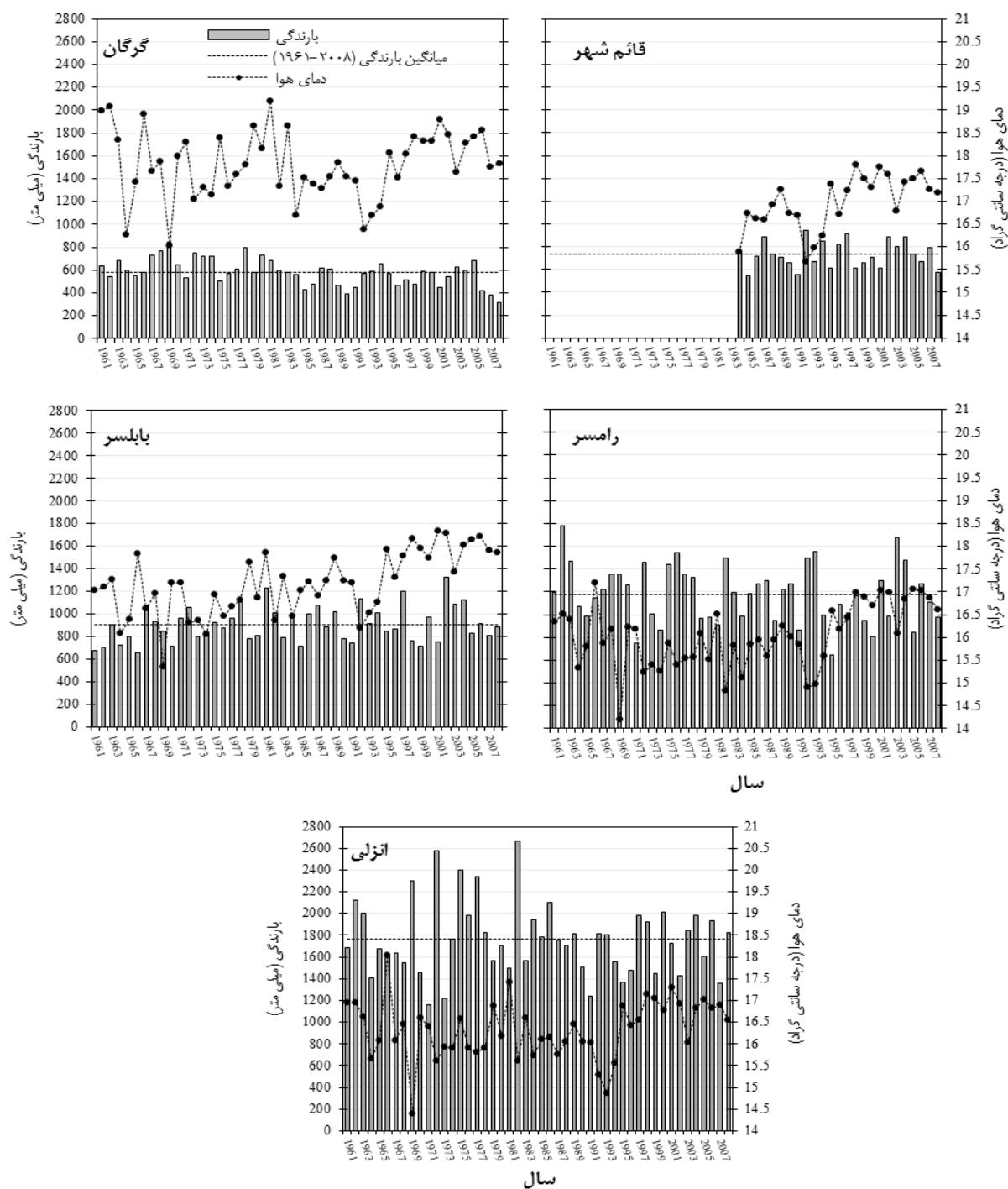
جدول ۴- میانگین تبخیرتغرق مرجع، ET_0 (میلی‌متر در روز \pm انحراف معیار) در اقلیم‌های ناحیه خزری براساس آمار درازمدت* (۲۰۰۸-۱۹۶۱)

