

برآورد طول دوره رشد گندم دیم بر پایه روش ناحیه‌بندی اکولوژیکی FAO برای اقلیم ایران

سیاوش انصاری^۱، سامان جوادی پیربازاری^{۲*}، سید مهدی هاشمی شاهدانی^۲، بهزاد آزادگان^۲

۱. دانشجوی دکتری آبیاری و زهکشی، گروه مهندسی آب، دانشکده‌گان ابوریحان دانشگاه تهران

۲. دانشیار، گروه مهندسی آب، دانشکده فناوری کشاورزی ابوریحان، دانشگاه تهران

(تاریخ دریافت ۱۴۰۱/۱۰/۲۱؛ تاریخ بازنگری ۱۴۰۱/۱۱/۱۱ تاریخ تصویب ۱۴۰۱/۱۲/۲۷)

چکیده

برای انجام برنامه‌ریزی مناسب جهت انجام عملیات زراعی و آگاهی از زمان مناسب کاشت گندم دیم، برآورد طول دوره رشد (LGP) و آغاز و پایان آن، اهمیت ویژه‌ای دارد. در این پژوهش طول دوره رشد گندم دیم به منظور طول آماری ۳۰ ساله (۱۳۷۱ تا ۱۴۰۰) برای ۳۸ ایستگاه سینوپتیک کشور با بهره‌گیری از پارامترهای دما و بارش برآورد شده است. روش مورد استفاده برای برآورد طول رشد، روش پیشنهادی دستورالعمل ناحیه‌بندی اکولوژیکی سازمان خواربار و کشاورزی ملل متحد (FAO) است. در این روش با پیدا کردن نقاط تقاطع گراف‌های بارش و ۵۰ درصد تبخیر و تعرق پتانسیل، آغاز و پایان رشد، طول دوره رشد استخراج شده و سپس، با نتایج ارائه‌شده برای طول دوره رشد در نشریه طبقه‌بندی اکولوژیکی سازمان فائو (GAEZ) و پژوهش‌های قبلی تخمین فصل رشد با روش درجه روز رشد، مورد مقایسه قرار گرفته است. برپایه نتایج به‌دست‌آمده، ایستگاه آستارا با داشتن ۳۰۱ روز طول دوره رشد و ایستگاه‌های اصفهان، سراوان، طبس، سمنان، زاهدان و کرمان با داشتن صفر روز طول دوره رشد، به ترتیب بیشترین و کمترین طول دوره رشد را به خود اختصاص داده‌اند. همچنین نتایج نشان داد استفاده از روش FAO برای برآورد طول دوره رشد در مناطق خشک، تخمین‌های واقع‌بینانه‌تری را نسبت به روش درجه روز رشد به دست می‌آورد.

واژه‌های کلیدی: دما، بارش، تبخیر و تعرق پتانسیل، فائو، گندم.

۱. مقدمه

یکی از عوامل اصلی تعیین‌کننده بازده کشاورزی، زمان در دسترس برای رشد طبیعی محصول برای فتوسنتز است که از این زمان به عنوان طول دوره رشد یاد می‌شود و طول این دوره از فاکتورهای دما و رطوبت تأثیر می‌پذیرد. در این تعریف، شمار روزهای با دمای بالاتر از ۵ درجه سانتی‌گراد (کمینه دما برای رشد گندم) و دوره‌هایی را که خیلی سرد، خیلی خشک یا هم خشک و هم سرد هستند، لحاظ نمی‌شود. فصل رشد را می‌توان به عنوان دوره‌ای تعریف کرد که در آن ویژگی‌های توزیع بارندگی برای جوانه‌زنی، استقرار، رشد و رسیدن محصول مناسب است. از این‌رو، آغاز و پایان بارندگی در فصل رشد کشاورزی دیم در برنامه‌ریزی‌های کشاورزی از جایگاه ویژه‌ای برخوردار است. ترکیب این دو، طول فصل رشد را تعیین می‌کند. طول فصل رشد در شرایط دیم به عنوان دوره‌ای از تاریخ آغاز فصل بارندگی تا تاریخ پایان آن تعریف می‌شود [۱]. بر پایه تعریف ارائه‌شده به وسیله گروه تغییرپذیری کمیسیون اقلیم‌شناسی سازمان هواشناسی جهانی (CCL / CLIVAR¹)، در نیمکره شمالی فاصله زمانی بین نخستین دوره پس از اول جوالی (دهم تیر)، که حداقل شش روز متوالی، دمای میانگین روزانه بیشتر از ۵ درجه سانتی‌گراد باشد و نخستین دوره شش‌روزه با دمای میانگین روزانه کمتر از ۵ درجه سانتی‌گراد بازه دوره رویشی به شمار می‌آید. در نیمکره جنوبی این فاصله زمانی از اول ماه ژانویه در نظر گرفته می‌شود. نخستین دوره شش‌روزه با میانگین دمای بالای ۵ درجه سانتی‌گراد پس از آخرین یخبندان بهار را به عنوان آغاز دوره و آخرین دوره شش‌روزه با میانگین دمای زیر ۵ درجه سانتی‌گراد را به عنوان پایان طول دوره رشد در نظر گرفته است [۲].

در زمینه برآورد طول فصل رشد تا کنون پژوهش‌های زیادی هم در داخل و هم خارج کشور انجام شده است که از آن نمونه، فاتح و همکاران (۲۰۱۵) با بررسی واحدهای گرمایی تجمعی طی فصل رشد گندم در ایران نشان دادند میزان واحدهای گرمایی طول فصل رشد در پایه دمایی صفر درجه سلسیوس از جنوب به شمال و از غرب به شرق کشور افزایش می‌یابد [۳]. مظفری و همکاران (۲۰۱۹) برای برآورد

واحدهای حرارتی، نخست طول فصل رشد را در آستانه‌های دمایی ۵ و ۱۰ درجه سانتی‌گراد طبقه‌بندی و پس از محاسبه واحدهای حرارتی طی فصل رشد، نقشه پهنه‌بندی واحدهای حرارتی و طول فصل رشد را در نرم‌افزار GIS² تهیه کردند. سپس، واحدهای حرارتی فصل رشد در پایه دماهای ۵ و ۱۰ درجه سانتی‌گراد را به پنج دسته تقسیم کردند. بر پایه نتایج مطالعات آن‌ها، واحدهای حرارتی فصل رشد در دمای پایه از ۵ درجه سانتی‌گراد از جنوب به شمال و از غرب به شرق کشور روند افزایشی را نشان داد و در دمای پایه ۱۰ درجه سانتی‌گراد، واحدهای حرارتی از جنوب به شمال کاهش یافته و از غرب به شرق افزایش یافت [۲]. مهادواسوامی و همکاران (۲۰۱۶) در پژوهشی با استفاده از روش اکولوژیکی فائو و بر پایه داده‌های بارندگی هفتگی (RF³) و تبخیر و تعرق بالقوه (PET⁴) در ۵۲ هفته استاندارد برای دوره ۲۰ ساله (۱۹۹۶-۲۰۱۵) طول دوره رشد را برای منطقه کارناتا کای هندوستان مورد پژوهش قرار دادند و نشان دادند تولید محصول مناسب برای مدت ۲۱۰ روز از هفته دوم آوریل تا هفته اول نوامبر امکان‌پذیر بود. در هفته استاندارد بیست و ششم طی فصل رشد (هفته چهارم می و تا اندازه‌های هفته اول ژوئیه) که طی آن، بارش به اندازه مناسب برای رسیدن به حداقل کافی نیست ($RF/PET < 0.50$)، از دید فراهم بودن رطوبت برای محصولات، حیاتی و تعیین‌کننده بود [۴].

