

## آنالیز رشد گندم (*Triticum aestivum* L.) در شرایط تغییر اقلیم استان فارس با استفاده از مدل‌های مکانیستیک

یاسین قرآنی<sup>۱</sup>، رضا دیهیم فرد<sup>۲</sup>، امید نوری<sup>۲</sup>، سید رضا امیری<sup>۳\*</sup>

تاریخ دریافت: ۹۷/۲/۹ تاریخ پذیرش: ۹۷/۹/۱۷

- ۱- دانشجوی کارشناسی ارشد، گروه کشاورزی اکولوژیک، پژوهشکده علوم محیطی، دانشگاه شهید بهشتی، تهران، ایران.
  - ۲- استادیار، گروه کشاورزی اکولوژیک، پژوهشکده علوم محیطی، دانشگاه شهید بهشتی، تهران، ایران.
  - ۳- استادیار، گروه تولیدات گیاهی، دانشکده کشاورزی، مجتمع آموزش عالی سراوان، سراوان، ایران.
- \*مسئول مکاتبه: Email: amirisedreza86@gmail.com

### چکیده

این تحقیق در سه شهرستان اقلید، شیراز و لار که به ترتیب با آب و هوای سرد، معتدل و گرم و خشک هستند صورت گرفت. بدین منظور از مدل گردش عمومی HadCM3 تحت سه سناریوی انتشار A<sub>2</sub>، B<sub>1</sub> و A<sub>1</sub>B<sub>1</sub> طی سه دوره اقلیمی آینده (۲۰۱۱-۳۰، ۲۰۴۵-۶۵ و ۲۰۸۰-۹۹) استفاده شد. همچنین از مدل APSIM به منظور شبیه‌سازی رشد و عملکرد گندم استفاده شد. نتایج نشان داد که در دوره آینده بیوماس، عملکرد دانه و شاخص برداشت در مناطق و سناریوهای مختلف انتشار با افزایش غلظت دی‌اکسید کربن (۵۳۱ پی‌پی‌ام، متوسط تمامی سناریوها و دوره‌ها) و دما، روندی صعودی خواهند داشت به طوری که دوره ۲۰۸۰-۹۹ تحت سناریوی A<sub>2</sub> در شهرستان اقلید با بیوماس و عملکرد دانه به ترتیب حدود ۲۷۸۶ و ۱۰۵۱/۲ گرم بر متر مربع بیشترین مقدار را خواهند داشت. همچنین در دوره آینده میزان فتوسنتز با افزایش غلظت دی‌اکسید کربن افزایش می‌یابد بنابراین سطح برگ و دوام آن نسبت به دوره پایه روند صعودی خواهد داشت. چنانچه دوره ۲۰۸۰-۹۹ به طور متوسط ۲۳/۲۳ درصد و دوره ۲۰۱۱-۳۰ به طور متوسط با ۱۰/۸۳ درصد بترتیب بیشترین و کمترین افزایش سطح برگ را در شهرستان‌ها و سناریوهای انتشار خواهند داشت. در دوره‌های اقلیمی آینده تحت سناریوهای مختلف انتشار میزان سرعت رشد و سرعت رشد نسبی با افزایش فتوسنتز و بیوماس افزایش پیدا کرد. همچنین با افزایش غلظت دی‌اکسید کربن سرعت جذب خالص نیز افزایش می‌یابد که دوره ۲۰۱۱-۳۰ کمترین و دوره ۲۰۸۰-۹۹ بیشترین سرعت جذب را بین دوره‌های اقلیمی آینده خواهند داشت.

واژه‌های کلیدی: بیوماس، شاخص‌های رشد، شبیه‌سازی رشد، عملکرد دانه، فتوسنتز

## Growth Analysis of Wheat (*Triticum aestivum* L.) Under Climate Change Conditions Using a Mechanistic Model in Fars Province of Iran

Yasin Qorani<sup>1</sup>, Reza Deihimfard<sup>2</sup>, Omid Nouri<sup>2</sup>, Seyed Reza Amiri<sup>3\*</sup>

Received: April 29, 2018 Accepted: December 8, 2018

<sup>1</sup>MSc Student, Dept. of Agroecology, Environmental Sciences Research Institute, Shahid Beheshti University, G.C., Tehran, Iran.

<sup>2</sup>–Assist. Prof., Dept. of Agroecology, Environmental Sciences Research Institute, Shahid Beheshti University, G.C., Tehran, Iran.

<sup>3</sup>-Assist. Prof., Dept. of Plant Production, Faculty of Agriculture, Higher Educational Complex of Saravan, P.O. Box 9951634145, Saravan, Iran.

\*Corresponding Author Email: amiriseyedreza86@gmail.com

### Abstract

The current study was carried out in three locations of Fars province included Eghlid, Shiraz and Lar which have a cold, mild and hot-dry climate, respectively. The General Circulation Model HadCM3 under three emission scenarios A<sub>2</sub>, B<sub>1</sub> and A<sub>1</sub>B in three future periods (2011-30, 2045-65 and 2080-99) was applied. APSIM crop model was also used to simulate the growth and yield of wheat. The Averaged across locations, scenarios and periods in the future, a rising trend was simulated for biomass and grain yield compared with the baseline largely owing to the increasing carbon dioxide concentration (531 ppm). As an example, the highest biomass and grain yield was observed with 2786 and 1051 g.m<sup>-2</sup>, respectively in Eghlid in 2080-99 under the A<sub>2</sub> scenario. Furthermore, considering that the rate of photosynthesis will be increased by increasing the carbon dioxide concentration in the future period, it will have the rising trend compared to the baseline period. According to the result of simulations, the highest increase in LAI was obtained under A<sub>2</sub> scenario for 2080-99 in all of locations (23.23%) while the lowest increase in LAI under A<sub>2</sub> and B<sub>1</sub> observed for 2011-30 (10.83%). The growth and relative growth rates will be increased by increasing of photosynthesis rate and biomass in the all future periods under different emission scenarios. Overall, the results showed that increasing the carbon dioxide concentration in the future resulted in increased NAR. Accordingly, the highest and lowest NAR was simulated for 2080-99 and 2011-30, periods.

**Keywords:** Biomass, Grain Yield, Growth Indices, Photosynthesis, Simulation of Growth

### مقدمه

در اقلیم‌های خشک و نیمه خشک که کشور ما نیز در گروه آنها قرار دارد به تغییرات اقلیمی حساس‌اند و آسیب‌پذیری بیشتری دارند. بنابراین به نظر می‌رسد وقوع تغییرات اقلیمی در ایران تأثیرات فراوانی بر

بخش کشاورزی به علت وابستگی زیاد به شرایط آب و هوایی، بیش از سایر بخش‌ها در معرض خطرهای تغییرات آب و هوایی قرار دارد. در این میان کشاورزی

مدل‌های شبیه‌سازی به دلیل هزینه پایین، سرعت بالا و در اختیار قرار دادن اطلاعات کامل گزینه مناسبی برای تکمیل و توسعه نتایج آزمایش‌های مزرعه‌ای محسوب می‌شوند (سینگ و همکاران ۲۰۰۸). بنابراین با استفاده از مدل‌های رشد گیاهان زراعی می‌توان فرایندهای مرتبط با تغییر اقلیم را پیش‌بینی نمود. با این حال این نوع مطالعات در ایران از سابقه چندانی برخوردار نیست و اطلاعات اندکی در مورد پاسخ محصولات زراعی به شرایط اقلیمی آینده ایران در اختیار می‌باشد. رشد و نمو گیاهان زراعی تحت تاثیر تغییرات اقلیمی را می‌تواند بوسیله مدل‌هایی چون APSIM، SUCROS، WOFOST، DSSAT، CROPSyst، ALMANAC، EPIC و غیره مورد ارزیابی قرار گیرد (ریدسما و همکاران ۲۰۱۰).

تجزیه و تحلیل کمی رشد، روشی است برای توجیه و تفسیر واکنش‌های گیاه نسبت به شرایط محیطی مختلف که گیاه در طول دوره حیات خود با آنها مواجه می‌گردد (لادویگ و آسنگ ۲۰۰۶). به کمک این روش، شناخت بهتری از تخصیص مواد فتوسنتزی به اندام‌های مختلف و انباشت آنها از طریق اندازه‌گیری ماده خشک تولید شده در طول فصل رشد گیاه به دست می‌آید (قاسمی گل‌عدانی و همکاران ۱۹۹۷). از شاخص‌های رشد به منظور تخمین وضعیت رشد و نمو محصول بر حسب زمان استفاده می‌شود (نیلد و سیلی ۱۹۷۷).

بنابراین با توجه به بحث تغییر اقلیم در آینده و تأثیر آن بر رشد و عملکرد گیاهان زراعی، مطالعه‌ای با استفاده از مدل APSIM و داده‌های اقلیمی فعلی و آینده (۵۰ سال) استان فارس جهت بررسی و تحلیل شاخص‌های رشدی سطح برگ و دوام آن، سرعت رشد، سرعت رشد نسبی و سرعت جذب خالص و عملکرد دانه گندم در پاسخ به تغییرات اقلیمی انجام شد.