| ماه | گرگان | قائم‌شهر* | بابلسر | رامسر | انزلی |
|---------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|
| ژانویه | ۱/۱۲ \pm ۰/۱۷ | ۱/۱۸ \pm ۰/۰۹ | ۱/۰۱ \pm ۰/۱۱ | ۰/۹۴ \pm ۰/۰۶ | ۱/۴۱ \pm ۰/۶۶ |
| فوریه | ۱/۶۱ \pm ۰/۲۰ | ۱/۴۹ \pm ۰/۱۶ | ۱/۴۳ \pm ۰/۱۴ | ۱/۳۴ \pm ۰/۱۲ | ۱/۲۷ \pm ۰/۵۶ |
| مارس | ۲/۱۹ \pm ۰/۳۳ | ۲/۰۴ \pm ۰/۳۵ | ۱/۹۹ \pm ۰/۲۵ | ۱/۷۵ \pm ۰/۲۲ | ۱/۳۸ \pm ۰/۵۳ |
| آوریل | ۳/۱۳ \pm ۰/۴۰ | ۲/۹۲ \pm ۰/۳۸ | ۲/۰۸ \pm ۰/۲۹ | ۲/۳۷ \pm ۰/۲۹ | ۲/۰۷ \pm ۰/۶۴ |
| می | ۴/۲۳ \pm ۰/۵۵ | ۳/۷۴ \pm ۰/۳۵ | ۳/۷۲ \pm ۰/۳۱ | ۳/۰۶ \pm ۰/۳۷ | ۳/۱۷ \pm ۰/۷۵ |
| ژوئن | ۵/۴۴ \pm ۰/۹۴ | ۴/۱۷ \pm ۰/۴۶ | ۴/۵۶ \pm ۰/۴۳ | ۳/۹۳ \pm ۰/۶۲ | ۵/۳۶ \pm ۱/۲۵ |
| جولای | ۵/۳۷ \pm ۱/۰۰ | ۴/۱۲ \pm ۰/۵۲ | ۴/۶۰ \pm ۰/۴۵ | ۴/۳۳ \pm ۰/۷۱ | ۶/۸۰ \pm ۰/۴۹ |
| آگوست | ۴/۹۴ \pm ۱/۱۴ | ۳/۹۳ \pm ۰/۷۳ | ۴/۱۸ \pm ۰/۶۰ | ۳/۹۰ \pm ۰/۷۴ | ۶/۰۹ \pm ۱/۲۵ |
| سپتامبر | ۳/۶۷ \pm ۰/۷۴ | ۳/۰۶ \pm ۰/۴۲ | ۳/۱۵ \pm ۰/۴۵ | ۲/۷۶ \pm ۰/۴۳ | ۳/۸۵ \pm ۰/۷۹ |
| اکتبر | ۲/۴۹ \pm ۰/۴۹ | ۲/۱۷ \pm ۰/۲۵ | ۲/۰۹ \pm ۰/۲۵ | ۱/۸۳ \pm ۰/۲۴ | ۲/۴۱ \pm ۰/۶۵ |
| نوامبر | ۱/۴۷ \pm ۰/۲۸ | ۱/۳۴ \pm ۰/۱۷ | ۱/۲۷ \pm ۰/۱۵ | ۱/۱۴ \pm ۰/۱۰ | ۱/۷۹ \pm ۰/۵۹ |
| دسامبر | ۱/۰۳ \pm ۰/۱۹ | ۰/۹۵ \pm ۰/۰۷ | ۰/۸۹ \pm ۰/۰۵ | ۰/۸۲ \pm ۰/۰۴ | ۱/۶۰ \pm ۰/۶۱ |