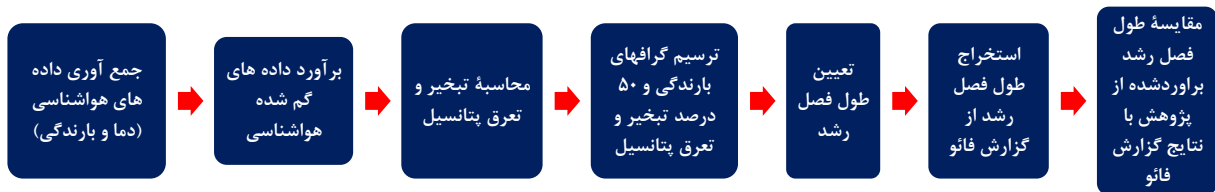
بازه فصل رشد همان‌گونه که به وسیله پروژه زمین‌های کشاورزی اکولوژیکی برای کل کشورها (۲۰۱۲)، دوره‌ای طی یک سال است که در آن بارش از نصف تبخیر و تعرق پتانسیل تجاوز می‌کند ($RF/PET < 0.50$). نقشه منطقه‌ای ارائه‌شده یک لایه داده شطرنجی جهانی با وضوح پنج دقیقه قوس است. هر پیکسل دارای یک مقدار برای هر منطقه با طول فصل رشد غالب موجود در پیکسل است [۵].

در زمینه تخمین فصل رشد، پژوهش‌های پیشین انجام‌گرفته در داخل کشور بیشتر به روش درجه-روز رشد بوده است و یا اینکه بدون مقایسه با نتایج گزارش فائو تنها به ارائه نتایج پژوهش بسنده کرده‌اند. در این پژوهش، با استفاده آمار ۳۰ ساله دما و بارندگی، روش فائو پایه برآورد طول فصل رشد برای سطح کشور قرار گرفته و یافته‌ها با نتایج

2. Geographic Information System
3. Weekly rainfall or precipitation
4. Potential Evapotranspiration

1. Climate variability and predictability

گونه‌ای که تقاطع اول دو نمودار یادشده، نشان‌دهنده پایان دوره بارش و تقاطع دوم نشان‌دهنده آغاز دوره رشد است. بر پایه روش فائو مدت زمانی که پس از پایان دوره بارش طول می‌کشد تا خاک ۱۰۰ میلی‌متر از رطوبت ذخیره‌شده را بر اثر تبخیر و تعرق از دست بدهد، به پایان دوره افزوده می‌شود تا روز پایان رشد مشخص شود. اختلاف بین آغاز و پایان رشد، بیانگر طول فصل رشد خواهد بود. در شکل ۱ مراحل انجام پژوهش ارائه شده است.



شکل ۱. فلوچارت مراحل انجام پژوهش

به‌دست‌آمده با نتایج تحقیقات پیشین دوباره از این شکل استفاده خواهد شد.

۲.۲. پیش‌پردازش داده‌ها

داده‌های هواشناسی مورد استفاده در این پژوهش، دمای کمینه، دمای بیشینه و بارندگی روزانه است. برای دما همه ایستگاه‌ها دارای آمار کامل بودند، ولی برای بارندگی، ۱۱ ایستگاه دارای داده گم‌شده بودند که پس از تخمین داده‌های گم‌شده به روش همبستگی، میانگین ۳۰ ساله هر یک از شاخص‌های هواشناسی مورد استفاده قرار گرفته است. ایستگاه‌های مورد مطالعه به گونه‌ای انتخاب شده‌اند که در اقلیم‌های هشت‌گانه کشور ایران (شامل مناطق بسیار سرد، سرد، معتدل و بارانی، نیمه‌معتدل و بارانی، نیمه‌خشک، گرم و خشک، بسیار گرم و خشک و بسیار گرم و مرطوب) واقع باشند. یکی از روش‌های بازسازی داده‌های ناقص روش استفاده از همبستگی بین داده‌های کلیماتولوژی با داده‌های ایستگاه‌های پیرامون بوده که از مزایای این روش سادگی نسبی آن در مقایسه با روش‌های دیگر است و بیشتر حالات در بازسازی داده‌های مربوط به ایستگاه‌های کلیماتولوژی در یک منطقه با ویژگی‌های هیدروکلیماتولوژی مشابه نتایج قابل قبولی ارائه می‌دهد [۷]. در این روش ضریب همبستگی بین داده‌های

به‌دست‌آمده از گزارش اکولوژیکی فائو مورد مقایسه قرار گرفته است. هدف از انجام پژوهش حاضر، بررسی کارایی مدل ارائه‌شده فائو برای کل گستره مطالعاتی کشور است.

۲. مواد و روش‌ها

در این پژوهش برای برآورد طول فصل رشد گندم دیم، از روش ناحیه‌بندی اکولوژیکی فائو استفاده شده است. در این روش، نقاط تقاطع گراف بارندگی و ۵۰ درصد تبخیر و تعرق پتانسیل ماهانه در یک نمودار سنجش شده، به

برای برآورد تبخیر و تعرق پتانسیل از بین روش‌های مختلف، روش ترنت وایت انتخاب شده است. علت انتخاب این روش ساده‌تر بودن رابطه، کمتر بودن پارامترهای وابسته و اخذ نتایج قابل قبول برای اقلیم‌های مختلف کشور بوده است [۶].

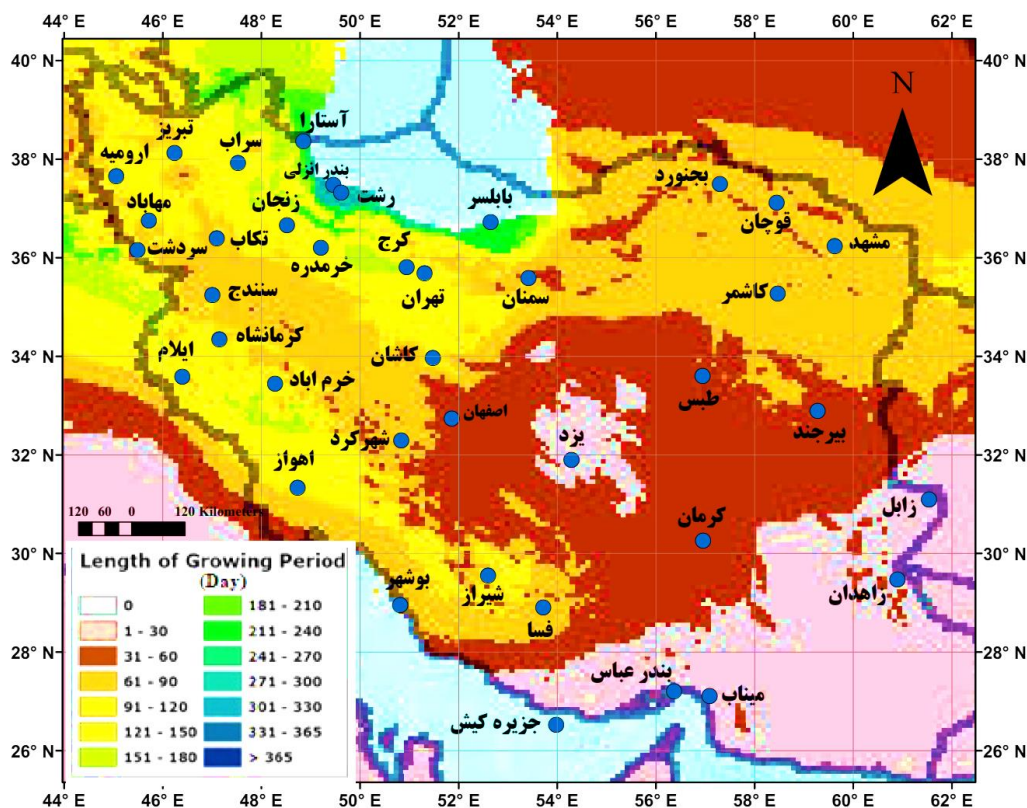
پس از سنجش طول فصل رشد برای هر یک از ایستگاه‌ها، با استفاده از نقشه خروجی گزارش اکولوژیکی فائو برای طول فصل رشد، به کمک نرم‌افزار GIS، طول فصل رشد به صورت بازه‌ای برای هر یک از ایستگاه‌ها استخراج و با نتایج به‌دست‌آمده از این پژوهش مورد مقایسه قرار گرفته است.

