



بررسی اثرات تغییر اقلیم بر نیاز آبی و طول دوره رشد گیاه نیشکر تحت سناریوهای واداشت تابشی

نوذر قهرمان^{۱*}، ایمان بابائیان^۲ سید محمدرضا طباطبایی^۳

* دانشیار؛ گروه مهندسی آبیاری و آبادانی؛ دانشگاه تهران؛ پردیس کشاورزی و منابع طبیعی؛ کرج؛ ایران
 نویسنده مسئول مکاتبات: negahreman@ut.ac.ir

۲ عضو هیئت علمی پژوهشکده اقلیم شناسی؛ مشهد؛ ایران

۳ دانش آموخته کارشناسی ارشد هواشناسی کشاورزی، دانشگاه تهران؛ پردیس کشاورزی و منابع طبیعی؛ کرج؛ ایران

تاریخ دریافت: ۱۳۹۴/۱۱/۱۴ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۵/۰۵/۰۴

چکیده

آب و امنیت غذایی چالش‌هایی جدی در مطالعات تغییر اقلیم هستند چرا که هر دو عامل، قویاً از این پدیده تأثیر می‌پذیرند. بر همین اساس، هدف از تحقیق حاضر بررسی اثرات تغییر اقلیم بر نیاز آبی و فصل رشد نیشکر بر اساس رویکرد جدید در گزارش IPCC-AR5 در استان خوزستان است. به این منظور داده‌های اقلیمی مشاهداتی روزانه ۴ ایستگاه استان خوزستان شامل اهواز، آبادان، بستان و دزفول برای تصحیح خروجی مدل‌های اقلیمی مورد استفاده قرار گرفتند. علاوه بر این داده‌ها، خروجی مدل اقلیم جهانی EC-EARTH که توسط مرکز هواشناسی و هیدرولوژی سوئد (SMHI) ریزمقیاس شده است، نیز تحت دو سناریو RCP4.5 و RCP8.5 مورد استفاده قرار گرفتند. نهایتاً بر اساس داده‌های تبخیر-تعرق پتانسیل، دمای میانگین، دمای کمینه، دمای بیشینه، میزان تغییرات طول دوره رشد، بارش و تبخیر/تعرق گیاه در طول فصل رشد گیاه نیشکر، تحت دو سناریوی فوق محاسبه گردید. نتایج حاصل نشان داد به جز در ایستگاه دزفول، بارش فصل رشد گیاه نیشکر، نسبت به میانگین اقلیمی، افزایش می‌یابد. به گونه‌ای که این افزایش به ۳۵٪ نیز خواهد رسید. همچنین طول دوره رشد در سناریو RCP8.5 به شکل معنی‌داری برای تمامی ایستگاه‌ها کاهش نشان می‌داد، اما تغییرات تبخیر-تعرق گیاه در طول دوره رشد معنی دار نبوده و کمتر از ۵٪ است.

کلیدواژه‌ها: خوزستان؛ سناریوهای RCP؛ نیشکر، مدل اقلیمی

مقدمه

هوشمند اقلیم محور^۱، سعی در هماهنگ کردن مطالعات در زمینه سازگاری کشاورزی با پدیده تغییر اقلیم نمود. گام نخست در این قبیل مطالعات انتخاب مدل‌های اقلیمی مناسب منطقه از میان مجموعه مدل‌های پیشنهادی هیات بین الدول تغییر اقلیم (IPCC)، جهت اخذ داده‌های اقلیمی تحت سناریوهای منتخب است. در این خصوص مطالعات محدودی در ایران انجام شده است (طباطبایی و همکاران ۱۳۹۴-الف، Ghahreman et al., 2015). در

محسوس شدن آثار تغییر اقلیم در زندگی روزمره جوامع در نقاط مختلف دنیا، باعث افزایش توجه عمومی به مسئله تغییر اقلیم گردیده است. بر همین اساس، به منظور سازگاری با این پدیده، جوامع علمی اقدام به ارائه راهکارهایی در زمینه‌های گوناگون از جمله کشاورزی کرده‌اند. در این بین سازمان خواربار و کشاورزی ملل متحد (FAO) در سال ۲۰۱۰ با ارائه طرح کشاورزی

1. Climate Smart Agriculture (CSA)

درجه‌سانتی‌گراد افزایش دما و حدود ۰.۷٪ کاهش در عملکرد بوده است.