#### مواد روش‌ها

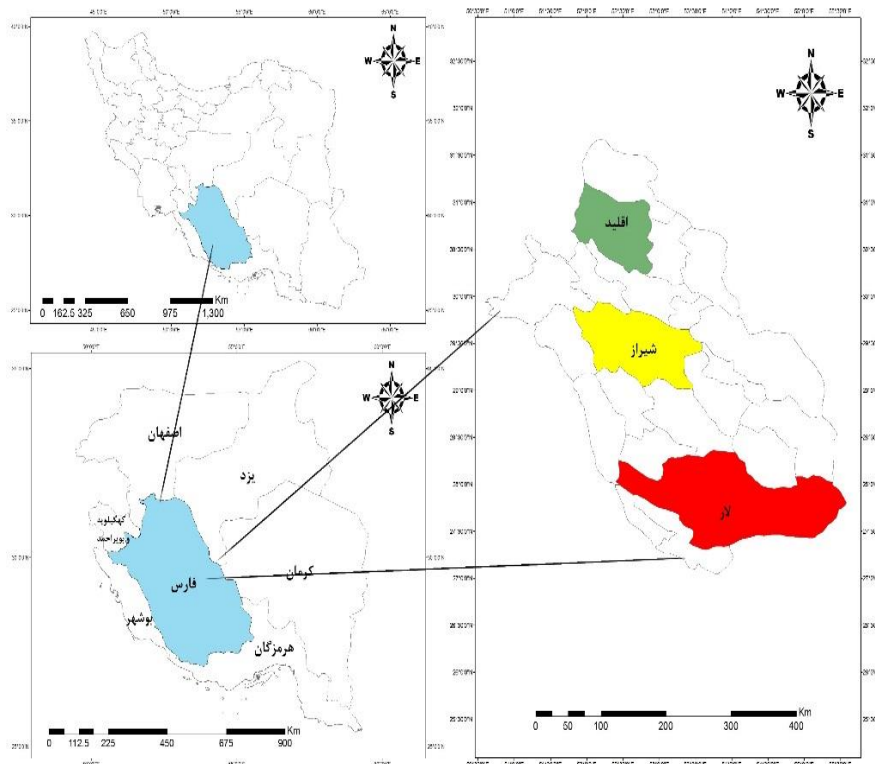
##### منطقه مورد مطالعه و جمع‌آوری داده‌های اقلیمی:

این تحقیق در سه شهرستان از استان فارس شامل اقلید،

سیستم‌های تولید کشاورزی داشته باشد (ایفانی و همکاران ۲۰۱۲). نتایج مطالعات مربوط به تغییر اقلیم که در طی سالهای اخیر در ایران انجام شده است همگی مؤید بروز این پدیده در کشور بوده‌اند (کوچکی و کمالی ۲۰۱۰). البته این تحقیقات عمدتاً بر شاخص‌های اقلیمی تمرکز داشته و اثرات این تغییرات بر تولیدات کشاورزی کمتر مورد توجه قرار گرفته است. دستیابی به اطلاعات دقیق‌تر در مورد پدیده تغییر اقلیم در ایران، مستلزم انجام مطالعات گسترده در مقیاس منطقه‌ای و پیش‌بینی واکنش سیستم‌های تولید کشاورزی هر منطقه به این تغییرات می‌باشد (کوچکی و نصیری ۲۰۰۹). با این حال در ایران تنها مطالعات اندکی در رابطه با تغییر اقلیم در بخش کشاورزی صورت گرفته است (کوچکی و همکاران ۲۰۰۱؛ کوچکی و نصیری ۲۰۰۹؛ کوچکی و کمالی ۲۰۱۰). افزایش غلظت دی‌اکسید کربن، که بیشترین سهم را در گرمایش جهانی دارد، به تنهایی افزایش فتوسنتز و در نتیجه عملکرد بیشتر را برای اغلب گیاهان زراعی به همراه خواهد داشت (آیزنورت و لامگ ۲۰۰۵). با این وجود بنظر می‌رسد افزایش درجه حرارت ناشی از گرمایش جهانی و کاهش میزان بارش، اثرات سودمند افزایش غلظت دی‌اکسید کربن را خنثی خواهد کرد (پراساد و همکاران ۲۰۰۶). در واقع جنبه‌های مختلف تغییر اقلیم اثرات متفاوتی را بر تولید و عملکرد گیاهان زراعی ایجاد خواهند کرد و این عوامل در ترکیب با یکدیگر ممکن است افزایش یا کاهش عملکرد محصول را موجب شوند. بنابراین اثر خالص تغییر اقلیم بر عملکرد به اثرات متقابل بین این عوامل بستگی دارد (کریشنن و همکاران ۲۰۰۷). برای مثال نتایج شبیه‌سازی با فرض افزایش غلظت دی‌اکسید کربن و ثابت بودن درجه حرارت، افزایش عملکرد برنج را تأیید کرده است ولی در صورتیکه وقتی دما ۰/۸ درجه سانتی‌گراد افزایش یافت، کاهش قابل توجه عملکرد مشاهده شد (آگراوال و مال ۲۰۰۲).

گیاه زراعی استفاده می‌شود. به دلیل اینکه در بعضی از ایستگاه‌ها داده‌ها به طور کامل ثبت نمی‌شود و یا داده‌های پرت و گم‌شده وجود دارد با استفاده از برنامه WeatherMan<sup>۲</sup> در مدل مکانیستیک<sup>۳</sup> DSSAT اقدام به بازسازی و اصلاح این داده گردید. این نرم افزار داده‌های اقلیمی از دست رفته یا پرت را با توجه به اقلیم گذشته هر منطقه بازسازی می‌کند. بعد از بازسازی داده‌های پرت برای کسب اطمینان از درست بودن داده‌ها از نرم افزار Tamet استفاده شد. خروجی حاصل از این نرم افزار به عنوان ورودی نرم افزار LARS-WG در نظر گرفته شد که در ادامه توضیح داده خواهد شد.

شیراز و لار انجام گرفت (شکل ۱). انتخاب شهرستان‌ها بر اساس وضعیت اقلیمی آنها صورت گرفت که به ترتیب دارای اقلیم سرد، معتدل و گرم و خشک می‌باشند. آمار بلند مدت داده‌های هواشناسی شامل درجه حرارت حداقل و حداکثر بر حسب درجه سانتی‌گراد، میزان بارندگی روزانه بر حسب میلی‌متر و شدت تشعشع روزانه خورشیدی بر حسب مگاژول در متر مربع در روز در مناطق مورد مطالعه شامل شهرستان‌های اقلید، شیراز و لار از بانک داده‌های سازمان هواشناسی کشور تهیه گردید. داده‌های آب و هوایی ایستگاه‌ها در دوره ۳۰ ساله بعنوان مبنا<sup>۱</sup> مورد استفاده قرار گرفت. از این داده‌ها به عنوان ورودی مدل اقلیمی و مدل شبیه‌سازی رشد



شکل ۱- موقعیت جغرافیایی منطقه مورد مطالعه (به علت شرایط اقلیمی متفاوت مناطق مورد مطالعه از سه رنگ سبز، زرد و قرمز استفاده شد که به ترتیب نشانگر اقلیم‌های سرد، معتدل و گرم و خشک هستند).

<sup>3</sup>- Decision Support System for Agro technology Transfer

1- Baseline

2- Weather Data Manager

(میشل ۲۰۰۳). تاکنون مدل‌های گردش عمومی مختلفی در مراکز مختلف تحقیقاتی تدوین و طراحی شده است. در این تحقیق از خروجی مدل HadCM3<sup>۳</sup> از مرکز تحقیقات و پیش‌بینی اقلیم Hadley انگلستان استفاده شد.

**شبیه‌سازی عملکرد گندم آبی در شرایط تغییر اقلیم:** در تحقیق حاضر با استفاده از داده‌های اقلیمی جمع آوری شده اقدام به شبیه‌سازی رشد و نمو گندم در شرایط پتانسیل و سناریوهای اقلیمی مورد نظر، با استفاده از مدل APSIM-Wheat که یک شبیه‌ساز سیستم‌های تولید گندم است، در شهرستان‌های مورد نظر شد. APSIM مدلی مکانیستیک است که حاصل تلاش گروهی از متخصصان استرالیایی (APSRU) می‌باشد و جنبه‌های مهمی از سیستم‌های زراعی مشتمل بر تناوب، آیش، بقایا، استقرار گیاه، مرگ گیاه در اثر عوامل نامناسب و پاسخ گیاه به شرایط محیطی مختلف را شبیه‌سازی می‌کند. این مدل شامل زیرمدل‌های اختصاصی برای گندم، ذرت، سورگوم، ارزن، لگوم‌های دانه‌ای مختلف، آفتابگردان، کتان و یونجه می‌باشد (کیتینگ و همکاران ۲۰۰۳). برای استفاده از مدل APSIM ابتدا با استفاده از برنامه LARS-WG اقلیم را برای هر چهار دوره زمانی (پایه، ۲۰۳۰-۲۰۱۱، ۲۰۶۵-۲۰۴۶ و ۲۰۹۹-۲۰۸۰) پیش‌بینی کرده و سپس این اطلاعات به عنوان ورودی، برای مدل APSIM-Wheat در نظر گرفته می‌شود. ورودی‌های دیگر این مدل شامل خاک (با توجه به اینکه شرایط مورد نظر در این تحقیق شرایط پتانسیل بوده است از اطلاعات پیش فرض استفاده می‌شود)،

دوره، سناریو و مدل اقلیمی: در این تحقیق از دوره ۳۰ ساله ۱۹۸۰ تا ۲۰۱۰ به عنوان دوره پایه به منظور شبیه‌سازی رشد و عملکرد گندم استفاده شد. دوره‌های اقلیمی آینده شامل سه دوره ۲۰۱۱-۲۰۳۰، ۲۰۴۶-۲۰۶۵ و ۲۰۸۰-۲۰۹۹ خواهند بود. IPCC در سال ۲۰۰۰ (ناکیسنویک و سوارت (۲۰۰۰)، سری جدیدی از سناریوهای انتشار را تحت عنوان گزارش ویژه انتشار گازهای گلخانه‌ای (SRES<sup>۱</sup>) در سومین گزارش ویژه انتشار تدوین و آن را در چهارمین گزارش ویژه خود شامل چهار خانواده A<sub>1</sub>، A<sub>2</sub>، B<sub>1</sub> و B<sub>2</sub> ارائه داد که در این تحقیق از سه سناریوی SRES-A<sub>2</sub> که بیانگر شرایط بسیار ناهمگن محیطی، رشد بالای جمعیت، توسعه ناچیز اقتصادی و تغییرات کند تکنولوژی می‌باشد. براساس این سناریو غلظت دی‌اکسید کربن جهان حدود ۳۰ گیگاتن در سال افزایش یافته و دما بین ۲ تا ۵/۴ درجه سانتی‌گراد افزایش خواهد یافت (پروده‌ورم و همکاران (۲۰۱۰)، SRES-B<sub>1</sub> که جهانی همگرا با بیشترین رشد جمعیت در اواسط قرن حاضر، رشد سریع در بخش‌های اقتصادی و تکنولوژی را نشان می‌دهد. بر اساس این سناریو غلظت دی‌اکسید کربن تغییر چندانی نداشته و دما بین ۱/۱ تا ۲/۹ درجه سانتی‌گراد افزایش خواهد یافت (وترهال و همکاران ۲۰۰۹) و همچنین SERES-A<sub>1</sub>B که نشان دهنده رشد سریع اقتصادی جهان، که حداکثر رشد جمعیت در اواسط قرن حاضر وجود داشته و تکنولوژی با کارایی بالا بر اساس تعادل انرژی موجود می‌باشد. بر اساس این سناریو غلظت دی‌اکسید کربن ۱۵ گیگاتن در سال افزایش یافته و دما بین ۱/۷ تا ۴/۴ درجه سانتی‌گراد افزایش خواهد یافت (اولسن و همکاران ۲۰۱۱) استفاده شد.