۲.۱. پهنه پژوهشی و ایستگاه‌های مورد استفاده

با نگرش به جایگاه موضوع فصل رشد گیاهان و تأثیر آن در برنامه‌ریزی‌های کشاورزی دیم برای سازگاری با شرایط کم‌آبی، پهنه پژوهشی این تحقیق کل کشور در نظر گرفته شده است. برای برآورد طول فصل رشد از آمار دمای بیشینه، دمای کمینه و بارندگی روزانه ۳۰ سال گذشته (۱۳۷۱-۱۴۰۰) سنجش‌شده در ۳۸ ایستگاه هواشناسی سینوپتیک کشور استفاده شده که در شکل ۲ موقعیت ایستگاه‌های یادشده روی نقشه طبقه‌بندی‌شده FAO برپایه طول دوره رشد آورده شده است که در مرحله بررسی نتایج پژوهش برای تحلیل و مقایسه نتایج

مجهول تشکیل و بازسازی داده‌های ماهانه طبق آن محاسبه می‌شود. در جدول ۱ ضریب همبستگی بین داده‌های بارش ایستگاه‌های دارای داده گم‌شده ارائه شده است و برای پرداختن هدف اصلی پژوهش، از ارائه روابط خطی بین داده‌های هواشناسی پرهیز شده است.

هواشناسی ایستگاه دارای داده مجهول و مقادیر داده‌های ماهانه سایر ایستگاه‌های مجاور محاسبه می‌شود. سپس یک رابطه خطی بین داده‌های بارش ماهانه ایستگاهی که بالاترین ضریب همبستگی را با ایستگاه مورد نظر داشته باشد با داده‌های هواشناسی ماهانه ایستگاه دارای داده

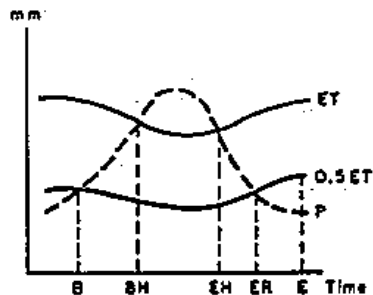


شکل ۲. موقعیت ایستگاه‌های مورد مطالعه روی نقشه طبقه‌بندی شده FAO بر پایه طول دوره رشد

جدول ۱. ضریب همبستگی بین داده‌های بارش ایستگاه‌های دارای داده گم‌شده

ایستگاه	فسا	مهاباد	مشهد	ارومیه	سراب	شیراز	طیس	تبریز	تکاب	زنجان
فسا	۱									
مهاباد	-۰/۶۱	۱								
مشهد	۰/۹۹	۰/۶۶	۱							
ارومیه	۰/۹۷۸	-۰/۶۹	۰/۹۹	۱						
سراب	۰/۱۵	۰/۶۱	۰/۱۱	۰/۰۶	۱					
شراز	-۰/۸۶	۰/۷۴	-۰/۹۱	-۰/۹۴	۰/۰۲	۱				
طیس	-۰/۶۱	۰/۸۶	-۰/۶۷	-۰/۷۱	۰/۳۷	۰/۸۵	۱			
تبریز	-۰/۱۱	۰/۸۴	-۰/۲۰	-۰/۲۵	۰/۹۳	۰/۳۵	۰/۶۴	۱		
طیس	-۰/۴۵	۰/۹۸	-۰/۵۰	-۰/۵۴	۰/۷۶	۰/۶۰	۰/۷۷	-۰/۹۳	۱	
زنجان	-۰/۳۲	۰/۹۳	-۰/۳۷	-۰/۴۱	۰/۸۴	۰/۵۱	۰/۷۳	۰/۹۷	۰/۹۹	۱

درصد تبخیر و تعرق پتانسیل ماهانه، نقاط تلاقی این منحنی با منحنی تغییرات بارش، طول فصل رشد مشخص می‌شود که در شکل ۳ نمودار شماتیک نحوه برآورد طول فصل رشد ارائه شده است [۸]. برای محصولات دیم این دوره نشان‌دهنده طول واقعی فصل رشد است که با توجه شرایط آب‌وهوایی، الگوی متفاوتی قابل تعریف است.



شکل ۳. نمودار شماتیک نحوه محاسبه طول دوره رشد با استفاده از تقاطع نمودار بارندگی و ۵۰ درصد تبخیر و تعرق پتانسیل

T_i : میانگین دمای هوا در ماه مورد نظر
 N_m : ضریب اصلاحی برای عرض‌های مختلف جغرافیایی و ماه‌های مختلف [۱۱]
 I : شاخص حرارتی سالانه
 a : ضریب تبدیل است که به صورت رابطه ۳ محاسبه می‌شود.

(۳) $a = 6.75 \times 10^{-7} I^3 - 7.71 \times 10^{-5} I^2 + 1.792 \times 10^{-2} I + 0.492$
 درخور یادآوری است که در صورتی که میانگین دما در یک ماه صفر یا منفی شود، شاخص حرارتی ماهانه برای آن ماه صفر در نظر گرفته می‌شود.

۳. نتایج

۳.۱. محاسبه طول فصل رشد

با استفاده از پارامترهای دمای کمینه و دمای بیشینه و با نگرش به ضریب تصحیح مربوط به عرض جغرافیایی، به روش ترنت وایت تبخیر و تعرق پتانسیل برای هر یک از ایستگاه‌های مورد مطالعه برآورد شده و بر پایه نصف مقادیر برآورد شده برای تبخیر و تعرق پتانسیل ماهانه، گراف مربوط به $\frac{ET_0}{2}$ همراه با گراف بارندگی در یک نمودار ترسیم شد که در شکل‌های ۴ تا ۷ نمودار مربوط به هر یک از ایستگاه‌ها آورده شده است. در مرحله بعد به کمک ماکرونویسی در محیط نرم‌افزار اکسل نقاط تقاطع گراف

۳.۲. برآورد فصل رشد به روش اکولوژیکی سازمان خواربار و کشاورزی ملل متحد (FAO)

بر پایه رده‌بندی اکولوژیکی فائو، بازه طول فصل رشد بر پایه اندازه رطوبت قابل استفاده گیاه برآورد می‌شود. بر پایه روش FAO تعیین طول فصل رشد واقعی با استفاده از میانگین نرخ بارندگی ماهانه و میانگین تبخیر و تعرق پتانسیل ماهانه انجام می‌شود. با رسم منحنی مربوط به ۵۰

B: Beginning of the growth period
 BH: Beginning of the humid period
 EH: End of the humid period
 ER: End of the rainy season
 P: Precipitation
 ET: Evaporation and transpiration potential

همان طور که در نمودار شکل ۳ مشاهده می‌شود، نقطه B، آغاز فصل رشد و نقطه ER، پایان فصل بارندگی است که برای محاسبه دوره زمانی که برای تبخیر ۱۰۰ میلی‌متر آب فرضی ذخیره شده در خاک طی دوره مرطوب که جزء تعریف سازمان خواربار کشاورزی ملل متحد از دوره رشد است از نرخ تبخیر و تعرق پتانسیل ماهانه پس از پایان دوره بارندگی استفاده شد [۹]. علاوه بر مفهوم یادشده محدودیت دمایی نیز در نظر گرفته شد و روزهایی که دمای میانگین شبانه‌روز آن‌ها طبق تعریف سازمان خواربار کشاورزی ملل متحد از ۵ درجه سانتی‌گراد کمتر است، از دوره رشد حذف می‌شوند [۱۰].