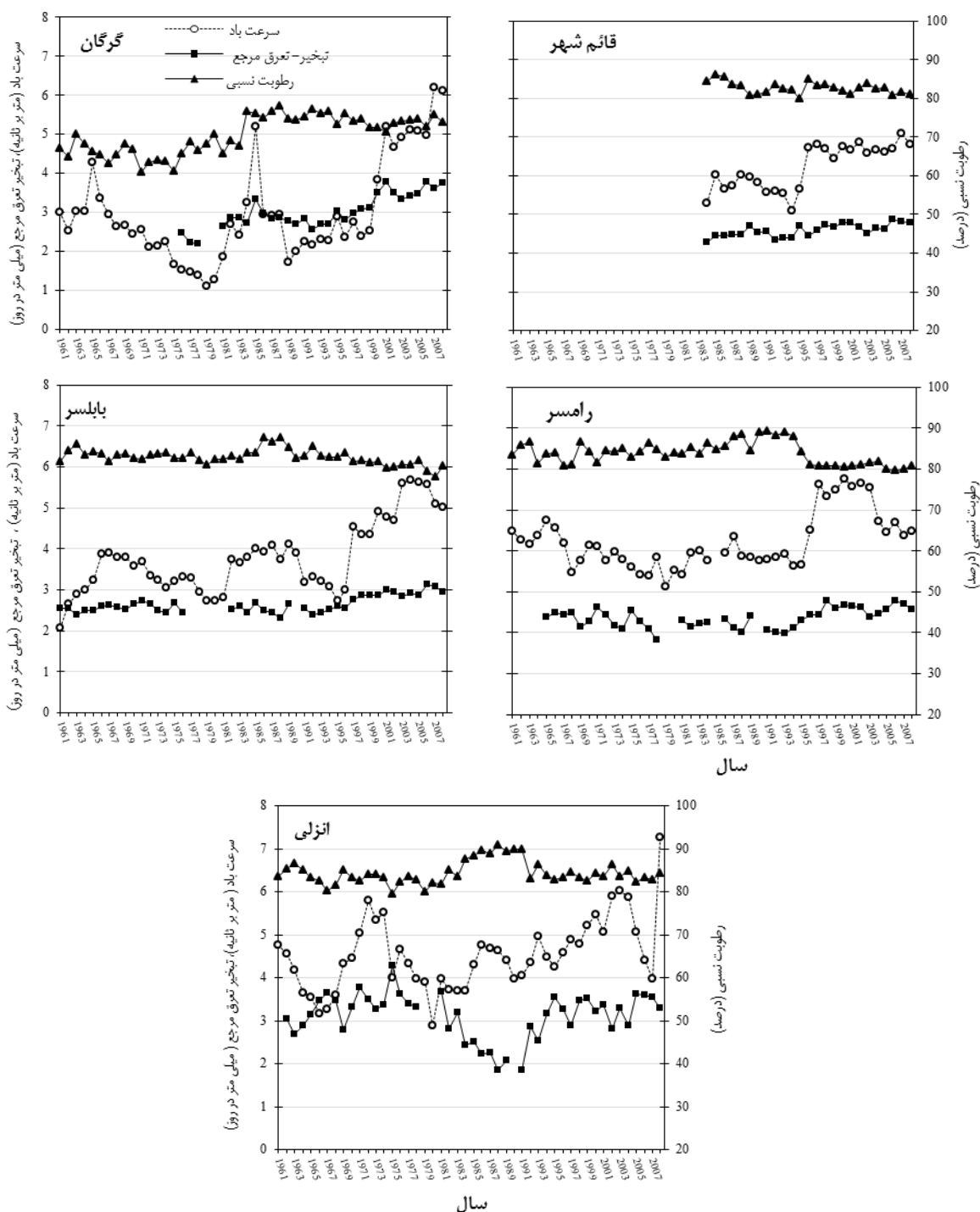
*قائم‌شهر (۲۰۰۸-۱۹۸۴)

- روند درازمدت پارامترهای اقلیمی و ET_0 روند درازمدت دمای هوا، بارندگی، سرعت باد، رطوبت نسبی و نیز ET_0 در ناحیه رویشی خزری از سال ۱۹۶۱ تا ۲۰۰۸ نشان می‌دهد که دمای هوا در تمام ایستگاه‌های مورد مطالعه روند افزایشی داشته است و این افزایش در دو دهه اخیر (از سال ۱۹۹۳ تا ۲۰۰۸) بسیار چشمگیر بوده است (شکل‌های ۲ و ۳).

همان‌طور که ملاحظه می‌شود، بیشترین و کمترین میزان ET_0 در ناحیه خزری به ترتیب مربوط به ایستگاه انزلی با مقدار متوسط ماهیانه ۶/۸ میلی‌متر در روز در ماه جولای و ایستگاه رامسر با مقدار متوسط ماهیانه ۰/۸۲ میلی‌متر در روز در ماه دسامبر است.



شکل ۲- روند تغییرات درازمدت دمای هوا و بارندگی اقلیم‌های ناحیه خزری



شکل ۳- روند تغییرات درازمدت پارامترهای سرعت باد، رطوبت نسبی و تبخیر-تعرق مرجع در اقلیم‌های ناحیه خزری

ناحیه خزری در ایستگاه گرگان مشاهده شد. رطوبت نسبی به جز در گرگان، در سایر ایستگاه‌ها روند کاهشی داشته و این کاهش از سال ۱۹۹۳ کاملاً مشهود است و بیشترین کاهش رطوبت نسبی در

با توجه به شکل ۲، بارندگی در ایستگاه‌های گرگان، رامسر و انزلی سیر نزولی و در بخش مرکزی ناحیه خزری (ایستگاه‌های قائم‌شهر و بابلسر) سیر صعودی داشته است. بیشترین کاهش بارندگی در

شده است. همچنین رطوبت نسبی از سال ۱۹۹۳ به بعد، به جز گرگان، که ۷/۲ درصد افزایش داشته، در تمامی ایستگاه‌های بررسی شده روند کاهشی داشته است، به طوری که بیشترین کاهش در اقلیم رامسر (۴/۲ درصد) بوده است.