از جمله راه‌های مطالعه و پیش‌بینی تغییرات اقلیم استفاده از مدل‌های گردش عمومی جو (GCM<sup>۲</sup>) می‌باشد

<sup>3</sup>- United Kingdom Met Office Hadley Center

<sup>1</sup>- Special Report of Emission scenario

<sup>2</sup>- General Circulation Models

$$\ln(y) = a + bt + ct^2 \quad \text{معادله (۱)}$$

در این معادله  $\ln(y)$  ماده خشک،  $t$  درجه روز و  $a$  و  $b$  و  $c$  ضرایب رگرسیونی می‌باشند. با مشتق‌گیری از معادله (۱) نسبت به زمان سرعت رشد نسبی محصول ( $RGR^5$ ) که عبارتست از افزایش وزن خشک گیاه نسبت به وزنی که قبلاً داشته است بدست می‌آید (کاپور و گوویل ۲۰۰۴):

$$y = b + 2ct \quad \text{معادله (۲)}$$

در این معادله  $y$  سرعت رشد نسبی،  $b$  و  $c$  ضرایب رگرسیونی می‌باشد. همچنین سرعت رشد محصول ( $CGR^6$ ) و سرعت جذب خالص ( $NAR^9$ ) از معادلات ۳ و ۴ محاسبه شد.

$$CGR = RGR \times TDM \quad \text{معادله (۳)}$$

$$NAR = CGR/LAI \quad \text{معادله (۴)}$$

برای محاسبه دوام شاخص سطح برگ در این تحقیق از روش انتگرال‌گیری شاخص سطح برگ نسبت به زمان استفاده می‌شود (اسپیگل ۱۹۶۸). دوام شاخص در دو فاز رویشی و زایشی با استفاده از رابطه زیر که انتگرال‌گیری به روش سیمپسن<sup>۱۰</sup> می‌باشد محاسبه شد (معادله ۵).

$$Y = \int_a^b F(x) dx$$

$$\int_a^b F(x) dx = 1/3h [f(x_0) + 4f(x_1) + 2f(x_2) + 4f(x_3) + \dots + 4f(x_{n-1}) + f(x_n)]$$

معادله (۵)

زمانی  $[a$  و  $b]$  که انتگرال صورت می‌گیرد و  $F(x)$  شاخص سطح برگ می‌باشد.

اطلاعات مدیریتی (رقم<sup>۱</sup>، تاریخ کاشت و فاصله بین ردیف و غیره) را در کنار دیگر ورودی‌ها برای پیش‌بینی عملکرد گندم تحت شرایط اقلیم آینده مورد استفاده قرار گرفت. خروجی‌های این مدل که مورد استفاده قرار گرفتند شامل عملکرد دانه، عملکرد بیولوژیک، میانگین دمای فصل رشد، طول فصل رشد، تابش تجمعی و شاخص سطح برگ بودند.

آنالیز رشد گندم در شرایط تغییر اقلیم<sup>۲</sup>: هدف از آنالیز رشد، بررسی چگونگی واکنش گیاه نسبت به محیط می‌باشد (راسل و همکاران ۱۹۸۴). در این تحقیق شاخص‌های رشد با استفاده از روشی که هانت (۱۹۹۰) ارائه کرده است (تابعی)<sup>۳</sup>، محاسبه شدند. به این صورت که ابتدا برای حفظ همگنی واریانس داده‌ها، از ماده خشک تولیدی ( $TDM^4$ ) و شاخص سطح برگ ( $LAI^5$ ) لگاریتم‌گیری شد. سپس به منظور محاسبه شاخص‌های رشد طی فصل رشد در شرایط تغییر اقلیم (سه سناریو و سه دوره)، از شاخص حرارتی درجه روز رشد ( $GDD^6$ ) به عنوان زمان استفاده گردید. بر اساس روش هانت ابتدا یک تابع درجه دوم به داده‌ها برازش داده شد (تراثوره و همکاران ۲۰۰۴).

که در این معادله  $Y$  نشان دهنده دوام شاخص سطح برگ،  $h$  نشان دهنده فاصله بین دو نقطه از هم در بازه

<sup>۱</sup> - چمران رقم مورد استفاده بود، که این رقم بیشترین سطح زیر کشت را در منطقه دارد.

<sup>۲</sup> - تمامی مراحل ابتدا برای دوره گذشته و سپس برای دوره‌های اقلیمی آینده تکرار می‌شوند.

<sup>۳</sup> - Functional

<sup>۴</sup> - Total Dry Weight

<sup>۵</sup> - Leaf Area Index

<sup>۶</sup> - Growing Degree Day

<sup>۷</sup> - Relative Growth Rate

<sup>۸</sup> - Crop Growth Rate

<sup>۹</sup> - Net Assimilation Rate

<sup>۱۰</sup> - Simpson

جدول ۱- میانگین شاخص‌های اقلیمی منطقه مورد مطالعه در طول فصل رشد. میانگین ها و مقادیر تجمعی توسط مدل به دست آمده است.

سناریو	دوره	غلظت دی‌اکسید کربن (پی‌پی‌ام)	تجمع‌شع تجمعی (مگاژول بر متر مربع)			متوسط دما (درجه سانتی گراد)			بارندگی تجمعی (میلی متر)		
			لاز	شیراز	اقلید	لاز	شیراز	اقلید	لاز	شیراز	اقلید
A <sub>1</sub> B <sup>1</sup>	پایه	۳۳۴	۲۴۷۷	۳۲۱۳	۴۰۰۱	۱۵	۱۱	۹	۱۷۶	۳۱۴	۳۱۷
	۳۰-۲۰۱۱	۴۱۸	۲۴۶۱	۳۱۱۷	۳۹۴۵	۱۵	۱۱	۹	۱۷۱	۳۲۳	۳۱۲
	۶۵-۲۰۴۵	۵۴۱	۲۳۷۳	۲۹۱۱	۳۶۸۰	۱۶	۱۲	۹	۱۴۷	۲۶۳	۳۵۲
	۹۹-۲۰۸۰	۶۷۴	۲۲۸۷	۲۷۷۵	۳۴۵۸	۱۷	۱۳	۱۰	۱۲۹	۲۶۴	۳۱۸
A <sub>2</sub> <sup>۲</sup>	۳۰-۲۰۱۱	۴۱۴	۳۴۵۴	۳۰۶۴	۳۹۱۴	۱۵	۱۲	۹	۱۶۲	۳۱۸	۳۵۳
	۶۵-۲۰۴۵	۵۴۵	۲۳۵۱	۲۸۷۷	۳۶۶۳	۱۶	۱۳	۹	۱۳۷	۲۵۲	۳۱۸
	۹۹-۲۰۸۰	۷۵۴	۲۲۶۲	۲۶۸۱	۳۳۷۲	۱۸	۱۴	۱۱	۱۱۲	۲۱۲	۲۵۲
	۳۰-۲۰۱۱	۴۱۰	۲۴۷۰	۳۱۴۰	۳۹۵۱	۱۵	۱۱	۹	۱۴۸	۲۹۰	۳۴۵
B <sub>1</sub> <sup>۲</sup>	۶۵-۲۰۴۵	۴۹۲	۲۴۱۲	۲۹۹۴	۳۷۵۶	۱۶	۱۲	۹	۱۲۹	۲۴۳	۳۰۶
	۹۹-۲۰۸۰	۵۳۸	۲۳۴۴	۲۸۶۲	۳۵۸۲	۱۷	۱۳	۱۰	۱۲۷	۲۷۵	۳۳۸

- ۱- بر اساس این سناریو غلظت دی‌اکسید کربن ۱۵ گیگاتن در سال افزایش می‌یابد و دما بین ۱/۷ تا ۴/۴ درجه سانتی‌گراد افزایش خواهد یافت.
- ۲- بر اساس این سناریو غلظت دی‌اکسید کربن حدود ۳۰ گیگاتن در سال افزایش می‌یابد و دما بین ۲ تا ۵/۴ درجه سانتی‌گراد افزایش خواهد یافت
- ۳- بر اساس این سناریو غلظت دی‌اکسید کربن تغییر چندانی نداشته و دما بین ۱/۱ تا ۲/۹ درجه سانتی‌گراد افزایش خواهد یافت.

خواهد گذاشت. از طرف دیگر در مناطق سرد مانند شهرستان اقلید با افزایش غلظت دی‌اکسید کربن و افزایش دما طول فصل رشد افزایش می‌یابد که اثرات مثبتی بر روی عملکرد خواهد داشت.

#### شاخص‌های رشدی

شاخص سطح برگ: آگاهی از چگونگی تحریک توسعه سطح برگ بوسیله افزایش غلظت گاز دی‌اکسید کربن بسیار مهم است زیرا شاخص سطح برگ یکی از مهمترین شاخص‌های رشد گیاه می‌باشد که به عنوان معیاری جهت اندازه‌گیری سیستم فتوسنتزی بکار می‌رود و افزایش این شاخص باعث افزایش میزان عملکرد در گیاه می‌گردد (سینگ و همکاران ۲۰۰۸). نتایج این تحقیق نشان داد در آینده حداکثر سطح برگ به طور متوسط ۱۵/۲۵ درصد نسبت به گذشته افزایش می‌یابد و این افزایش در سناریوها و دوره‌های اقلیمی آینده متفاوت خواهد بود (شکل ۲ و جدول ۱). به عنوان مثال سطح برگ گندم شهرستان اقلید در دوره ۲۰۸۰-۹۹ تحت سناریوی

#### نتایج و بحث

##### شاخص‌های اقلیمی در دوره آینده

در شرایط آینده (شامل سه دوره ۲۰۱۱-۲۰۳۰، ۲۰۴۶-۲۰۶۵ و ۲۰۸۰-۲۰۹۹) و کلیه سناریوهای تغییر اقلیم نسبت به دوره گذشته (۲۰۱۰-۱۹۸۰) میزان دما در کلیه شهرستان‌های مورد مطالعه افزایش یافت (جدول ۱). نتایج نشان داد که در بین سناریوهای مورد مطالعه، سناریو A<sub>2</sub> با بیشترین غلظت دی‌اکسید کربن، بیشترین افزایش دما و کمترین میزان بارندگی را به خود اختصاص داد (جدول ۱). به طور کلی میزان بارندگی در کلیه سناریوهای تغییر اقلیم روند کاهشی داشت. بنابراین به نظر می‌رسد در آینده افزایش دما ناشی از افزایش غلظت دی‌اکسید کربن و کاهش میزان بارش، اثرات سودمند افزایش غلظت دی‌اکسید کربن را خنثی کند که به شرط تامین منابع آب اثرات منفی آن کمتر خواهد بود.