۳.۲. محاسبه تبخیر و تعرق پتانسیل

برای برآورد تبخیر و تعرق پتانسیل از بین روش‌های مختلف، روش ترنت وایت انتخاب شده است. روش ترنت وایت بر پایه یک رابطه تجربی بین مقدار تبخیر-تعرق مرجع و میانگین دمای هوا ارائه شده است [۱۱]. معادلات این روش به صورت روابط ۱ و ۲ است:

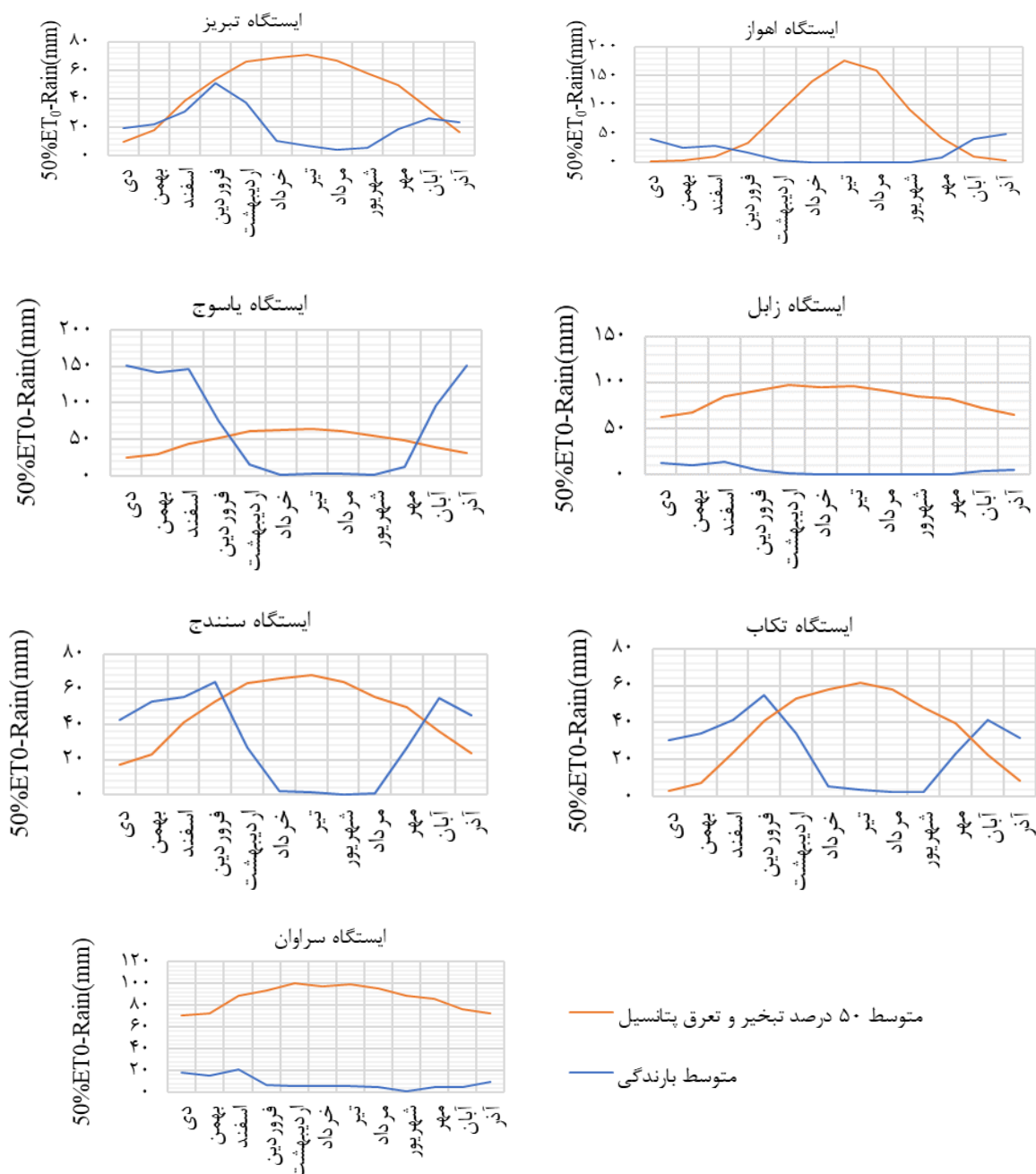
$$ET_0 = 16N_m \left(\frac{10T_i}{I} \right)^a \quad (1)$$

$$I = \sum_{i=1}^{12} \left(\frac{T_i}{5} \right)^{1.51} \quad (2)$$

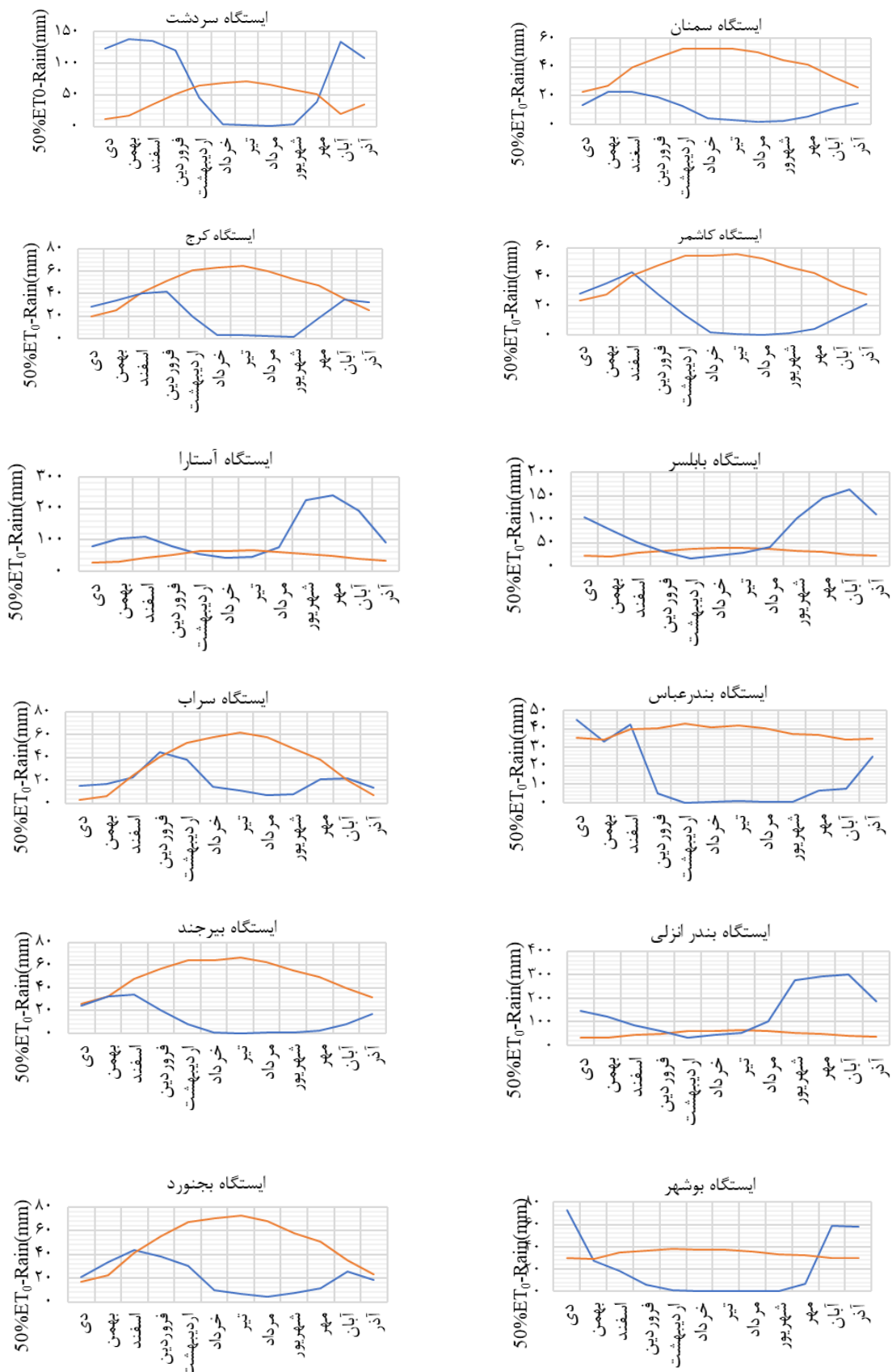
که در آن:

رشد، طول فصل رشد برای هر یک از ایستگاه‌ها محاسبه شد که این پارامترها در جدول ۲ همراه با ارقام برآوردشده مطالعات قبلی برای برآورد طول دوره رشد با روش درجه روز رشد آورده شده است [۳]. اعداد معادل صفر برای دوره فصل رشد نشان می‌دهد بر پایه میانگین داده‌های دوره آماری، به لحاظ دما و بارش، شرایط مناسب برای آغاز فصل رشد در محدوده ایستگاه هواشناسی مورد مطالعه فراهم نبوده است.