در مطالعه ای مروری، برزیل، هند، چین، تایلند، پاکستان، مکزیک، کلمبیا، اندونزی، فیلیپین و ایالات متحده آمریکا به عنوان ده کشور برتر تولیدکننده نیشکر معرفی و چالش‌های پیش‌روی در کشت این گیاه در مواجهه با پدیده تغییر اقلیم بررسی شده است (Zhao and Li, 2015).

در این مطالعه، به طور کلی افزایش عملکرد گیاه نیشکر تحت پدیده تغییر اقلیم مشاهده می‌شود، اما عواملی همچون پراکندگی شدید دما و بارش، ظرفیت پایین سازگاری با شرایط وقایع حدی اقلیمی و بلایای طبیعی و نیز عدم دسترسی به سامانه های قوی پیش‌بینی، خصوصاً در کشورهای در حال توسعه به عنوان عوامل نوسانات گسترده عملکرد نیشکر در این دسته کشورها از سالی به سال دیگر ذکر شده است. در مطالعه دیگر که توسط Araya و همکاران (۲۰۱۵) صورت پذیرفت، تغییرات عملکرد گیاه ذرت تحت دو سناریو RCP4.5 و RCP8.5 در منطقه اتیوپی بررسی شد. در مطالعه این محققین که بر روی ۲۰ مدل اقلیم جهانی صورت گرفت، تغییرات میزان عملکرد ذرت در سه بازه زمانی ۲۰۳۹ - ۲۰۱۰، ۲۰۶۹ - ۲۰۴۰ و ۲۰۹۹ - ۲۰۷۰ بررسی شد. نتایج حاصل از کار این محققین، نشان دهنده عدم قطعیت در برآورد عملکرد گیاه ذرت بود، که به طور کلی عملکرد در دو بازه زمانی اولیه افزایش، و نهایتاً در ۳۰ سال پایانی قرن کاهش داشت، به گونه‌ای که مجموعه مدل‌ها و سناریوهای تغییر اقلیمی مورد مطالعه، بازه ۶.۳٪ کاهش تا ۴٪ افزایش عملکرد ذرت را برای سال‌های ۲۰۹۹ - ۲۰۷۰ برآورد کرده بودند. در تحقیقی دیگر عملکرد نیشکر توسط مدل CENTURY 4.5 با استفاده از خروجی‌های مدل HadCM3 که توسط مدل منطقه‌ای ETA/CPTEC ریزمقیاس شده بود، شبیه سازی شد. نتایج نشان داد که میزان تبخیر تعرق گیاه نیشکر در منطقه شمال شرقی برزیل در آینده نزدیک مابین سال‌های ۲۰۴۰ - ۲۰۱۴، به دلیل کاهش بارندگی، و نیز افزایش دمای کمینه و بیشینه

این مطالعات عدم قطعیت مجموعه ای از گروه مدل‌های پروژه CMIP5 که در گزارش پنجم مورد استناد بوده است در ارائه چشم انداز بارش و دمای ایران تا پایان قرن ۲۱ مورد ارزیابی قرار گرفت. مدل‌های $CSMI.1(m)$, $MPI-ESM-MR$, $PI-ESM-LR$, $BCC-ESM-MR$, $CESM1(BGC)$ به ترتیب بهترین مدل‌ها جهت پیش‌بینی بارش و مدل‌های $CSMI.1(m)$, $MPI-ESM-MR$, $PI-ESM-LR$, $BCC-ESM-MR$ ، مدلهای ارجح برای کمیت دما پیشنهاد شد. در پژوهشی دیگر نشان داده شد بیشترین افزایش مقدار تبخیر تعرق پتانسیل طی دوره آینده (۲۰۲۱ تا ۲۰۷۰) در دشت مشهد در ماه ژانویه تحت دو سناریوی RCP4.5 و RCP8.5 به ترتیب با ۱۵/۴٪ و ۱۶/۴٪ افزایش نسبت به دوره پایه ۱۹۹۱-۲۰۰۵ و نیز بیشترین مقدار کاهش در ماه اکتبر با ۱۲/۵٪ و ۱۰/۰٪ کاهش نسبت به دوره پایه می‌باشد (طباطبایی و همکاران ۱۳۹۴، ب).