سرعت باد نیز از سال ۱۹۹۳ به بعد در تمام ایستگاه‌ها روند افزایشی داشته است، به طوری که بیشترین افزایش در اقلیم گرگان (۱/۶ متر بر ثانیه، معادل ۶۴/۶ درصد افزایش) مشاهده می‌شود (جدول ۵). همچنین بارندگی در بخش‌های مرکزی ناحیه خزری (قائم‌شهر و بابلسر) روندی افزایشی داشته، اما در سایر ایستگاه‌ها روند کاهشی داشته است، به طوری که بیشترین کاهش بارندگی در ایستگاه گرگان (۱۳/۸ درصد) بوده است.

ایستگاه رامسر دیده می‌شود (شکل ۳). همچنین سرعت باد نیز در درازمدت در ناحیه خزری روند افزایشی داشته است و این افزایش از سال ۱۹۹۳ به بعد به وضوح دیده می‌شود.

ET₀ در طول ۴۸ سال گذشته در ناحیه خزری با توجه به شکل ۳ در تمامی ایستگاه‌های مطالعاتی روندی افزایشی داشته است و بیشترین افزایش در ایستگاه گرگان است.

تغییرات پارامترهای اقلیمی، ET₀ و همچنین شاخص دومارتن طی دو دهه اخیر در اقلیم ناحیه خزری در جدول ۵ نشان داده شده است. دمای هوا از سال ۱۹۹۳ به بعد در تمامی ایستگاه‌های بررسی شده روند افزایشی داشته، اما بیشترین افزایش دما در اقلیم بابلسر (۱ درجه سانتی‌گراد، معادل ۶ درصد) مشاهده

جدول ۵- تغییرات پارامترهای اقلیمی، تبخیرتعرق مرجع و شاخص دومارتن طی دو دهه اخیر در ناحیه خزری

| انزلی | رامسر | بابلسر | قائم‌شهر* | گرگان | |
|--------|--------|--------|-----------|-------|--|
| ۱۶/۱ | ۱۵/۸ | ۱۶/۸ | ۱۶/۵ | ۱۷/۷ | میانگین دمای هوا (۱۹۶۱-۱۹۹۳) درجه سانتی‌گراد |
| ۱۶/۷ | ۱۶/۷ | ۱۷/۸ | ۱۷/۳ | ۱۸/۱ | میانگین دمای هوا (۱۹۹۴-۲۰۰۸) درجه سانتی‌گراد |
| +۳/۵ | +۵/۸ | +۶/۰ | +۴/۷ | +۲/۲ | درصد تغییرات دما |
| ۸۴/۷ | ۸۵ | ۸۳/۲ | ۸۳/۳ | ۶۸/۵ | میانگین رطوبت نسبی (۱۹۶۱-۱۹۹۳) درصد |
| ۸۳/۷ | ۸۱/۵ | ۸۰/۹ | ۸۲/۴ | ۷۳/۴ | میانگین رطوبت نسبی (۱۹۹۴-۲۰۰۸) درصد |
| -۱/۲ | -۴/۲ | -۲/۸ | -۱/۱ | +۷/۲ | درصد تغییرات رطوبت نسبی |
| ۴/۲ | ۳/۹ | ۳/۴ | ۳/۷ | ۲/۵ | میانگین سرعت باد (۱۹۶۱-۱۹۹۳) متر بر ثانیه |
| ۵/۱ | ۴/۹ | ۴/۶ | ۴/۵ | ۴/۱ | میانگین سرعت باد (۱۹۹۴-۲۰۰۸) متر بر ثانیه |
| +۲۱/۱ | +۲۵/۳ | +۳۵/۷ | +۲۲ | +۶۴/۶ | درصد تغییرات سرعت باد |
| ۱۷۹/۹ | ۱۲۱۸/۴ | ۸۹۱/۶ | ۷۱۶ | ۶۰۸/۵ | میانگین بارندگی (۱۹۶۱-۱۹۹۳) میلی‌متر |
| ۱۶۹۶/۴ | ۱۰۸۷/۴ | ۹۳۸/۳ | ۷۴۱ | ۵۲۴/۵ | میانگین بارندگی (۱۹۹۴-۲۰۰۸) میلی‌متر |
| -۵/۴ | -۱۰/۸ | +۵/۲ | +۳/۵ | -۱۳/۸ | درصد تغییرات بارندگی |
| ۳ | ۲/۲ | ۲/۵ | ۲/۵ | ۲/۷ | میانگین تبخیرتعرق مرجع (۱۹۶۱-۱۹۹۳) میلی‌متر در روز |
| ۳/۳ | ۲/۵ | ۲/۸ | ۲/۷ | ۳/۳ | میانگین تبخیرتعرق مرجع (۱۹۹۴-۲۰۰۸) میلی‌متر در روز |
| +۹/۷ | +۱۳ | +۱۲/۴ | +۸/۳ | +۲۲ | درصد تغییرات تبخیرتعرق مرجع |
| ۸/۲ | ۱۱/۸ | ۱۲/۴ | ۷/۹ | ۲۲ | قدر مطلق متوسط درصد تغییرات |
| ۶۸/۵ | ۴۷/۳ | ۳۳/۲ | ۲۷/۰۱ | ۲۱/۹ | عدد شاخص خشکی دومارتن (۱۹۶۱-۱۹۹۳) |
| ۶۳/۵ | ۴۰/۸ | ۳۳/۷ | ۲۷/۱۵ | ۱۸/۷ | عدد شاخص خشکی دومارتن (۱۹۹۴-۲۰۰۸) |