همچنین در شرایط تغییر اقلیم در مناطق گرم مثل شهرستان لار با افزایش دما و کاهش بارندگی، طول فصل رشد نیز کاهش می‌یابد که تأثیر منفی بر عملکرد

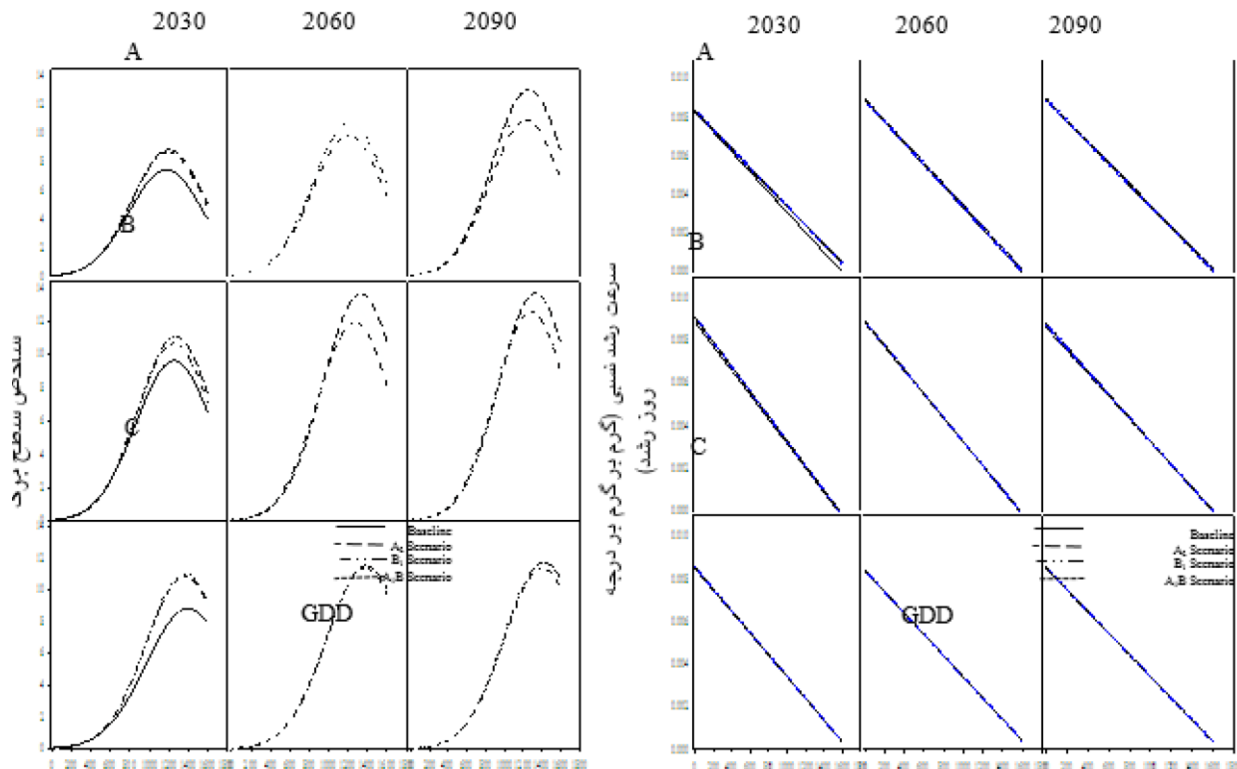
### سرعت رشد نسبی و سرعت رشد محصول

در دوره آینده در تمامی مناطق مورد مطالعه و تحت سناریوهای مختلف انتشار سرعت رشد نسبی، نسبت به دوره گذشته روند صعودی داشت که این در دوره‌های زمانی آینده متفاوت بود. با توجه به اینکه شیب خط منحنی بیان کننده سرعت می‌باشد، در آینده دوره ۲۰۱۱-۳۰ دارای بیشترین سرعت رشد نسبی بوده ضمن اینکه سرعت رشد در این دوره در GDD کمتری به صفر می‌رسد (شکل ۲). همچنین دوره ۲۰۸۰-۹۹ با کمترین سرعت رشد نسبی در آینده، به GDD بیشتری برای به صفر رسیدن نیاز دارد (شکل ۲). در بین سناریوهای اقلیمی، سناریوی B<sub>1</sub> که کمترین غلظت دی‌اکسید کربن را دارد (جدول ۱) و با توجه به شکل ۲ که بیان کننده روند تغییرات سرعت رشد نسبی می‌باشد، بیشترین سرعت رشد را خواهد داشت. ولی سناریوی A<sub>2</sub> با بیشترین غلظت دی‌اکسید کربن و دما بین سناریوها (جدول ۱)، کمترین سرعت رشد نسبی را خواهد داشت ضمن اینکه GDD بیشتری را برای به صفر رسیدن نیاز دارد (شکل ۲). در تحقیقی که توسط شور و همکاران (۲۰۰۹) به منظور بررسی اثرات افزایش غلظت دی‌اکسید کربن در شرایط کودی بر شاخص‌های فیزیولوژیک گیاه بادر نجبویه در گلخانه انجام گرفت، صرف نظر از مصرف کود با افزایش غلظت دی‌اکسید کربن، سرعت رشد نسبی بادرنجبویه به طور چشمگیری در غلظت ۱۰۵۰ پی‌پی‌ام در مقایسه با غلظت ۳۸۰ پی‌پی‌ام افزایش را نشان خواهد داد.

A<sub>2</sub> با ۲۳/۹۳ درصد افزایش نسبت به دوره پایه، ۱۱/۷ متر مربع بر متر مربع خواهد بود که این بیشترین سطح برگ در آینده، تحت سناریو و دوره‌های مختلف اقلیمی می‌باشد. در دوره ۲۰۱۱-۳۰ تحت دو سناریوی A<sub>2</sub> و B<sub>1</sub> شهرستان لار با داشتن سطح برگی برابر با ۹/۸ متر مربع بر متر مربع که نسبت به دوره پایه خود ۱۲/۲۴ درصد افزایش را نشان می‌دهد، کمترین سطح برگ در آینده خواهد بود (جدول ۲). با توجه به شکل ۲ که بیان کننده روند تغییرات شاخص سطح برگ مناطق مورد مطالعه در دوره‌های مختلف اقلیمی تحت سناریوهای مختلف انتشار می‌باشد، تغییرات سطح برگ افزایشی خواهد بود. بر اساس شکل ۲ سناریوی A<sub>2</sub> که بیشترین غلظت دی‌اکسید کربن را در آینده بین سایر سناریوها خواهد داشت (جدول ۱)، بیشترین سطح برگ را به تبعیت از دی‌اکسید کربن نیز خواهد داشت (شکل ۲). اما سناریوی B<sub>1</sub> با داشتن کمترین غلظت دی‌اکسید کربن، دارای کمترین سطح برگ بین سناریوهای اقلیمی خواهد بود (جدول ۱ و شکل ۲).

مرادی و همکاران (۲۰۱۳) تأثیر تغییر اقلیم بر تولید ذرت و ارزیابی تغییر تاریخ کاشت بعنوان راهکار سازگاری در شرایط آب و هوایی مشهد را شبیه سازی کردند. نتایج آنها نشان داد که در تمامی سناریوها و مدل‌های گردش عمومی و دوره‌های مورد بررسی آینده حداکثر شاخص سطح برگ نسبت به شرایط کنونی مشهد کاهش می‌یابد. در این میان، سناریوی B<sub>1</sub> برای مدل گردش عمومی IPCM4 در دوره ۲۰۵۰ و سناریوی A<sub>2</sub> در دو مدل گردش عمومی HadCM3 و IPCM4 برای دوره ۲۰۸۰ به ترتیب با ۴/۱۹، ۴/۳۵ و ۴/۴ شاخص سطح برگ، بیشترین کاهش را نسبت به شرایط کنونی (۵/۱۱) نشان دادند.