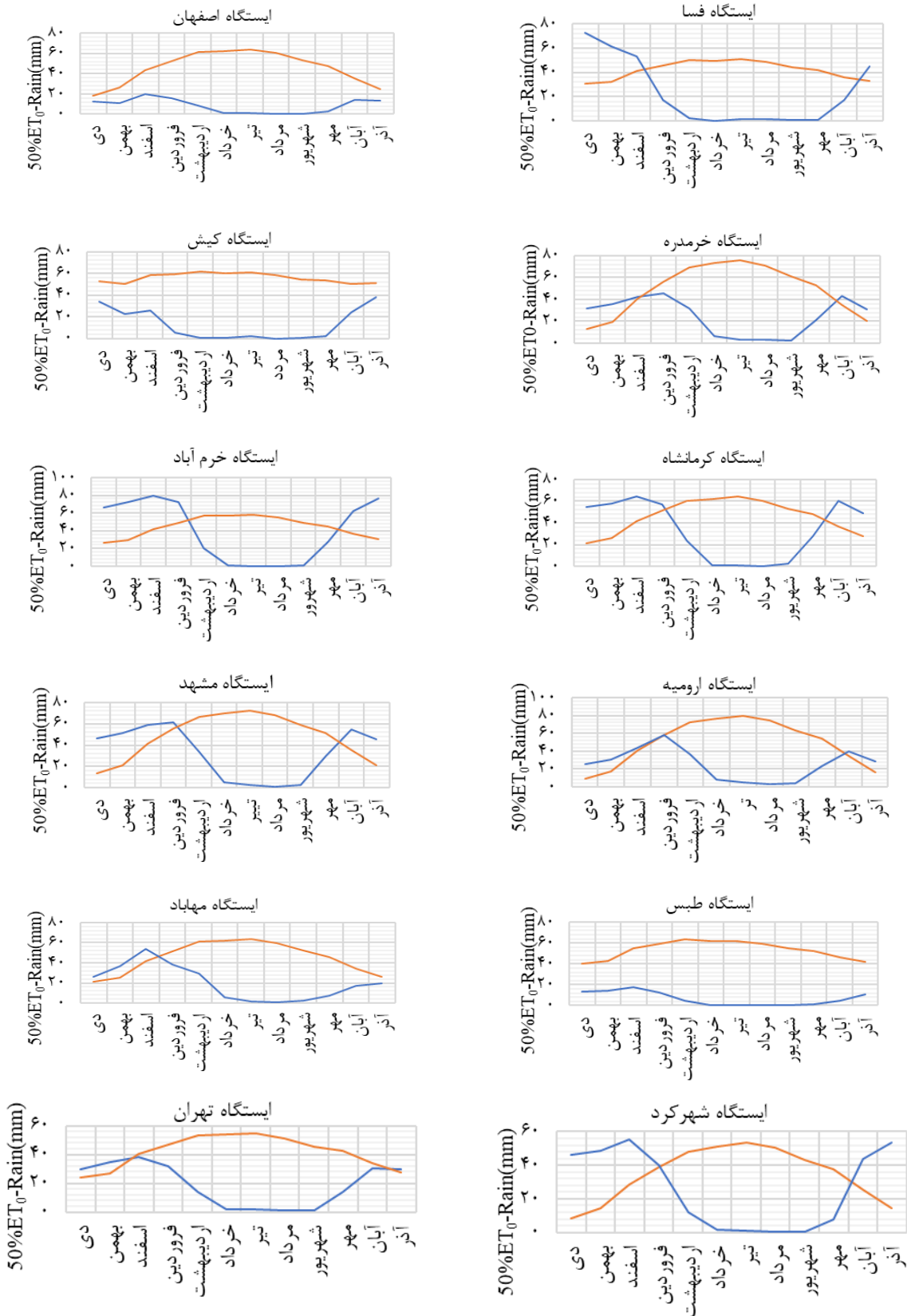
۵۰ درصد تبخیر و تعرق پتانسیل با گراف بارش ماهانه تعیین شدند. تقاطع اول بیانگر پایان دوره بارش و تقاطع دوم بیانگر آغاز فصل رشد است. با نگرش به آمار روزانه تبخیر و تعرق روزانه تعداد روزهایی که برای خارج شدن ۱۰۰ میلی‌متر آب ذخیره‌شده در خاک لازم است استخراج و به صورت تجمعی روی روز پایان دوره بارندگی افزوده شد تا پایان فصل رشد مشخص شود. به این ترتیب، با مشخص شدن نقاط آغاز و پایان فصل



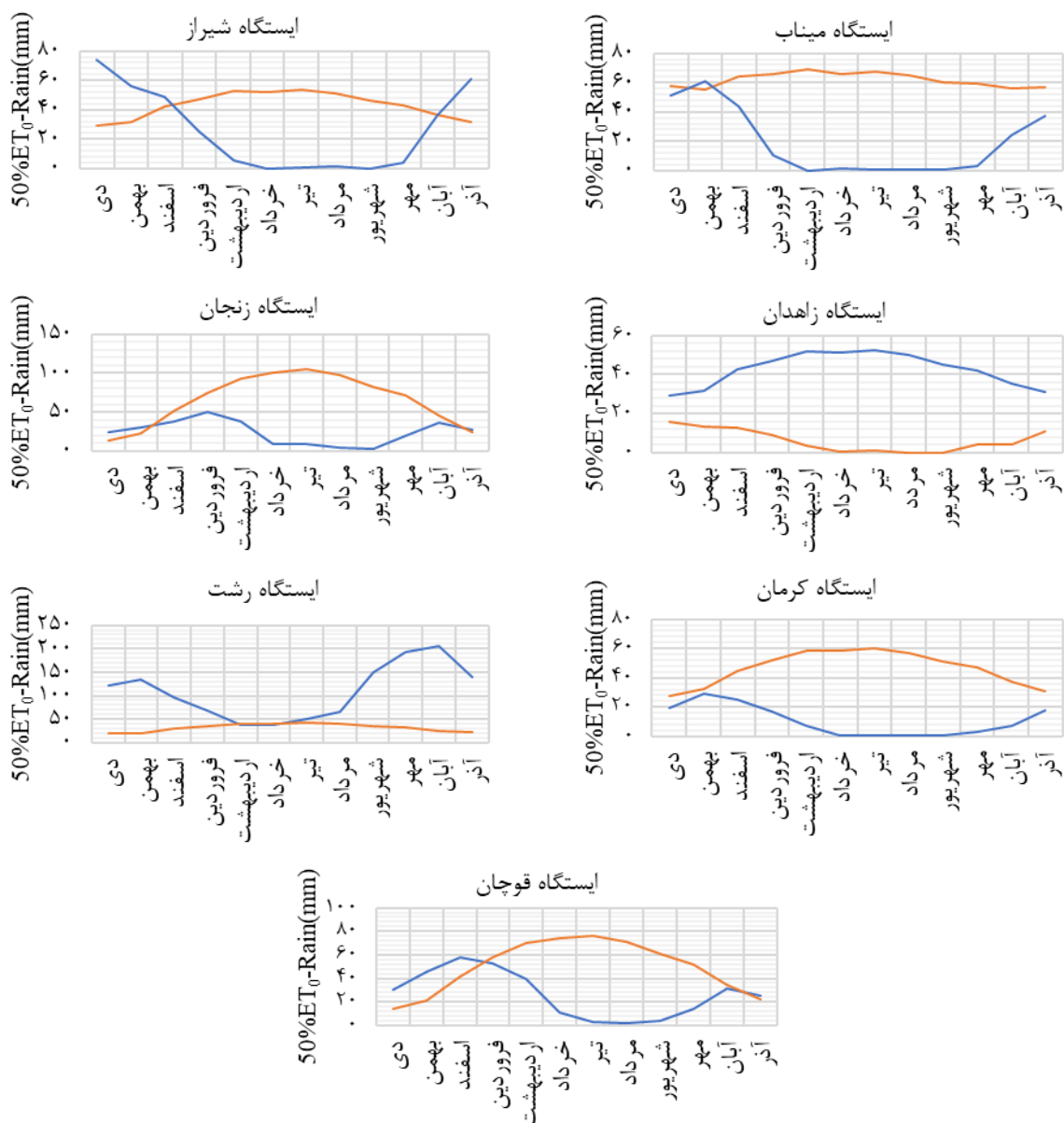
شکل ۴. نمودارهای بارندگی و ۵۰ درصد تبخیر و تعرق پتانسیل در ماه‌های مختلف سال