* قائم‌شهر (۱۹۸۴-۲۰۰۸)، + افزایشی، - کاهشی

خشکی دومارتن مربوط به ایستگاه رامسر (از ۴۷/۳ به ۴۰/۸) بوده است (جدول ۵).

- تغییرات پارامترهای اقلیمی و ET_0 روند تغییرات پارامترهای اقلیمی و ET_0 نشان داد که تنها بارندگی در تمامی ایستگاهها تغییر معنی داری نشان نداده است و بقیه پارامترها حداقل در یک ایستگاه روند معنی دار داشته اند (جدول ۶).

در نتیجه تغییرات ایجاد شده در پارامترهای اقلیمی، ET_0 نیز در ناحیه خزری از سال ۱۹۹۳ به بعد دارای تغییرات زیادی بوده است، به طوری که در تمامی ایستگاههای مورد مطالعه روندی افزایشی داشته و بیشترین افزایش در اقلیم گرگان (۲۲ درصد) بوده است.

شاخص خشکی دومارتن در ناحیه خزری در دو دهه اخیر کاهش یافته و بیشترین کاهش شاخص

جدول ۶- مقادیر آماره آزمون من کندال (Z) برای سریهای زمانی در مقیاس سالانه در ناحیه ریشی خزری

| انزلی | رامسر | بابلسر | قائم شهر | گرگان | |
|--------|--------|---------|----------|--------|-----------------------------------|
| ۱/۲۹ | ۳/۰۳* | ۴/۵۶** | ۳/۰۱* | ۱/۳۶ | دمای هوا (درجه سانتی گراد) |
| ۰/۶۷ | -۱/۸۹ | -۲/۳۹** | -۲/۰۳** | ۱/۷۸ | رطوبت نسبی (درصد) |
| -۰/۴۲ | -۱/۲۵ | ۱/۷۵ | ۰/۰۲ | -۱/۹۰ | بارندگی (میلی متر) |
| ۳/۳۵** | ۲/۰۲** | ۴/۵۴** | ۳/۳۹** | ۴/۷۴** | سرعت باد (متر بر ثانیه) |
| -۰/۰۶ | ۱/۴۳ | ۳/۴۴** | ۳/۶۷** | ۵/۴۹** | تبخیر تعرق مرجع (میلی متر در روز) |

* و **، به ترتیب نشان دهنده معنی داری در سطح ۵ و ۱ درصد هستند.

بحث

شامل دمای هوا، بارندگی، رطوبت نسبی و سرعت باد در ناحیه خزری تغییرات زیادی داشته اند، به طوری که براساس نتایج این مطالعه، دمای هوا در ناحیه خزری در طی بیست سال اخیر به طور متوسط حدود ۰/۷۴ درجه سانتی گراد افزایش یافته و بیشترین افزایش مربوط به اقلیم مرطوب بابلسر (۱ درجه سانتی گراد) بوده است. سرعت باد نیز از سال ۱۹۹۳ به بعد در تمام ایستگاهها روند افزایشی داشته است، به طوری که بیشترین افزایش، در اقلیم گرگان (۱/۶ متر بر ثانیه) مشاهده شد. دو پارامتر بارندگی و رطوبت نسبی تغییرات متفاوتی داشته اند، به طوری که رطوبت نسبی به جز گرگان و انزلی، در سایر ایستگاهها روند نزولی و بارندگی نیز در بخشهای مرکزی روند صعودی و در سایر مناطق روند نزولی داشته است. براساس نتایج این تحقیق، میزان تبخیر تعرق مرجع در ناحیه خزری در حال افزایش است، به طوری که بیشترین افزایش در اقلیم گرگان (۲۲ درصد) بوده است. این تغییرات