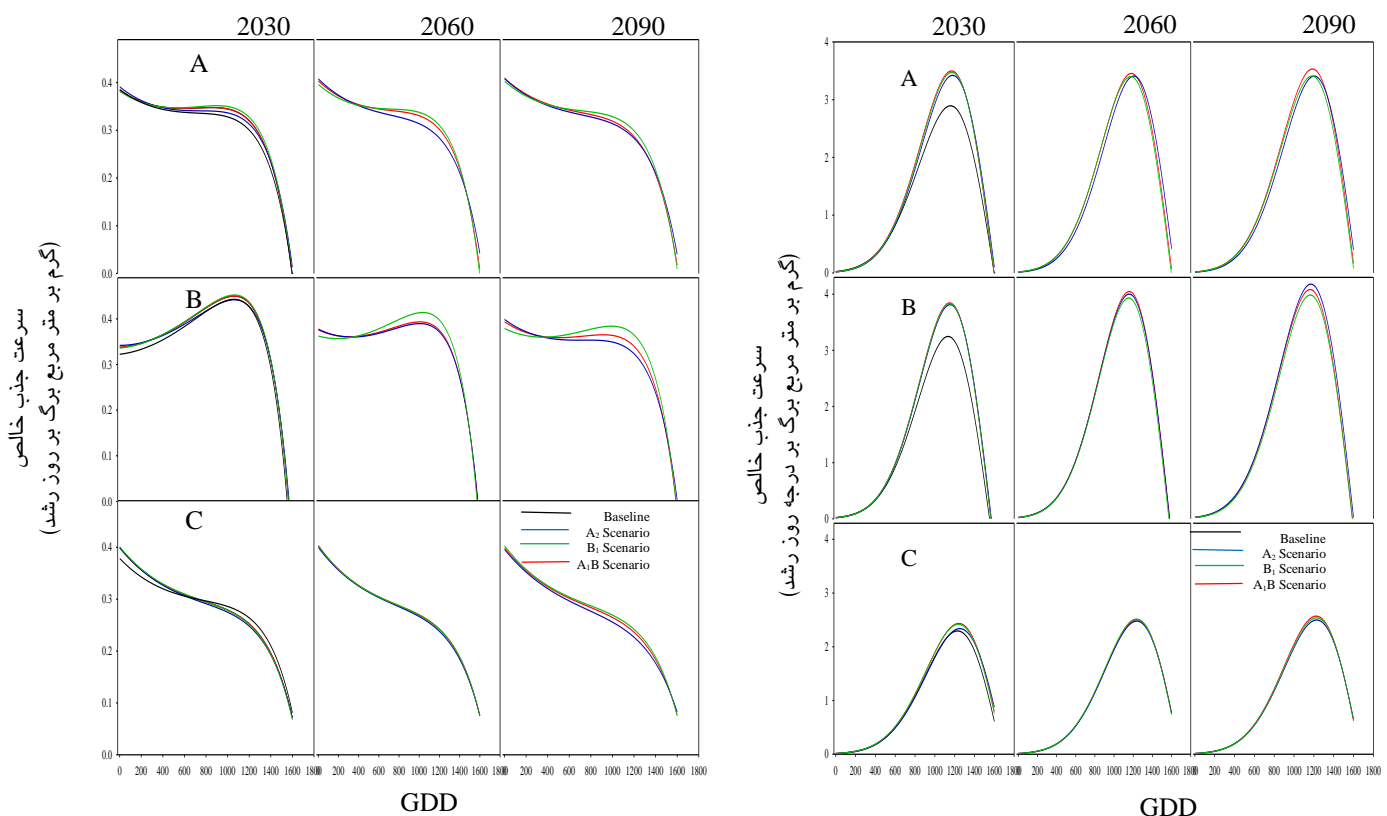




شکل ۲- روند تغییرات شاخص سطح برگ و سرعت رشد نسبی در سه شهرستان مورد مطالعه، سه دوره و سناریوهای مختلف A, B, C به ترتیب شهرستان‌های اقلید، شیراز و لار می‌باشد، هر منحنی متوسط ۲۰ سال شبیه‌سازی است که تا مرحله اواسط دانه‌بندی میانگین‌گیری شده است.

محصول خواهد بود (شکل ۳ و جدول های ۱ و ۲). افزایش تولید ماده خشک گندم تابع سرعت تولید ماده خشک یا سرعت رشد محصول است، بنابراین افزایش تولید ماده خشک در شرایط تغییر اقلیم (جدول ۲) به دلیل افزایش سرعت رشد محصول در این شرایط می‌تواند باشد. کوچکی و کمالی (۲۰۱۰) در تحقیقی که با هدف ارزیابی تأثیر تغییر اقلیم بر تولید گندم دیم کشور انجام گرفت، گزارش کردند که شاخص سطح برگ و میزان تشعشع جذب شده توسط کانوپی گندم در شرایط تغییر اقلیم نسبت به شرایط فعلی کاهش خواهد یافت. این محققین بیان داشتند که کاهش جذب تشعشع باعث کاهش سرعت رشد محصول شده و در نتیجه تولید ماده خشک بطور چشمگیری کاهش خواهد یافت.

سرعت رشد گیاه در آینده به تبع از افزایش دی‌اکسید کربن که منجر به افزایش فتوسنتز و تولید ماده خشک می‌شود نسبت به دوره پایه افزایش را نشان می‌دهد که این با توجه به غلظت‌های متفاوت دی‌اکسید کربن در دوره و سناریوهای مختلف، متفاوت می‌باشد. با این تفسیر دوره ۹۹-۲۰۸۰ با داشتن بیشترین غلظت دی‌اکسید کربن و همچنین دوره ۳۰-۲۰۱۱ با داشتن کمترین غلظت دی‌اکسید کربن، بترتیب بیشترین و کمترین سرعت رشد را در آینده خواهند داشت (شکل ۳ و جدول ۱). از آنجا که در دوره اقلیمی آینده افزایش همزمان غلظت دی‌اکسید کربن و دما باعث افزایش شاخص سطح برگ و سرعت فتوسنتز می‌شود و به تبعیت از آنها سرعت رشد افزایش می‌یابد، سناریوی A1B با داشتن سطح برگ بیشتر دارای حداکثر سرعت رشد



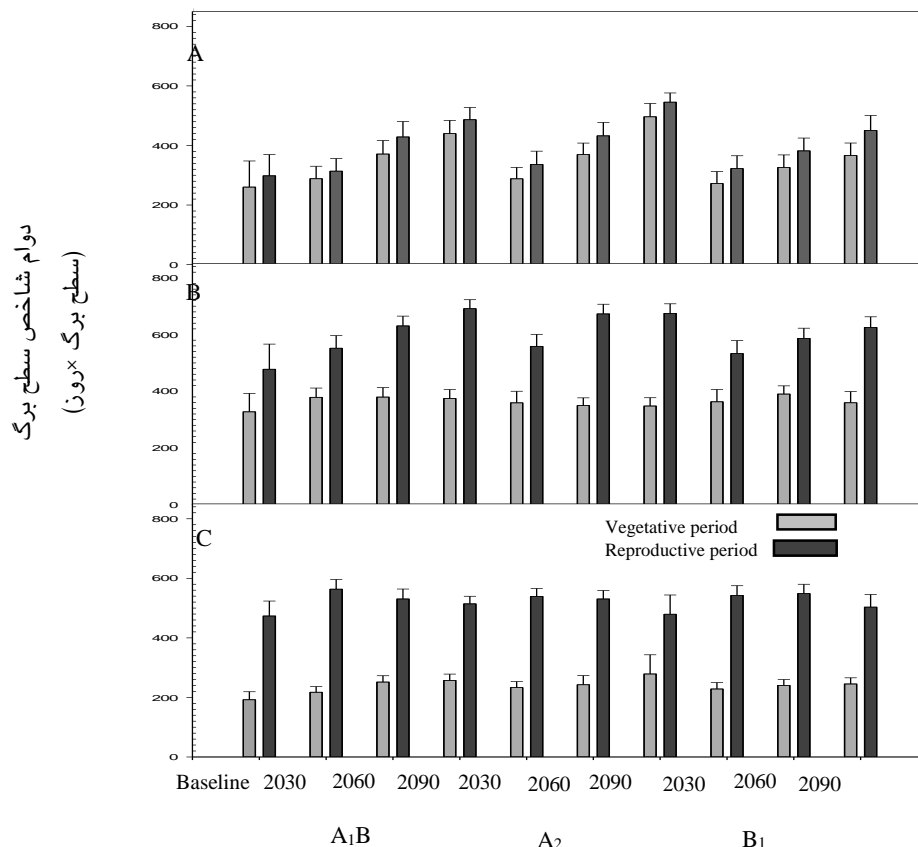
شکل ۳- روند تغییرات سرعت رشد و سرعت جذب خالص در سه شهرستان مورد مطالعه (A, B و C به ترتیب شهرستان‌های اقلید شیراز و لار)، سه دوره و سناریوهای مختلف، هر منحنی متوسط ۲۰ سال شبیه‌سازی است که تا مرحله اواسط دانه‌بندی میانگین‌گیری شده است.

کمترین مقدار سرعت جذب خالص را به خود اختصاص می‌دهند (شکل ۳). از آنجا که شاخص سرعت جذب خالص، شاخصی فیزیولوژیک بوده و ارتباط نزدیکی با فعالیت‌های فتوسنتزی برگ داشته، در شرایط اقلیمی آینده در پی افزایش غلظت دی‌اکسید کربن فتوسنتز افزایش پیدا خواهد کرد؛ لذا روند صعودی سرعت جذب خالصی که در آینده تحت سناریوهای مختلف انتشار مشاهده می‌شود، منطقی به نظر می‌رسد (شکل ۳). شاخص دوام سطح برگ (شکل ۴) در گندم ارتباط نزدیکی با عملکرد گندم داشته و هرچه دوام این شاخص در طول فصل رشد بیشتر باشد عملکرد اقتصادی و بیولوژیک بیشتر خواهد بود. نتایج شبیه‌سازی‌ها نشان داد در دوره آینده شهرستان اقلید در هر دو فاز رویشی و زایشی روند مشابهی وجود دارد، بیشترین و کمترین مقدار دوام شاخص سطح برگ بترتیب در دوره‌های ۹۹-

سرعت جذب خالص و دوام شاخص سطح برگ: نتایج این تحقیق نشان داد که مقدار سرعت جذب خالص نیز همانند سایر شاخص‌های رشدی در آینده نسبت به دوره پایه دارای روند صعودی خواهد بود اما مقدار تغییرات در دوره و سناریوهای مختلف متفاوت خواهد بود. سرعت جذب خالص که بیان‌کننده کارایی تولید بیوماس در بافت‌های فتوسنتز کننده می‌باشد در دوره ۹۹-۲۰۸۰ و سناریوی A1B در شرایط افزایش غلظت دی‌اکسید کربن به دلیل میزان فتوسنتز بیشتر در مقایسه با بقیه سناریوها و دوره‌ها مقدار بیشتری است (جدول ۱ و شکل ۳). در سناریوی B1 با دوره ۳۰-۲۰۱۱ که کمترین مقدار در افزایش غلظت دی‌اکسید کربن خواهد بود (جدول ۱)، کمترین مقدار را در افزایش سرعت فتوسنتز خالص خواهد داشت. با کمتر بودن میزان فتوسنتز در این سناریو و دوره در مقایسه با بقیه سناریو و دوره‌ها،

شهرستان شیراز در فاز زایشی کمترین مقدار دوام شاخص سطح برگ در آینده را خواهند داشت.