شکل ۵. نمودارهای بارندگی و ۵۰ درصد تبخیر و تعرق پتانسیل در ماه‌های مختلف سال



شکل ۶. نمودارهای بارندگی و ۵۰ درصد تبخیر و تعرق پتانسیل در ماه‌های مختلف سال



شکل ۷. نمودارهای بارندگی و ۵۰ درصد تبخیر و تعرق پتانسیل در ماه‌های مختلف سال

بر پایه نتایج به‌دست‌آمده فاکتور دما در نقاط کوهستانی به عنوان عامل محدودکننده عمل می‌کند. برای نمونه در ایستگاه تبریز با وجود اینکه از ۳۰-ام آذرماه مقدار بارندگی از ۵۰ درصد تبخیر و تعرق پتانسیل بالاتر است، با نگرش به اینکه دما تا ۱۹ اسفندماه کمتر از ۵ درجه سانتی‌گراد (دمای پایه گندم) است، نمی‌توان ۳۰-ام آذرماه را به عنوان آغاز دوره رشد گندم دیم تلقی کرد و آغاز دوره رشد گندم دیم برای ایستگاه یادشده ۱۹ اسفندماه خواهد بود.

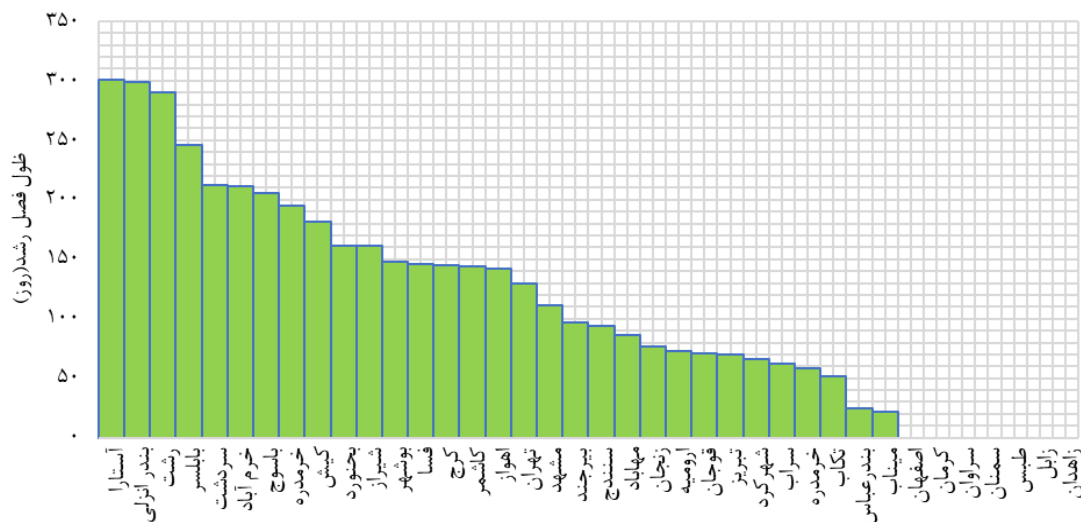
در شکل ۸ طول فصل رشد در محدوده هر یک از ایستگاه‌ها در قالب نمودار ستونی آورده شده است. بر پایه نتایج به‌دست‌آمده از بین ایستگاه‌های مورد مطالعه، ایستگاه آستارا با داشتن ۳۰۱ طول روز و ایستگاه‌های اصفهان، سراوان، طبس، سمنان، زاهدان و کرمان با داشتن صفر روز طول فصل رشد، به‌ترتیب بیشترین و کمترین طول فصل رشد را به خود اختصاص داده‌اند. طول فصل رشد معادل صفر بیانگر شرایط نامساعد اقلیمی برای رشد گیاهان دیم است.

جدول ۲. برآورد آغاز و پایان فصل رشد و طول فصل رشد به روش FAO و روش درجه-روز رشد

ردیف	ایستگاه	آغاز دوره	پایان دوره	LP1	LP2	ردیف	ایستگاه	آغاز دوره	پایان دوره	LP1	LP2
۱	ارومیه	۱۴ اسفند	۲۷ اردیبهشت	۲۷۳	۷۳	۲۰	زنجان	یک اسفند	۲۹ اردیبهشت	۲۸۲	۷۷
۲	اصفهان	-	-	-	۰	۲۱	سراب	۴ فروردین	۴ خرداد	-	۶۲
۳	اهواز	۲۶ آبان	۱۹ فروردین	-	۱۴۲	۲۲	سراوان	-	-	-	۰
۴	یاسوج	۲۰ آبان	۵ خرداد	۲۶۱	۲۰۶	۲۳	سردشت	۲۲ آبان	۲۲ خرداد	-	۲۱۲
۵	آستارا	۲۵ مرداد	۲۳ خرداد	-	۳۰۱	۲۴	سمنان	-	-	-	۰
۶	بابلسر	۱۵ شهریور	۲۰ اردیبهشت	-	۲۴۶	۲۵	سنندج	۶ اسفند	۹ خرداد	۲۷۳	۹۴
۷	بجنورد	۲۸ آبان	۹ اردیبهشت	۲۶۱	۱۶۱	۲۶	شهرکرد	۱۰ اسفند	۱۶ اردیبهشت	۲۶۱	۶۶
۸	بندر انزلی	۱۵ مرداد	۱۱ خرداد	-	۲۹۹	۲۷	شیراز	۶ آذر	۱۷ اردیبهشت	۲۵۱	۱۶۱
۹	بندر عباس	۹ دی	۴ بهمن	-	۲۵	۲۸	طیس	-	-	۰	۰
۱۰	بوشهر	۲۲ آبان	۲۱ فروردین	۲۰۴	۱۴۸	۲۹	فسا	۲۲ آذر	۲۱ اردیبهشت	۲۵۱	۱۴۶
۱۱	بیرجند	۱۱ دی	۱۹ فروردین	-	۹۷	۳۰	قوچان	۱۳ اسفند	۲۴ اردیبهشت	۰	۷۱
۱۲	تبریز	۱۹ اسفند	۲۹ اردیبهشت	۲۷۳	۷۰	۳۱	کرج	۱۰ آذر	۵ اردیبهشت	۲۵۶	۱۴۵
۱۳	تکاب	۸ فروردین	۲۹ اردیبهشت	-	۵۲	۳۲	کاشمر	۳۰ دی	۱۴ اردیبهشت	-	۱۴۴
۱۴	تهران	۲۴ آذر	۴ اردیبهشت	-	۱۳۰	۳۳	کرمان	-	-	-	۰
۱۵	کیش	۱۶ آذر	۱۷ خرداد	-	۱۸۲	۳۴	کرمانشاه	۲۲ آبان	۶ خرداد	۲۷۳	۱۹۵
۱۶	خرم آباد	۲۰ آبان	۲۰ خرداد	۲۵۱	۲۱۱	۳۵	مشهد	۲۹ دی	۲۰ اردیبهشت	۲۶۶	۱۱۱
۱۷	خرمدره	۱۰ اسفند	۸ اردیبهشت	-	۵۸	۳۶	مهاباد	۱۰ اسفند	۵ خرداد	-	۸۶
۱۸	رشت	۲۸ مرداد	۱۵ خرداد	-	۲۹۰	۳۷	میناب	۱۶ آذر	۵ دی	-	۲۲
۱۹	زابل	-	-	-	۰	۳۸	زاهدان	۰	۰	-	۰

LP1: طول فصل رشد برآوردشده به روش درجه-روز رشد

LP2: طول فصل رشد برآوردشده به روش فائو



شکل ۸. مقایسه طول فصل رشد برآوردشده به روش فائو بین ایستگاه‌های هواشناسی

با طول فصل رشد با ضریب تبیین معادل $0/125$ - همبستگی دارد. به‌رغم اینکه همبستگی پایینی بین دو پارامتر مشاهده می‌شود، ضریب همبستگی منفی نشان‌دهنده این است که ایستگاه‌های دارای تبخیر و تعرق پتانسیل میانگین سالانه بالاتر، طول فصل رشد کمتری دارند.