براساس نتایج این پژوهش هرچه از سمت شرق ناحیه خزری به سمت غرب آن حرکت می کنیم اقلیم مرطوب تر می شود، به طوری که از دمای هوا کاسته و بر بارندگی افزوده می شود. گرگان در شرق دارای بیشترین میانگین دمای سالیانه یعنی ۱۷/۸ درجه سانتی گراد و کمترین بارندگی یعنی ۵۸۲ میلی متر و برعکس انزلی در غرب دارای کمترین میانگین دمای سالیانه یعنی ۱۶/۳ درجه سانتی گراد و بیشترین بارندگی یعنی ۱۷۶۳ میلی متر هستند. بیشترین تبخیر تعرق مرجع سالیانه در شرق و غرب ناحیه خزری، (در حدود ۱۰۹۰ میلی متر) محاسبه شد، در حالی که در بخشهای مرکزی (قائم شهر، بابلسر و رامسر)، میزان تبخیر تعرق سالیانه حدود ۹۲۰ میلی متر است.

بررسی میزان تغییرات پارامترهای اقلیمی در نیم قرن گذشته نشان داد که کلیه پارامترهای اقلیمی،

اقلیم در مناطق مختلف جهان در حال وقوع است یا در آینده به وقوع خواهد پیوست، ایران را هم در بر خواهد گرفت، به طوری که بر اساس نتایج این مطالعه، دمای هوا در ناحیه خزری در طی بیست سال اخیر به طور متوسط حدود $0/4$ درجه سانتیگراد افزایش یافته است. نتایج دیگر پژوهش‌های انجام گرفته در جنگل‌های خزری نیز نشان می‌دهد که طی نیم قرن گذشته، این ناحیه گرم‌تر شده است، به طوری که طی سال‌های اخیر در حوضه‌های گرگان و گیلان بیش از 1 درجه افزایش دما نشان داده شده است (Jafari, 2008). اگر تغییر اقلیم به صورت تدریجی و یکنواخت باشد، احتمال سازگاری اکوسیستم‌ها با این تغییر تدریجی اقلیم بیشتر است، در حالی که اگر اقلیم به صورت افزایشی یا ناگهانی تغییر کند، مانند آنچه در اقلیم ناحیه خزری رخ داده است (به طور متوسط $4/5$ درصد افزایش دما طی بیست سال گذشته)، امکان سازگاری اکوسیستم‌ها با تغییر اقلیم ناچیز خواهد بود. علت کاهش چشمگیر عرصه‌های جنگلی طی سال‌های 1337 تا 1373 را اغلب به تخریب جنگل یا توسعه اراضی کشاورزی مرتبط می‌دانند و مسئله تأثیرات تغییر اقلیم از موضوعاتی بوده که بررسی و ارزیابی نشده است. محتمل است با افزایش دما و خشک شدن عرصه، محیط برای رشد درختانی که در خاک‌های بسیار مرطوب رویش دارند، نامناسب شود و جنگل‌هایی که در حاشیه قرار دارند، با نامناسب شدن شرایط زیست، در اثر تغییر اقلیم از بین بروند. همچنین جنگل‌هایی که در حال حاضر تحت فشار تنش‌های محیطی از قبیل آفات و بیماری‌ها و شرایط جوی هستند، ممکن است توان تحمل تنش‌های اضافی تغییرات اقلیم را نداشته باشند (Winnett, 1998). بنابراین جنگل‌های خزری نیز که در حال حاضر تحت تنش‌های مختلف به‌ویژه تنش‌های ناشی از دخالت انسان به طور گسترده‌اند، با تنش تغییر اقلیم، سریع‌تر در معرض نابودی قرار خواهند گرفت.