اما در ۲۰۸۰ و ۲۰۱۱-۳۰ وجود خواهد داشت. شهرستانهای شیراز و لار در دوره ۲۰۸۰-۹۹ به ترتیب در فاز زایشی و رویشی بیشترین مقدار را خواهند داشت. برای دوره ۲۰۱۱-۳۰، شهرستان لار در فاز رویشی و



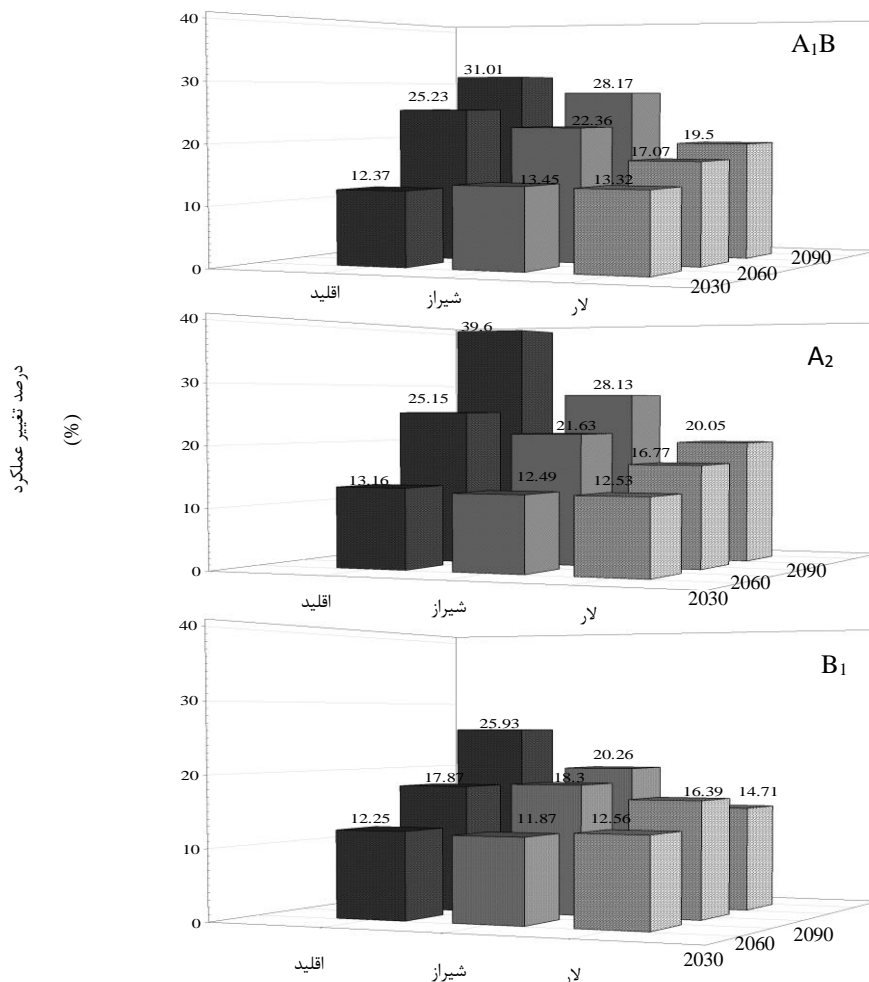
شکل ۴- روند تغییرات دوام شاخص سطح برگ در سه شهرستان مورد مطالعه (A، B، C به ترتیب شهرستانهای اقلید، شیراز و لار می‌باشد)، سه دوره و سناریوهای مختلف، هر ستون متوسط ۲۰ سال شبیه‌سازی است که تا مرحله اواسط دانه‌بندی میانگین‌گیری شده است.

دوره ۲۰۱۱-۳۰ تحت سناریوی A<sub>2</sub> کمترین افزایش عملکرد دانه را خواهد داشت به عنوان مثال در شهرستان لار در سناریو و دوره مذکور عملکرد دانه برابر با ۷۶۶/۴ گرم بر متر مربع خواهد بود که با افزایش ۱۲/۵۳ درصدی نسبت به دوره پایه کمترین مقدار افزایش را خواهد داشت. سناریوهای A<sub>2</sub> (با بیشترین غلظت دی‌اکسید کربن) و B<sub>1</sub> (با کمترین غلظت دی‌اکسید کربن) به ترتیب بیشترین و کمترین مقدار عملکرد دانه را در بین سناریوهای اقلیمی داشتند (جدول ۲). به عنوان مثال در دوره ۲۰۱۱-۳۰ در شهرستان اقلید مقدار عملکرد دانه در

عملکرد دانه در دوره پایه و آینده: نتایج این تحقیق نشان داد که در آینده (شامل سه دوره ۲۰۱۱-۲۰۳۰، ۲۰۴۶-۲۰۶۵ و ۲۰۸۰-۲۰۹۹) نسبت به دوره گذشته (۲۰۱۰-۱۹۸۰) عملکرد دانه به طور متوسط ۱۹/۳۴ درصد افزایش خواهد یافت که این افزایش در دوره و سناریوهای مختلف متفاوت است. برای مثال شهرستان شیراز در دوره ۲۰۸۰-۹۹ تحت سناریوی A<sub>2</sub> با ۱۰۵۱/۲ گرم بر متر مربع بیشترین عملکرد دانه را خواهد داشت که نسبت به دوره پایه در این شهرستان، ۳۹/۶ درصد افزایش را نشان می‌دهد (شکل ۵ و جدول ۲). در حالی که

نتایج این تحقیق با تحقیق ایزورالد و همکاران (۲۰۰۳) که در دشت‌های شمالی امریکا انجام گرفته است همسو بود. بر اساس نتایج آنها عملکرد دانه گندم در دوره‌های ۲۰۳۰ و ۲۰۹۰ به ترتیب ۲۵ و ۳۶ درصد افزایش پیدا خواهد کرد. اما با نتایج مطالعات لو و همکاران (لیو و همکاران ۲۰۰۵) که در مناطق جنوبی استرالیا انجام گرفته است همسو نمی‌باشد، بر اساس تحقیق آنها گندم در جنوب استرالیا از نظر عملکرد دانه ۱۳/۵-۳۲ درصد کاهش پیدا خواهد کرد.

سناریوهای  $A_1B$ ،  $A_2$  و  $B_1$  به ترتیب ۸۵۲/۱، ۸۴۶/۱ و ۸۴۵/۲ گرم بر متر مربع خواهد بود (جدول ۲). از آنجا که در گندم تثبیت دی‌اکسید کربن از مسیر  $C_3$  انجام می‌گیرد و این مسیر در غلظت کنونی دی‌اکسید کربن به اشباع نرسیده است، لذا افزایش غلظت دی‌اکسید کربن اتمسفری باعث کاهش تنفس نوری و افزایش ظرفیت فتوسنتزی گیاهان  $C_3$  نسبت به گیاهان  $C_4$  خواهد شد که به دنبال چنین شرایطی عملکرد دانه نیز افزایش می‌یابد (روبردو و همکاران ۲۰۰۷).



شکل ۵- درصد تغییرات عملکرد دانه در دوره‌های آینده و سناریوهای مختلف نسبت به دوره پایه در شهرستان‌های مورد مطالعه

نسبت به گذشته افزایش می‌یابد. این افزایش در سناریوها و دوره‌های اقلیمی متفاوت است به طوری که دوره‌های ۲۰۸۰-۹۹ و ۲۰۱۱-۳۰ بترتیب بیشترین و کمترین

نتایج این تحقیق نشان داد که به طور متوسط در آینده استان فارس میزان بیوماس ۳۷۳/۷ گرم بر مترمربع

بیوماس

۱۹۷۶) و توان گیاه در انتقال و تخصیص مواد حاصل از فتوسنتز را به دانه نشان می‌دهد، بر اساس نتایج حاصل از شبیه‌سازی در آینده تحت شرایط پتانسیل در دوره‌های مختلف و سناریوهای اقلیمی، در دوره‌های ۲۰۱۱-۳۰ و ۲۰۴۵-۶۵ روند افزایشی و در دوره ۲۰۸۰-۹۹ (جدول ۲). بنابراین دوره ۲۰۱۱-۳۰ بیشترین و ۲۰۸۰-۹۹ کمترین شاخص برداشت را خواهند داشت. به عنوان مثال می‌توان در دوره ۲۰۱۱-۳۰ به شهرستان اقلید اشاره کرد که تحت سناریوی B<sub>1</sub> شاخص برداشت ۳۸/۳ درصد خواهد بود که این بیشترین مقدار شاخص برداشت در آینده می‌باشد و همچنین در دوره ۲۰۸۰-۹۹ به شهرستان شیراز می‌توان اشاره کرد که تحت سناریوی A<sub>2</sub> شاخص برداشت با کاهش ۰/۳ درصدی نسبت به پایه، با ۳۷ درصد کمترین مقدار شاخص برداشت را خواهد داشت. البته شاخص برداشت گندم در شهرستان اقلید در دوره ۲۰۸۰-۹۹ تحت سناریوی B<sub>1</sub> نسبت به دوره ۲۰۴۵-۶۵ افزایش خواهد یافت که این نشان می‌دهد عملکرد دانه در این شهرستان و دوره، در مقایسه با بیوماس بیشتر افزایش پیدا خواهد کرد. با توجه به اینکه اگر گیاه در مراحل انتهایی فصل رشد در شرایط تغییر اقلیم ممکن است با دمای بالا مواجه شود، طول فصل رشد و بیوماس آن نیز کاهش می‌یابد، در چنین شرایطی شاخص برداشت نیز کاهش خواهد بود. از این رو سناریوی A<sub>2</sub> که بیشترین افزایش دما و کمترین طول فصل رشد را دارد، کمترین مقدار شاخص برداشت و سناریوی B<sub>1</sub> با کمترین افزایش دما و بیشترین طول فصل رشد، بیشترین شاخص برداشت را بین سناریوهای آینده خواهند داشت (جدول ۱ و ۲ و ۳).