گام دوم مطالعات، بررسی تاثیر تغییر اقلیم بر طول فصل رشد و متغیرهای اقلیمی موثر است. Mueller و همکاران (۲۰۱۵) با مطالعه تغییرات سالانه طول فصل رشد گندم و ذرت در مناطق مختلف دنیا، نشان دادند مناطق مستعد کشت این گیاهان با توجه به دو شرط حداقل ۱۵۰ روز طول فصل کشت و نیز دمای پایه ۵ درجه سانتی‌گراد رو به افزایش است. علاوه بر این با توجه به اینکه طول فصل رشد در نقاط مختلف دنیا برای دو گیاه افزایش می‌یابد، می‌توان در برخی نقاط دنیا دو گیاه را در هر سال زراعی، به صورت متوالی کشت نمود. این در حالی است که در بعضی مناطق، علیرغم افزایش طول فصل، افزایش دمای ماههای گرم، عملاً امکان کشت متوالی را منتفی می‌سازد. همچنین در مطالعه دیگری، که بر روی دو گیاه ذرت در منطقه غرب آمریکا، و گندم در استرالیا صورت گرفت، خروجی‌های ریزمقیاس شده مدل‌های اقلیم جهانی پروژه CMIP5 تحت دو سناریو RCP4.5 و RCP8.5، استفاده شدند (Ummenhofer et al 2015). نتایج حاصل از این تحقیق نشان داد عملکرد ذرت در غرب آمریکا ۱۵٪ کاهش می‌یابد. نتایج این مطالعه برای گیاه گندم در منطقه استرالیا نشان دهنده ۴/۵ - ۲/۸

اقلیم در هند انجام دادند نتایج حاصل کاهش سود اقتصادی حاصل از کشت نیشکر با توجه به افزایش دما و تغییر الگوی بارش در هند را نشان می‌داد. نهایتاً، در مطالعه ای موردی، امکان‌پذیری کشت گیاه نیشکر در خوزستان بر اساس تغییرات محتمل در میزان بارش سالانه تحت سناریوهای واداشت تابشی بررسی گردید. (Ghahreman and Tabatabaei, 2015) نتایج حاصل از تحقیق نشان داد که میزان بارش دوره رشد در پنج دهه آتی از ۲۰۷۰ - ۲۰۲۱ نسبت به بارش متوسط فعلی منطقه در دوره پایه ۲۰۰۵ - ۱۹۹۱ تحت هر دو سناریو RCP4.5 و RCP8.5 تغییر چندانی نخواهد داشت.

بر همین اساس با توجه به اهمیت بررسی تاثیرات تغییر اقلیم بر تولیدات کشاورزی و محدودیت تحقیقات انجام شده با استفاده از سناریوهای جدید در ایران، مطالعه حاضر بر آن است تا تغییرات سه متغیر طول دوره رشد، بارش در طول دوره رشد جدید، و نیز مجموع تبخیر تعرق گیاه نیشکر، تحت دو سناریو تغییر اقلیمی واداشت تابشی RCP4.5 و RCP8.5 را در منطقه خوزستان بررسی نماید.

مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه

منطقه مورد مطالعه در تحقیق حاضر، شامل چهار شهرستان استان خوزستان می‌باشد. استان خوزستان در محدوده ۴۷ درجه و ۴۲ دقیقه تا ۵۰ درجه و ۳۹ دقیقه طول شرقی از نصف‌النهار گرینویچ و ۲۹ درجه و ۵۸ دقیقه تا ۳۲ درجه و ۵۸ دقیقه شمالی از خط استوا قرار دارد. به منظور انجام مطالعات، از داده‌های چهار ایستگاه همدیدی در سطح استان خوزستان استفاده گردید. معیار انتخاب این ایستگاه‌ها داشتن حداقل ۲۰ سال همپوشانی با دوره تاریخی مدل اقلیم جهانی EC-EARTH بوده است. لذا ایستگاه‌هایی که سال تأسیس آن‌ها ۱۹۸۶ و ما قبل آن می‌باشد، به عنوان ایستگاه‌های مورد مطالعه انتخاب شده‌اند، که از این رو تعداد سال‌هایی که هر یک از ایستگاه‌ها از قبل از سال ۱۹۸۶