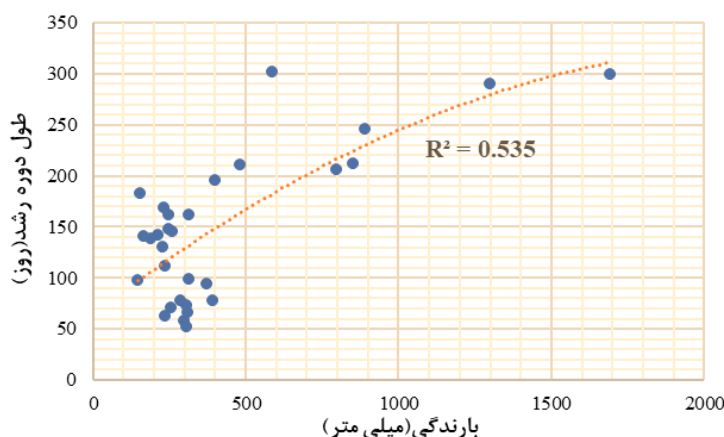
۳.۱. رابطه تبخیر و تعرق پتانسیل و طول فصل رشد

برای درک بهتر تأثیر تبخیر و تعرق پتانسیل روی طول فصل رشد به روش آماری همبستگی بین تبخیر و تعرق پتانسیل میانگین سالانه با طول فصل رشد تعیین شد که بر پایه نتایج تحلیل‌های انجام‌گرفته تبخیر و تعرق پتانسیل میانگین سالانه

۲.۳. رابطه بارندگی و طول دوره فصل رشد

برای درک بهتر تأثیر بارندگی روی طول فصل رشد به روش آماری همبستگی بین بارندگی میانگین سالانه با طول فصل رشد تعیین شد که بر پایه نتایج تحلیل‌های انجام‌گرفته بارندگی میانگین سالانه با طول فصل رشد مطابق نمودار شکل ۹ با ضریب تبیین ۰/۵۳۵ همبستگی دارد. این همبستگی مثبت نشان‌دهنده این موضوع است که ایستگاه‌های دارای بارندگی میانگین سالانه بالاتر، طول فصل رشد بالاتری دارند. همچنین عمده ایستگاه‌ها دارای بارندگی کمتر از ۵۰۰ میلی‌متر هستند که طول دوره رشد در آن‌ها کمتر از ۲۰۰ روز برآورد شده است.

همچنین، مقایسه ضریب تبیین دو فاکتور بارندگی و تبخیر و تعرق پتانسیل با طول دوره رشد نشان می‌دهد بازه دوره رشد بیشتر تحت تأثیر بارندگی قرار دارد و در هر منطقه‌ای که بارندگی کافی رخ داده، طول فصل رشد بیشتر بوده است. از این‌رو، مناطقی که شرایط رطوبتی امکان دوره رشد طولانی را فراهم می‌کنند، بیشتر در شمال، شمال غرب و غرب ایران قرار دارند و استان‌های شمالی دارای طولانی‌ترین دوره رشد ۹ ماهه هستند و برای حدود ۴۵ درصد از ایستگاه‌های پژوهش‌شده، طول دوره رشد بسیار کوتاه است (≥ 3 ماه).



شکل ۹. نمودار همبستگی بارندگی و طول دوره رشد

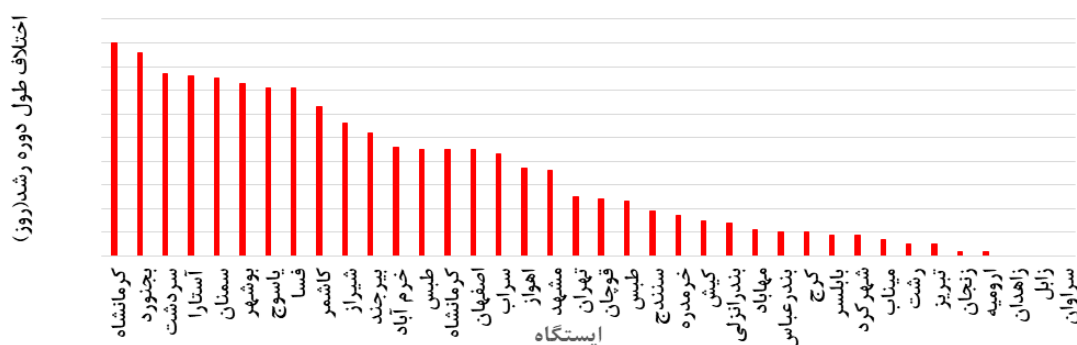
استخراج شد. در شکل ۱۰ مقایسه اختلاف طول دوره رشد برآوردی نتایج پژوهش حاضر با نتایج پژوهش یادشده در قالب نمودار ارائه شده است. بر پایه این مقایسه، اختلاف طول دوره رشد بین دو پژوهش در ۹ ایستگاه بین دو تا ۳ ماه، ۱۲ ایستگاه بین ۱-۲ ماه و در بقیه ایستگاه‌ها کمتر از یک ماه است. شایان یادآوری است که در حالت کلی طول فصل رشد برآوردشده از این پژوهش برای ۲۴ ایستگاه به طور کامل در بازه استخراج‌شده از گزارش طبقه‌بندی اکولوژیکی فائو واقع شد و بیشتر اختلاف دیده‌شده بین دو پژوهش به تفاوت ساختار و قالب ارائه نتایج طول فصل رشد و طول دوره آماری مطالعاتی مربوط می‌شود، به طوری که دوره آماری این پژوهش ۳۰ سال گذشته ولی دوره آماری گزارش طبقه‌بندی اکولوژیکی فائو میانگین ۶۰ سال گذشته و ۸۰ سال آینده بر پایه داده‌های برآوردشده مدل‌های تغییر اقلیم است.

۳.۳. مقایسه نتایج با نتایج پژوهش‌های معتبر قبلی

۳.۳.۱. مقایسه طول دوره رشد با نتایج گزارش

طبقه‌بندی اکولوژیکی FAO

به منظور درک بهتر یافته‌ها، ارقام برآوردشده برای طول دوره رشد، با نتایج گزارش طبقه‌بندی اکولوژیکی فائو برای کل کشورها طول دوره رشد در آن برآورد شده، مورد مقایسه قرار گرفته است. با نگرش به یافته‌های پژوهش‌های یادشده در قالب نقشه‌های اکولوژیکی رده‌بندی‌شده جهانی ارائه شده است، دسترسی به داده‌های پایه مربوط به برآورد طول فصل رشد آن فراهم نبود. لذا پس از تفکیک محدوده جغرافیایی ایران از نقشه جهانی، با استفاده از نرم‌افزار GIS، موقعیت ایستگاه‌های هواشناسی روی نقشه طبقه‌بندی‌شده طول فصل رشد مطابق شکل ۱ که در بخش‌های پیشین ارائه شده است، جانمایی شد و سپس، بر پایه تفسیر راهنمای نقشه، طول فصل رشد هر ایستگاه به صورت بازه‌ای