دلیل محکمی بر اثبات این ادعاست که ایران هم مانند سایر کشورهای جهان به شدت با تغییر اقلیم و پیامدهای آن در ارتباط است. همچنین یافته‌های این پژوهش همسو با نتایج دیگر پژوهشگران در زمینه افزایش دما (Azarakhshi et al., 2013) و کاهش بارندگی (Mohammadi, 2011; Piervitali et al., 1998; Trenberth & Dai, 2007; Hasanean & Almazroui, 2015) بر اثر تغییر اقلیم است. برای نمونه، (Mohammadi 2011) با استفاده از داده‌های 1437 ایستگاه هواشناسی طی دوره 40 ساله در سراسر کشور به این نتیجه رسید که میانگین ایستگاهی بارش ایران در هر سال $0/64$ میلی‌متر کاهش یافته است. (Trenberth & Dai 2007) با بررسی مقدار بارندگی در اکوسیستم‌های خشکی، نتیجه گرفتند که از سال 1950 میلادی به بعد، به‌طور متوسط مقدار بارندگی در اکوسیستم‌های خشکی کاهش یافته است. (Hasanean & Almazroui 2015) با بررسی بارندگی در عربستان سعودی، به این نتیجه رسیدند که مقدار بارندگی در 16 سال اخیر ($2009-1994$ میلادی) کاهش معنی‌داری داشته و مقدار آن نسبت به دوره گذشته ($1993-1978$)، $47/8$ میلی‌متر کم شده است.

در ناحیه خزری، روند بیشتر پارامترهای مورد بررسی (به جز بارندگی)، تغییرات معنی‌داری یافته است (جدول ۶). بنابراین می‌توان اظهار داشت که همسو با تغییرات اقلیمی در دنیا، در ناحیه خزری نیز تغییر اقلیم سبب تغییر پارامترهای اقلیمی شده است. در حقیقت تغییر اقلیم بحثی فرامرزی است که محدود به یک یا چند کشور نمی‌شود. گزارش شده است که دمای هوا در نیمکره شمالی زمین از سال 1975 تا 2005 ، به مقدار $0/3$ درجه سانتیگراد افزایش یافته است (Hansen et al., 2001; Smith & Reynolds, 2005; Brohan et al., 2006). در واقع تغییراتی که در اثر گرم شدن زمین و تغییر

References

- Allen, R.G., Pereira, L.S., Raes, D., & Smith, M. (1998). Crop evapotranspiration. FAO Irrigation and Drainage Paper 56, Rome.
- Allen, R.G., Smith, M., Perrier, A., & Pereira, L.S. (1994). An update for definition of reference evapotranspiration. *International Community of Irrigation and Drainage Bulletin*, 43, 1–35.
- Attarod, P., Sadeghi, S.M.M., Fathizadeh, O., Motahari, M. Rahbari Sisakht, S., Ahmadi, M.T., & Bayramzadeh, V. (2015). Temperature- and radiation based methods against the standard FAO Penman- Monteith for estimating the reference evapotranspiration (ET₀) in Gorgan. *Iranian Journal of Forest and Wood Product*, 68 (2), 359-369.
- Azarakhshi, M., Farzadmehr, J., Eslah, M., & Sahabi, H. (2013). An Investigation on Trends of Annual and Seasonal Rainfall and Temperature in Different Climatologically Regions of Iran. *Journal of Range and Watershed Management*, 66 (1), 1-16.
- Baltas, E. (2007). Spatial distribution of climate indices in northern Greece. *Meteorological Applications*, 14, 69–78.
- Brohan, P., Kennedy, J.J., Harris, I., Tett, S.F.B., & Jones, P.D. (2006). Uncertainty estimates in regional and global observed temperature changes: a new dataset from 1850. *Journal of Geophysical Research*. 111(12), 20-31.
- Hansen, J.E., Ruedy, R., Sato, M., & Imhoff, M. (2001). A closer look at United States and global surface temperature change. *Journal of Geophysical Research*, 106, 23947–23963.
- Hasanean, H., & Almazroui, M. (2015). Rainfall: features and variations over Saudi Arabia, a review. *Climate*, 3, 578–626.
- Huntjens, P., Louis, L., Pahl-Wostl, C., Camkin, J., Schulze, R., & Kranz, N. (2012). Institutional design propositions for the governance of adaptation to climate change in the water sector. *Global Environment Change*, 22, 67–81.
- IPCC. (2007). Summary for policymakers. In: Solomon S, Qin D, Manning M, Chen Z and others (eds) *Climate change 2007: the physical science basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Cambridge University Press, Cambridge.
- Jafari, M. (2008). Investigation and analysis of climate change factors in Caspian Zone forests for last fifty years. *Iranian Journal of Forest and Poplar Research*, 16 (2), 314-326.
- Khaleghi, S., Bazazan, F., & Madani, S. (2015). Effect of climate change on agricultural production and Iranian Economy. *Journal of Agricultural Economics Research*, 17 (1), 113-135.
- Koocheki, A., Nasiri, M., Kamali, G.A., & Shahandeh, H. (2006). Potential impacts of climate change on agro climatic indicators in Iran. *Journal of Arid Land Research and Management*, 20, 245–259.
- Kouchakzadeh, M. and Nikbakht, J. (2004). Comparison of different reference evapotranspiration methods for different climates of Iran with FAO-Penamn-Montith standard method. *Agricultural Sciences*, 10(3), 43-57.
- Mendelsohn, R. (2009). The impact of climate change on agriculture in developing countries. *Journal of Natural Resources Policy Research*, 1, 5–19
- Mohammadi, B. (2011). Trend Analysis of annual rainfall over Iran. *Geography and Environmental Planning Journal*, 43(3), 95-106.
- Netherer, S., & Schopf, A. (2010). Potential effects of climate change on insect herbivores in European forests-General aspects and the pine processionary moth as specific example. *Forest Ecology and Management*, 259, 831–838.