نسبت به میانگین بلند مدت اقلیمی (۱۹۹۰ - ۱۹۶۱)، افزایش خواهد یافت. از این رو با سخت‌تر شدن شرایط رشد این گیاه، عملکرد آن نیز در این منطقه کاهش خواهد یافت (De Carvalho et al., 2015). در مقابل، Gouvêa و همکاران (۲۰۰۹) با کاربست سناریو A1B، و مدل آگرو اکولوژیکی فانو (Doorenbos and FAO, 2002) Kassam; 1994، نشان دادند توان تولیدی نیشکر در منطقه جنوبی برزیل افزایش می‌یابد. بر طبق این مطالعه، میزان افزایش برای سه سال ۲۰۲۰، ۲۰۵۰ و ۲۰۸۰، به ترتیب ۱۵، ۳۳ و ۴۷٪ خواهد بود. نتایج تحقیقات Marin و همکاران (۲۰۱۳) با استفاده از مدل نیشکر DSAAT-Canegro نشان‌دهنده افزایش عملکرد نیشکر در جنوب برزیل بود. در این مطالعه که با استفاده از دو مدل PRECIS و CSIRO و تحت دو سناریو A2 و B2 صورت گرفت، علاوه بر بررسی عملکرد نیشکر، راندمان مصرف آب آبیاری این گیاه نیز بررسی شد و نتایج نشانگر افزایش عملکرد نیشکر تحت پدیده تغییر اقلیم بوده است. همچنین مطالعه Jones و همکاران (۲۰۱۴) بر روی تغییرات عملکرد گیاه نیشکر با استفاده از مدل شبیه سازی نیشکر DSAAT-Canegro در آفریقای جنوبی تحت پدیده تغییر اقلیم، افزایش عملکرد این گیاه با فرض بروز سناریو A2 در دوره ۲۱۰۰ - ۲۰۷۰ نسبت به دوره پایه ۲۰۱۰ - ۱۹۸۰ را نشان می‌دهد. Deressa و همکاران (۲۰۰۵) در مطالعه خود در زمینه جنبه‌های اقتصادی کشت دیم و فاریاب نیشکر در آفریقای جنوبی با فرض دو برابر شدن غلظت CO₂ جو، افزایش ۲ درجه سانتی‌گرادی دمای هوا، و افزایش ۷٪ بارش و بهره‌گیری از یک رهیافت اقتصاد سنجی موسوم به ریکاردیان نشان دادند که طی پدیده تغییر اقلیم درآمد حاصل از کشت نیشکر کاهش خواهد یافت و این کاهش برای هر دو حالت کشت آبی (۲۶٪) و دیم (۲۷٪) و اختلاف چندانی ندارد.

Sharma و Kumar (2014). مطالعه مشابهی با هدف بررسی جنبه‌های اقتصادی کشت نیشکر تحت پدیده تغییر

تا سال ۲۰۰۵ داده داشتند، به عنوان دوره پایه برای ایستگاه انتخاب شد. بر همین اساس اطلاعات جغرافیایی و اقلیمی چهار ایستگاه آبادان، اهواز، بستان

جدول ۱. طول جغرافیایی، عرض جغرافیایی، ارتفاع و اقلیم ایستگاه های مورد مطالعه

ایستگاه	طول جغرافیایی (درجه)	عرض جغرافیایی (درجه)	ارتفاع (متر)	میانگین بلند مدت دما	میانگین بلند مدت بارش	اقلیم
آبادان	۴۸/۲۵	۳۰/۳۷	۶/۶	۲۶	۱۷۲.۷	فراخشک گرم
اهواز	۴۸/۶۷	۳۱/۳۳	۲۲/۵	۲۵.۸	۲۴۲.۶	خشک گرم
بستان	۴۸/۰۰	۳۱/۷۲	۷/۸	۲۴.۹	۲۰۳.۸	خشک گرم
دزفول	۴۸/۳۸	۳۲/۴۰	۱۴۳	۲۴.۸	۳۳۸.۴	نیمه خشک گرم

گیاه مورد مطالعه

کشت این گیاه شناخته می شود. (آمارنامه زراعی ۹۲ - ۱۳۹۱، ۱۳۹۴) دشت های وسیع، منابع آب نسبتاً کافی ف و نیز اقلیم گرم و خشک منطقه باعث کشت گسترده این گیاه در خوزستان شده است. جدول ۲ نشان دهنده تاریخ کشت، درجه روز رشد، دمای پایه و حداکثر و نیز سه تاریخ کشت انتخاب شده به جهت بررسی در این مطالعه می باشد (Teruel et al., 1999, Keating et al., 1997).