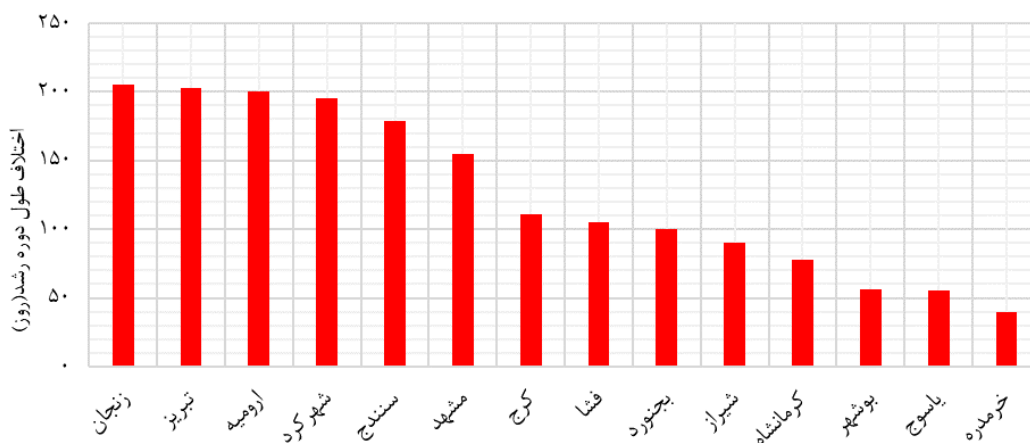
شکل ۱۰. نمودار اختلاف برآورد طول دوره رشد بین نتایج پژوهش حاضر و یافته‌های گزارش فائو

گرمایی طول فصل رشد طی ۱۹۸۱-۲۰۱۰ استفاده کرده‌اند که نتایج مطالعه یادشده در جدول ۲ ارائه شده و در نمودار شکل ۱۱ اختلاف برآورد طول دوره رشد برای ایستگاه‌هایی که بین این پژوهش و پژوهش یادشده مشترک بودند، آورده شده است. بر پایه این مقایسه، اختلاف طول دوره رشد بین دو پژوهش در ۵ ایستگاه بین ۳-۶ ماه، در یک ایستگاه بین ۳-۵ ماه و در بقیه ایستگاه‌ها کمتر از ۳ ماه است. مقایسه نتایج نشان می‌دهد ارقام به‌دست‌آمده از روش درجه-روز رشد نمی‌تواند زیاد واقع‌گرایانه باشد. برای نمونه در ایستگاه ارومیه بر پایه روش درجه-روز رشد حدود ۹ ماه دوره رشد برآورد شده است که این عدد در عمل با یخبندان زمستانه و قطع بارش‌ها در اردیبهشت‌ماه ناهمخوانی دارد.

مقایسه طول دوره رشد بین ایستگاه‌های مختلف نشان می‌دهد اقلیم‌های خیلی خشک کشور دارای طول فصل رشد معادل صفر برای گندم هستند، از این‌رو کشت گندم در آن‌ها امکان پذیر نیست. همچنین مناطق خشک دارای طول دوره رشد معادل کمتر از ۶۰ روز، نیمه‌خشک بین ۶۰ تا ۱۲۰ روز، نیمه‌مرطوب بین ۱۲۰ تا ۱۸۰ روز، و خلی مرطوب بالاتر از ۲۷۰ روز هستند.

۲.۳.۳. مقایسه طول دوره رشد با روش درجه‌روز رشد برای محاسبه طول دوره رشد

همان‌طور که پیش‌تر بیان شد، فاتح و همکاران (۲۰۱۵) در پژوهش خود از داده‌های روزانه دما (کمینه، بیشینه و میانگین) ۲۶ ایستگاه هواشناسی سینوپتیک کشور طی دوره آماری مشترک ۳۱ ساله برای برآورد واحدهای



شکل ۱۱. نمودار اختلاف برآورد طول دوره رشد بین نتایج پژوهش حاضر و روش درجه-روز رشد

East and South Eastern Coastal Plain Agroclimatic. International Journal of Environment and Climate Change Zone of Odisha. 2022;12(12):1093-1099

- [5]. Sattar A, Kumar M, Bobade P, handrawanshi S. Assessing the length of growing season and drought incidence in Bihar. Journal of Agrometeorology. 2013;15(1):1-3.
- [6]. Mahadevaswamy M, Ramsh S, Sreenvas S. Determining the Length of Growing Period (LGP) for efficient crop planning and sustaining farm productivity in the rainfed STZ of Karnataka. 2016;42(1):20-23
- [7]. Fischer G, Nachtergaele F.O, Prieler S, Teixeira E, Toth G, Van Velthuisen H, Verelst L, Wiberg D. Global Agro-ecological Zones(GAEZv4.0). Model Documentation GAEZ. V.4.0. IIASA/FAO. 2021.
- [8]. Pashakah P, Pirmoradian N, Khazdor N, Moshfegh H. Calibration and evaluation of three experimental methods of reference evapotranspiration estimation in some Iranian cities, Newar Scientific and Promotional Magazine. 2014;38(86-87):39-57[Persian]
- [9]. Naqdi R, Shayanenjad M. Comparison of different estimation methods for reconstruction of monthly discharge data of the Karun watershed. Watershed Management Research Journal Watershed. 2011;1(1):59-73[Persian]
- [10]. Fischer G, De Pauw E, Van Velthuisen H.T, Nachtergaele F.O., Antoine J. A provisional world climatic resource inventory based on the length of growing period concept. In: Proceedings of a workshop on National Soil Reference Collections and Databases (NASREC). Papers and Country Reports. 1996;3:30-43.
- [11]. Anon. Agro-ecological Zoning Guidelines. FAO Soils Bulletin. FAO. Rome. Italy. 1996;76
12. Anon. Reports of the agro-ecological zones project. World Soil Resources Reports. FAO, Rome, Italy. 1978;48
- [12]. Maeda, E, Wiberg, D. A, Pellikka P.K. E. Estimating reference evapotranspiration using sensing empirical models in a region with limited data availability in Kenya. Applied Geography. 2010;31:251-258.

۴. نتیجه‌گیری

یافته‌های پیرامون مدت زمان فصل رشد نشان می‌دهد برآورد طول فصل رشد بر پایه دما چندان برای همه اقلیم‌ها سازگار با شرایط واقعی نیست. در بسیاری از مناطق خشک یا نیمه‌خشک رطوبت عامل اصلی محدودکننده رشد است. همچنین طول فصل رشد با حداقل دمای مورد نیاز برای آغاز رشد گیاهی محدود می‌شود. در مناطق سردسیر و مرتفع، با اینکه نرخ بارش از نصف تبخیر و تعرق پتانسیل در تعداد روزهای بیشتری از سال بیشتر است، پایین‌تر بودن دما از ۵ درجه سانتی‌گراد، سبب آغاز نشدن فصل رشد می‌شود. البته باید توجه کرد که ایستگاه‌های هواشناسی معرف محدوده هیدرولوژیکی ویژه خودشان هستند و نمی‌توان نتایج حاصل را به کل استان مربوطه تعمیم داد. از این رو پیشنهاد می‌شود که پهنه‌بندی مکانی طول فصل رشد برای کل کشور با استفاده از تعداد ایستگاه‌های آماری بیشتر انجام گیرد. همچنین برآورد تبخیر و تعرق پتانسیل به روش ترنت وایت ممکن است که مناسب تمامی اقلیم‌های کشور ایران نباشد. از این رو در تحقیقات موردی، انتخاب روش مناسب برآورد تبخیر و تعرق پتانسیل بایسته است.

منابع

- [1]. Mhizha T, Geerts S, Vanuytrecht E, Makarau A, Raes D. Relative transpiration as a decision tool in crop management: a case for rainfed maize in Zimbabwe. African Crop Science Journal. 2012;201:47-57.
- [2]. Mozafari G, Fatemi M, Dehghan H. Spatial analysis and evaluation of the trend of thermal units during the growing season caused by temperature changes in Iran. Natural Geography Researches. 2017;50(4):731-746 [Persian]
- [3]. Fateh Sh, Rasuli A, Sari saraf B, Kamali Q. Investigating the cumulative heat units during the growing season of wheat in Iran, Climatology research journal. 2015;7(27-28):1-9[Persian]
- [4]. Dugal D, Mohanty T, Panigrahi G, Mohapatra A, Nanda A, Swain S, Samant P, Determining Length of Growing Period for Crop Planning in