بیوماس را خواهند داشت (جدول ۲). برای مثال در شهرستان اقلید، دوره ۲۰۸۰-۹۹ و تحت سناریوی A<sub>2</sub> میزان بیوماس ۲۷۸۶ گرم بر متر مربع خواهد بود که این مقدار با افزایش ۴۰/۳۶ درصدی بیشترین بیوماس را در دوره آینده تحت سناریوهای مختلف انتشار خواهد داشت. اما دوره ۲۰۱۱-۳۰ تحت سناریوی B<sub>1</sub> در شهرستان لار کمترین بیوماس را دارد. مقدار بیوماس در این دوره و سناریو ۲۰۷۰/۸ گرم بر متر مربع شبیه‌سازی شد که با افزایش ۱۰/۸۳ درصدی نسبت به دوره پایه‌ی این شهرستان، کمترین درصد افزایش در آینده می‌باشد (جدول ۲). همچنین بر اساس نتایج حاصل از شبیه‌سازی، سناریوهای A<sub>1</sub>B و B<sub>1</sub> به ترتیب بیشترین و کمترین بیوماس را در آینده بین سناریوها خواهند داشت. به عنوان مثال مقدار بیوماس گندم شهرستان شیراز در دوره ۲۰۱۱-۳۰ برای سه سناریوی A<sub>1</sub>B، A<sub>2</sub> و B<sub>1</sub> به ترتیب ۲۳۱۹/۸، ۲۳۱۸/۳ و ۲۲۹۲/۲ گرم بر متر مربع برآورد شد (جدول ۲). ولیزاده و همکاران (۲۰۱۴) که به بررسی اثرات تغییر اقلیم بر دوره بلوغ، شاخص سطح برگ، عملکرد کل و عملکرد دانه برای گندم با استفاده از دو مدل IPCM4 و HadCM3 تحت سناریوهای A<sub>2</sub>، B<sub>1</sub> و A<sub>1</sub>B برای سه دوره زمانی ۲۰۲۰، ۲۰۵۰ و ۲۰۸۰ در سیستان و بلوچستان پرداختند، گزارش کردند که عملکرد بیولوژیک گندم در هر دو مدل جوی مطابق سناریوهای تغییر اقلیم در تمامی دوره‌ها کاهش یافت به طوری که کمترین مقدار کاهش مربوط به سناریوی B<sub>1</sub> بود. شرایط انجام تحقیق می‌توند علت ناهمسو بودن تحقیق آنها با تحقیق حاضر باشد. چرا که تحقیق حاضر در شرایط پتانسیل انجام گرفت در حالی که تحقیق این محققین در شرایط تنش انجام گرفته است.

**شاخص برداشت:** شاخص برداشت که به نسبت عملکرد دانه به بیوماس اطلاق می‌گردد (دونالد و همبلین

جدول ۳- میانگین طول فصل رشد گندم در شهرستان‌های مورد مطالعه در دوره و سناریوهای مختلف انتشار در آینده

سناریو	دوره	طول فصل رشد (روز)		
		لار	شیراز	اقلید
	پایه	۱۵۵	۱۹۲	۲۲۵
A <sub>1</sub> B <sup>۱</sup>	۳۰-۲۰۱۱	۱۵۴	۱۸۷	۲۲۳
	۶۵-۲۰۴۵	۱۴۸	۱۷۷	۲۱۲
	۹۹-۲۰۸۰	۱۴۴	۱۷۱	۲۰۴
A <sub>2</sub> <sup>۲</sup>	۳۰-۲۰۱۱	۱۵۳	۱۸۵	۲۲۴
	۶۵-۲۰۴۵	۱۴۹	۱۷۶	۲۱۲
	۹۹-۲۰۸۰	۱۴۳	۱۶۶	۱۹۹
B <sub>1</sub> <sup>۳</sup>	۳۰-۲۰۱۱	۱۵۴	۱۸۷	۲۲۴
	۶۵-۲۰۴۵	۱۵۱	۱۸۰	۲۱۴
	۹۹-۲۰۸۰	۱۴۷	۱۷۵	۲۰۹

۱- بر اساس این سناریو غلظت دی‌اکسید کربن ۱۵ گیگاتن در سال افزایش می‌یابد و دما بین ۱/۷ تا ۴/۴ درجه سانتی‌گراد افزایش خواهد یافت.

۲- بر اساس این سناریو غلظت دی‌اکسید کربن حدود ۳۰ گیگاتن در سال افزایش می‌یابد و دما بین ۲ تا ۵/۴ درجه سانتی‌گراد افزایش خواهد یافت.

۳- بر اساس این سناریو غلظت دی‌اکسید کربن تغییر چندانی نداشته و دما بین ۱/۱ تا ۲/۹ درجه سانتی‌گراد افزایش خواهد یافت.

از عملکرد گندم در دوره آینده و تحت سناریوهای مختلف اقلیمی (در هر دو مدل) نسبت به دوره پایه روند نزولی خواهد داشت. بیشترین میزان شاخص برداشت (۵۱ درصد) در مدل IPCM4 مربوط به دوره ۲۰۲۰ تحت سناریوی B<sub>1</sub> بود در حالی که در مدل HadCM3 بیشترین شاخص برداشت (۵۲ درصد) در سناریوی A<sub>1</sub>B و در دوره ۲۰۲۰ خواهد بود.

#### همبستگی بین صفات مورد مطالعه

افزایش ظرفیت و سرعت فتوسنتز در نتیجه افزایش غلظت دی‌اکسید کربن در آینده، ابتدایی‌ترین مکانسیم برای توجیه افزایش شاخص سطح برگ

نتایج این تحقیق با تحقیق کوچکی و همکاران (۲۰۰۱) که رشد، فنولوژی و تولید ارقام گندم را تحت شرایط تغییر اقلیم در مشهد مورد بررسی قرار دادند تا حدودی مشابه بود. بر اساس نتایج آنها شاخص برداشت در تمامی ارقام مورد مطالعه در سال ۱۴۰۰ نسبت به دوره پایه افزایش می‌یابد. این محققین برای شبیه‌سازی اقلیم آینده و بررسی تأثیر آن بر رشد و نمو گندم از مدل اقلیمی UKMO و مدل رشدی STMTNO استفاده کردند. همچنین با تحقیق ولیزاده و همکاران (۲۰۱۴) که به بررسی اثرات تغییر اقلیم بر روی گندم با استفاده از دو مدل IPCM4 و HadCM3 تحت سناریوهای B<sub>1</sub> A<sub>2</sub>، و A<sub>1</sub>B برای سه دوره زمانی ۲۰۲۰، ۲۰۵۰ و ۲۰۸۰ در سیستان و بلوچستان پرداختند، تغییرات شاخص برداشت به تبعیت

می‌باشد (سینیورا و همکاران ۲۰۰۳)، به تبع از افزایش سطح برگ عملکرد دانه و بیوماس نیز افزایش خواهند یافت. نتایج تجزیه همبستگی هم موید ارتباط مثبت و معنی‌دار میان حداکثر شاخص سطح برگ با عملکرد دانه ( $r=0.91^{**}$ ) و بیوماس ( $r=0.96^{**}$ ) است (جدول ۴). همچنین با توجه به همبستگی مثبتی و معنی‌داری که بین شاخص سطح برگ با ماده خشک ( $r=0.96$ ) وجود داشت (جدول ۴) و نیز اینکه نتایج حاصل از شبیه‌سازی رشد گندم، شاخص سطح برگ در آینده را نسبت به دوره پایه، افزایشی نشان می‌دهد (جدول ۲) بنابراین افزایش مشاهده شده در بیوماس منطقی به نظر می‌رسد. همچنین نتایج نشان داد که همبستگی مثبت و معنی‌داری بین سرعت رشد با سطح برگ در آینده وجود دارد.

در آینده سطح برگ در پی افزایش دی‌اکسید کربن، افزایش خواهد یافت که منجر به افزایش سرعت رشد محصول نسبت به دوره پایه خواهد شد (جدول های ۱ و ۲ و شکل ۳). از طرف دیگر، همبستگی مثبت و معنی‌داری ( $r=0.84$ ) بین سطح برگ و دوام این شاخص در آینده وجود داشت (جدول ۴)، که افزایش عملکرد دانه و بیوماس در شرایط اقلیمی آینده تحت سناریوهای مختلف را اثبات کرد. با توجه به همبستگی مثبت و بالای بین شاخص برداشت و طول فصل رشد ( $r=0.96$ ) (جدول ۴)، روند شاخص برداشت بین دوره‌های آینده اثبات می‌کند، دوره ۳۰-۲۰۱۱ بیشترین طول فصل رشد و همچنین دوره ۹۹-۲۰۸۰ کمترین طول فصل رشد را در آینده خواهند داشت (جدول ۳).

جدول ۴- ضریب همبستگی بین شاخص‌های رشدی گندم در دوره آینده

طول فصل رشد	بیوماس	عملکرد دانه	شاخص برداشت	شاخص سطح برگ	سرعت رشد نسبی	سرعت جذب	دوام شاخص سطح برگ (کل)
طول فصل رشد	۰/۳۴ <sup>NS</sup>	۰/۴۹ <sup>**</sup>	۰/۹۶ <sup>**</sup>	۰/۱۱ <sup>NS</sup>	۰/۷۸ <sup>**</sup>	۰/۸۷ <sup>**</sup>	۰/۱۴ <sup>NS</sup>
بیوماس	۱	۰/۹۸ <sup>**</sup>	۰/۳۴ <sup>NS</sup>	۰/۹۶ <sup>**</sup>	۰/۴۴ <sup>*</sup>	۰/۷۳ <sup>**</sup>	۰/۷۵ <sup>**</sup>
عملکرد دانه	۰/۹۸ <sup>**</sup>	۱	۰/۵۱ <sup>**</sup>	۰/۹۱ <sup>**</sup>	۰/۵۵ <sup>**</sup>	۰/۸۴ <sup>**</sup>	۰/۶۸ <sup>**</sup>
شاخص برداشت	۰/۳۴ <sup>NS</sup>	۰/۵۱ <sup>**</sup>	۱	۰/۱۲ <sup>NS</sup>	۰/۸۲ <sup>**</sup>	۰/۲۳ <sup>NS</sup>	۰/۰۶ <sup>NS</sup>
شاخص سطح برگ	۰/۹۶ <sup>**</sup>	۰/۹۱ <sup>**</sup>	۰/۱۲ <sup>NS</sup>	۱	۰/۲۹ <sup>NS</sup>	۰/۸۷ <sup>**</sup>	۰/۸۴ <sup>**</sup>
سرعت رشد نسبی	۰/۷۸ <sup>**</sup>	۰/۴۴ <sup>*</sup>	۰/۵۵ <sup>**</sup>	۰/۸۲ <sup>**</sup>	۱	۰/۵۶ <sup>**</sup>	۰/۱۱ <sup>NS</sup>
سرعت رشد	۰/۸۷ <sup>**</sup>	۰/۷۳ <sup>**</sup>	۰/۸۴ <sup>**</sup>	۰/۸۷ <sup>**</sup>	۰/۵۶ <sup>**</sup>	۱	۰/۲۹ <sup>NS</sup>
سرعت جذب خالص	۰/۱۴ <sup>NS</sup>	۰/۷۳ <sup>**</sup>	۰/۸۴ <sup>**</sup>	۰/۸۷ <sup>**</sup>	۰/۵۶ <sup>**</sup>	۰/۲۹ <sup>NS</sup>	۰/۰۳ <sup>NS</sup>
دوام شاخص سطح برگ (کل)	۰/۷۵ <sup>**</sup>	۰/۶۸ <sup>**</sup>	۰/۶۸ <sup>**</sup>	۰/۰۶ <sup>NS</sup>	۰/۸۴ <sup>**</sup>	۰/۱۱ <sup>NS</sup>	۰/۰۳ <sup>NS</sup>