گیاه نیشکر به عنوان منبع اصلی تولید محصولات قندی، گیاه مورد مطالعه در تحقیق حاضر می باشد. نیشکر گیاهی بلند از تیره غلات و بومی مناطق معتدل گرم تا مناطق حاره می باشد. از جمله کاربردهای دیگر آن در صنعت کاغذسازی و تولید محصولات جانبی نظیر باگاس، فورفورال، ملاس، گل صفی، و موم شکر می باشد (شوشتری و همکاران، ۱۳۸۷). استان خوزستان با تولید بیش از ۹۵٪ نیشکر کشور به عنوان اصلی ترین منبع

جدول ۲. تاریخ کشت، GDD رشد، دمای پایه و حداکثر، و تاریخ کشت انتخابی گیاه نیشکر

تاریخ کاشت	GDD رشد	دمای پایه	دمای حداکثر	تاریخ کاشت انتخابی (JD)
۲۵ شهریور تا ۲۰ مهر	۱۳۰۰	۱۲	۳۵	۲۶۰ - ۲۷۰

تصحیح انحراف معیار بدین صورت است که با محاسبه انحراف معیار کمیت مورد مطالعه برای سه دسته داده: داده های مشاهده شده دوره پایه، داده های برآورد شده دوره پایه، و داده های برآورد شده تحت سناریوهای تغییر اقلیم برای دوره آینده، طبق رابطه ذیل داده های تولید شده برای آینده اقلیمی منطقه تصحیح می شوند:

$$STD_{fut} = \frac{STD_{base}^{obs}}{STD_{base}^{GCM}} \times STD_{fut}^{GCM} \quad (1)$$

که در رابطه بالا STD_{fit} بیانگر انحراف معیار داده های

روش ها

تصحیح داده های مدل اقلیمی

روش تصحیح داده های برآورد شده توسط مدل اقلیمی تحت دو سناریو مورد مطالعه، روش ضریب تصحیح انحراف معیار می باشد. این روش که به عنوان روش پایه برای تصحیح داده ها در نرم افزار LARS-WG نیز مورد استفاده قرار گرفته است، با محاسبه ضرایب تصحیح میانگین و انحراف معیار دوره پایه، برآوردهای دوره آینده تحت سناریوهای تغییر اقلیم را تصحیح می نماید. روش

1 . Growing Degree Days (GDD)

پنمن مانیتث، به صورت ذیل می‌باشد:

$$PET = - \frac{0.408\Delta(R_{net}-G) + \gamma \frac{900}{T_{2m}} U_{2m}(e_s - e_a)}{\Delta + \gamma(1 + 0.34U_{2m})} \quad (3)$$

که در رابطه فوق، PET تبخیر تعرق پتانسیل بر حسب میلی‌متر بر روز (mm day^{-1})، R_{net} تابش خالص سطح، بر حسب مگاژول بر متر مربع بر روز ($\text{MJ m}^{-2} \text{day}^{-1}$)، G شار گرمایی خاک بر حسب مگاژول بر متر مربع بر روز ($\text{MJ m}^{-2} \text{day}^{-1}$)، T_{2m} دمای هوا در ارتفاع دو متری بر حسب درجه سانتی‌گراد، U_{2m} سرعت باد در ارتفاع دو متری بر حسب متر بر ثانیه (m s^{-1})، e_a و e_s به ترتیب فشار بخار استاندارد و واقعی بر حسب کیلو پاسکال (kPa)، Δ نشان دهنده شیب منحنی فشار بخار آب بر حسب کیلوپاسکال بر درجه سانتی‌گراد، و γ معرف ضریب سایکرومتری (یا ضریب رطوبتی) بر حسب کیلوپاسکال بر درجه سانتی‌گراد می‌باشد. (Allen et al., 2006؛ علیزاده، ۱۳۸۹)

محاسبه درجه روز رشد

درجه روز رشد گیاه (GDD) در این مطالعه با توجه به دمای پایه و دمای حداکثر گیاهان مورد مطالعه و بر اساس روابط ذیل محاسبه گردید.

$$T_{avg} = (T_{min} + T_{max})/2 \quad (4)$$

$$\sum(\text{daily GDD}) = 0 \text{ when } T_{avg} \leq T_{base} \quad (5)$$

$$\sum(\text{daily GDD}) = \sum(T_{avg} - T_{base}) \quad (6)$$

when $T_{base} < T_{avg} < T_{up}$

$$\sum(\text{daily GDD}) = \sum(T_{up} - T_{base}) \quad (7)$$

when $T_{avg} \geq T_{up}$

که در روابط بالا به ترتیب T_{up} ، T_{base} ، T_{max} ، T_{min} ، T_{avg} نشان دهنده دمای میانگین، دمای کمینه، دمای بیشینه، دمای پایه و دمای حداکثر رشد گیاه می‌باشند. (Hur 2014 and Ahn, 1380)