- Piervitali, E., Colacino, M., & Conte, M. (1998). Rainfall over the central-western Mediterranean basin in the period 1951–1995. Part I: precipitation trends. *Nuovo Cimento*, 21, 331–344.
- Sabziparvar, A.A., & Shadmani, M. (2011). Trends analysis of reference evapotranspiration rates by using the Mann-Kendall and spearman tests in arid regions of Iran. *Journal of Water and Soil*, 25 (4), 823-834.
- Shirzadi, M.H., & Hemayati, S.S. (2012). Study of the trend of long-time variations of meteorological parameters in Jiroft, Iran. *Plant Ecophysiology*, 4, 129–134.
- Smith, T.M., & Reynolds, R.W. (2005). A global merged land–air– sea surface temperature reconstruction based on historical observations (1880–1997). *Journal of Climate*, 18, 2021–2036.
- Trenberth, K.E., & Dai, A. (2007). Effects of Mount Pinatubo volcanic eruption on the hydrological cycle as an analog of geoengineering. *Geophysical Research Letters*, 34(15), 1-5.
- Winnett, S.M. (1998). Potential effects of climate change on U.S. forests: a review. *Journal of Climate Research*, 11, 39–49.
- Zohary, M. (1973). *Geobotanical Foundations of the Middle East*. Fischer Verlag, Stuttgart, Amsterdam



Trend analysis of meteorological parameters and reference evapotranspiration in the Caspian region

P. Attarod^{1*}, F. Kheirkhah², S. Khalighi Sigaroodi³, S.M.M. Sadeghi⁴,
A. Dolatshahi⁵, and V. Bayramzadeh⁶

¹ Associate Prof., Faculty of Natural Resources, University of Tehran, Karaj, I.R. Iran

² Ph.D Student of Silviculture, Sari University of Agricultural Sciences and Natural Resources, Sari, I.R. Iran

³ Associate Prof., Faculty of Natural Resources, University of Tehran, Karaj, I.R. Iran

⁴ Ph.D Student of Silviculture and Forest Ecology, Faculty of Natural Resources, University of Tehran, Karaj, I.R. Iran

⁵ M.Sc., Faculty of Natural Resources, University of Tehran, Karaj, I.R. Iran

⁶ Associate Prof., Department of Wood Sciences, Karaj Branch, Islamic Azad University, Karaj, I.R. Iran

(Received: 12 January 2015; Accepted: 27 November 2015)

Abstract

This study aims at observing the long-term trends of meteorological parameters and ET_0 in Caspian region, North of Iran. The long-term trends of meteorological data (1961-2008) were obtained from five synoptic meteorological stations, i.e. Gorgan, Qaem Shahr, Babolsar, Ramsar, and Anzali located throughout the Caspian region. In order to observe the trends of meteorological parameters, the region was primarily classified into five climatic zones based on De Martonne climate classification index (I_A). The FAO Penman–Monteith combination equation was applied to calculate the ET_0 . The Caspian region was categorized in five climatic classifications as Mediterranean (Gorgan), semi-humid (Qaem Shahr), humid (Babolsar), very humid, type 1 (Ramsar), and very humid, type 2 (Anzali). Our results indicated that trends of air temperature were significant within the past half-decade so that it was increased (0.74°C) during the two past decades. As well, wind speed showed significant increasing trends in all stations and increased 1.1 m.s^{-1} as average. The ET_0 has been raised 0.4 mm.d^{-1} in Caspian region since 1988 and I_A decreased from 39.5 to 36.8 showing the region is getting warmer and drier. Changes in meteorological parameters and ET_0 will definitely affect the function of natural and artificial ecosystems. It is essential for managers to think of expected changes while planning for future development in Caspian region.

Keywords: Climate change, Meteorological parameters, Reference evapotranspiration, The Caspian region.