اختلاف معنی‌دار در سطح ۵ درصد      \*\* اختلاف معنی‌دار در سطح ۱ درصد      NS عدم وجود اختلاف معنی‌دار

نتیجه‌گیری

به طوری که افزایش دی‌اکسید کربن و دما باعث افزایش ۱۹/۲۴ درصدی عملکرد، ۱۸/۹۱ درصدی بیوماس و ۰/۲۳ درصدی شاخص برداشت نسبت به دوره پایه خواهد شد. بیشترین مقدار افزایش با توجه به غلظت

این تحقیق نشان داد که تغییرات اقلیم (افزایش دما و دی‌اکسید کربن)، مقادیر شاخص‌های رشد گندم آبی را در شرایط پتانسیل تحت تأثیر قرار می‌دهد.

موضوع بالاتر بودن سطح برگ، دوام سطح برگ، سرعت جذب و شاخص برداشت در آینده است که همه این شاخص‌ها همبستگی معنی داری با بیوماس و عملکرد دانه داشتند. البته افزایش دما و وقوع تنش خشکی انتهای فصل ناشی از تغییر اقلیم و همچنین کاهش میزان بارندگی در مناطق خشک و نیمه خشک ایران ممکن است اثرات سودمند افزایش غلظت دی‌اکسید کربن را بر عملکرد کاهش دهد که البته می‌توان با استراتژی‌های سازگاری مانند تاریخ کشت زود هنگام و ارقام مقاوم به خشکی اثرات منفی آن را کاهش داد.

دی‌اکسید کربن در سناریوی A<sub>2</sub> و کمترین آن در سناریوی B<sub>1</sub> خواهد بود. شاخص‌های فیزیولوژیک رشد نیز به تبع از افزایش دی‌اکسید کربن افزایش خواهند یافت. شاخص سطح برگ نسبت به دوره پایه، ۱۵/۲۳ درصد افزایش پیدا خواهد کرد که طبیعتاً دوام شاخص سطح برگ نیز افزایش پیدا می‌کند. به طور کلی نتایج این تحقیق نشان داد که از میان مناطق مورد مطالعه در شرایط تغییر اقلیم، مناطق با اقلیم معتدل در آینده مثل شهرستان شیراز عملکرد و تولید بالاتری خواهند داشت و تاثیر دی‌اکسید کربن و دما در این مناطق در مقایسه با مناطق سرد یا گرم‌تر بیشتر خواهد بود. دلیل اصلی این

#### منابع مورد استفاده

- Aggarwal PK and Mall R, 2002. Climate change and rice yields in diverse agro-environments of India. II. Effect of uncertainties in scenarios and crop models on impact assessment. *Climatic Change*, 52, 331-343.
- Ainsworth EA and Long SP, 2005. What have we learned from 15 years of free-air CO<sub>2</sub> enrichment (FACE)? A meta-analytic review of the responses of photosynthesis, canopy properties and plant production to rising CO<sub>2</sub> *New Phytologist*, 165: 351-372.
- Donald C and Hamblin J. 1976. The biological yield and harvest index of cereals as agronomic and plant breeding criteria. *Advances in Agronomy*, 28: 361-405.
- Ghasemi Golozani K, Mohammadi S, Rahim Zadeh P and Moghadam M. 1997. Quantitative relationship between density and yield of three chickpea cultivars in different planting dates. *Journal of Plant Physiology and Breeding*, 7: 59-73. (In Persian).
- Hunt R. 1990. Basic growth analysis: plant growth analysis for beginners. Unwin Hyman, London
- Ifeanyi OC, Etuk U and Jike WO. 2012. Climate change, effects and adaptation strategies: Implication for agricultural extension system in Nigeria. *Greener Journal of Agricultural Sciences*, 2: 53-60.
- Izaurrealde RC, Rosenberg NJ, Brown RA and Thomson AM. 2003. Integrated assessment of Hadley Center (HadCM2) climate-change impacts on agricultural productivity and irrigation water supply in the conterminous United States: Part II. Regional agricultural production in 2030 and 2095. *Agricultural and Forest Meteorology*, 117: 97-122.
- Kapur P and Govil SR. 2004. *Experimental Plant Ecology*. CBS Publishers and Distributors, New Delhi.
- Keating BA, Carberry PS, Hammer GL, Probert ME, Robertson MJ, Holzworth D, Huth NI, Hargreaves JN, Meinke H and Hochman Z. 2003. An overview of APSIM, a model designed for farming systems simulation. *European Journal of Agronomy*, 18: 267-288.
- Koocheki A and Kmali GH. 2010. Climate change and the production of wheat in Iran. *Iranian Journal of Field Crops Research*, 8: 508-520.
- Koocheki A, Nassiri M and Sharifi HR. 2001. A simulation study for growth, phenology and yield of wheat cultivars under the doubled CO<sub>2</sub> concentration in Mashhad conditons. *Biaban*, 6: 117-127.
- Koocheki A and Nassiri M. 2009. impacts of climate change and co2 concentration on wheat yield in Iran and adaptation strategies. *Iranian Journal of Field Crops Research*, 6: 139-153. (In Persian).



- Krishnan P, Swain D, Bhaskar B.C, Nayak S and Dash R. 2007. Impact of elevated CO<sub>2</sub> and temperature on rice yield and methods of adaptation as evaluated by crop simulation studies. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 122: 233-242.
- Ludwig F and Asseng S. 2006. Climate change impacts on wheat production in a Mediterranean environment in Western Australia. *Agricultural Systems*, 90: 159-179.
- Luo Q, Bellotti W, Williams M and Bryan B. 2005. Potential impact of climate change on wheat yield in South Australia. *Agricultural and Forest Meteorology*, 132: 273-285.
- Mitchell TD. 2003. Pattern scaling: an examination of the accuracy of the technique for describing future climates. *Climatic Change*, 60: 217-242.
- Moradi R, Koocheki A and Nassiri Mahallati M. 2013. Effect of Climate Change on Maize Production and Shifting of Planting Date as Adaptation Strategy in Mashhad. *Journal of Agricultural Science And Sustainable Production*, 23: 111-130.
- Nakicenovic N and Swart R. 2000. Special report on emissions scenarios. *Special Report on Emissions Scenarios*, Edited by Nebojsa Nakicenovic and Robert Swart, pp. 612. ISBN 0521804930. Cambridge, UK: Cambridge University Press, July 2000. 1.
- Neild RE and Seeley MW. 1977. Growing degree days predictions for corn and sorghum development and some applications to crop production in Nebraska.
- Olesen JE, Trnka M, Kersebaum K, Skjelvåg A, Seguin B, Peltonen-Sainio P, Rossi F, Kozyra J and Micale F. 2011. Impacts and adaptation of European crop production systems to climate change. *European Journal of Agronomy*, 34: 96-112.
- Prasad P, Boote K, Allen L, Sheehy J and Thomas J. 2006. Species, ecotype and cultivar differences in spikelet fertility and harvest index of rice in response to high temperature stress. *Field Crops Research*, 95: 398-411.
- Prudhomme C, Wilby R, Crooks S, Kay A and Reynard N. 2010. Scenario-neutral approach to climate change impact studies: application to flood risk. *Journal of Hydrology*, 390: 198-209.
- Reidsma P, Ewert F, Lansink AO and Leemans R. 2010. Adaptation to climate change and climate variability in European agriculture: the importance of farm level responses. *European Journal of Agronomy*, 32, 91-102.
- Robredo A, Pérez-López U, de la Maza HS, González-Moro B, Lacuesta M, Mena-Petite A and Muñoz-Rueda A. 2007. Elevated CO<sub>2</sub> alleviates the impact of drought on barley improving water status by lowering stomatal conductance and delaying its effects on photosynthesis. *Environmental and Experimental Botany*, 59: 252-263.
- Russelle M, Wilhelm W, Olson R and Power JF. 1984. Growth analysis based on degree days. *Crop Science*, 24: 28-32.
- Seneweera, S., Aben, S., Basra, A., Jones, B. and Conroy, J. 2003. Involvement of ethylene in the morphological and developmental response of rice to elevated atmospheric CO<sub>2</sub> concentrations. *Plant Growth Regulation*, 39(2): 143-153.
- Singh AK, Tripathy R and Chopra UK. 2008. Evaluation of CERES-Wheat and CropSyst models for water-nitrogen interactions in wheat crop. *Agricultural Water Management*, 95: 776-786.
- Shoor M, Goldani M and Mondani F 2009. Effect of CO<sub>2</sub> enrichment on morphophysiological traits in *Taraxacum* spp, *Ageratum* spp and *Gaillardia* spp in greenhouse condition. *Journal of Agroecology*, 1: 101-108.
- Spiegel MR, 1968. *Mathematical handbook of formulas and tables*.
- Traoré S, Mason SC, Martin AR, Mortensen DA and Spotanski JJ. 2003. Velvetleaf interference effects on yield and growth of grain sorghum. *Agronomy Journal*, 95: 1602-1607.

- Valizadeh J, Ziaei S and Mazloumzadeh S. 2014. Assessing climate change impacts on wheat production (a case study). *Journal of the Saudi Society of Agricultural Sciences*, 13: 107-115.
- Wetterhall F, Bárdossy A, Chen D, Halldin S and Xu Cy. 2009. Statistical downscaling of daily precipitation over Sweden using GCM output. *Theoretical and Applied Climatology*, 96: 95-103.