ضریب گیاهی (K_c)

به منظور برآورد میزان تغییرات تبخیر تعرق گیاهان مورد مطالعه، از ضریب گیاهی منفرد، برای تبدیل تبخیر تعرق پتانسیل به تبخیر تعرق گیاه استفاده شد. ضریب گیاهی مورد استفاده در تحقیق حاضر بر اساس میانگین‌گیری از ضریب گیاهی ارائه شده در نشریه FAO56 محاسبه شده

اقلیمی آینده، STD_{base}^{obs} انحراف معیار داده‌های مشاهده شده در دوره پایه، STD_{base}^{GCM} انحراف معیار داده‌های خروجی مدل برای دوره پایه، و STD_{fit}^{GCM} معرف انحراف معیار داده‌های برآورد شده توسط مدل برای دوره آینده می‌باشد (بابائیان و همکاران، ۱۳۸۸).

همچنین با توجه به اینکه داده‌های مورد مطالعه تشکیل یک سری زمانی را می‌دادند، به منظور تصحیح میانگین داده‌های برآورد شده مدل از روش مشابه برای تصحیح میانگین داده‌های برآورد شده برای دوره اقلیمی آینده استفاده گردید (de Carvalho et al, 2015). رابطه استفاده شده برای تصحیح میانگین‌ها عبارت است از:

$$Mean_{fut} = \frac{Mean_{base}^{obs}}{Mean_{base}^{GCM}} \times Mean_{fit}^{GCM} \quad (2)$$

که در رابطه بالا نیز $Mean_{fit}$ میانگین داده‌های اقلیمی آینده، $Mean_{base}^{obs}$ میانگین داده‌های مشاهده شده در دوره پایه، $Mean_{base}^{GCM}$ میانگین داده‌های خروجی مدل برای دوره پایه، و $Mean_{fit}^{GCM}$ نیز معرف میانگین داده‌های برآورد شده توسط مدل برای دوره آینده می‌باشد. با توجه به اینکه داده‌های برداشت شده دوره پایه در سطح ایستگاه در مقیاس زمانی روزانه تهیه شده بودند، ابتدا داده‌های بارش و تبخیر تعرق به صورت مجموع سالانه و داده‌های دما به صورت میانگین سالانه برای دوره پایه تبدیل شده، و پس از بدست آمدن ضریب تبدیل مناسب برای هر منطقه، تصحیح داده‌های مدل برای دوره آینده صورت گرفت.

محاسبه تبخیر تعرق پتانسیل

با توجه به اینکه برآوردهای تبخیر تعرق مورد استفاده در مطالعه برای دوره آینده، مستقیماً از خروجی مدل اقلیمی بدست آمده‌اند و روش محاسبه تبخیر تعرق پتانسیل در مدل مورد استفاده روش فائو پنمن مانیتث می‌باشد، لذا برای دوره پایه نیز با استفاده از داده‌های اقلیمی ایستگاه‌ها، و با استفاده از روش فائو پنمن مانیتث، مقدار تبخیر تعرق پتانسیل محاسبه و برای تصحیح برآوردهای مدل اقلیمی مورد استفاده قرار گرفت.

رابطه محاسبه تبخیر تعرق پتانسیل بر اساس روش فائو

است. جدول ۳ نمایش دهنده مقدار ضریب گیاهی، برای گیاهان مورد مطالعه می‌باشد. (Allen et al., ۲۰۰۶)؛

جدول ۳. طول دوره‌های مختلف رشد و ضریب گیاهی مربوط به هر دوره گیاه نیشکر

گیاه	دوره	طول دوره	Kc دوره	Kc میانگین
	ابتدایی	۹۵	۰/۴۰	
نیشکر	میانی	۱۳۵	۱/۲۵	۰/۸۷
	پایانی	۵۰	۰/۷۵	

سال‌های ۲۰۰۶ تا ۲۰۱۵، و ۱۰ سال انتهایی دوره پیش بینی یعنی سال‌های ۲۰۹۱ تا ۲۱۰۰ محاسبه گردید. پس از آن نسبت میانگین‌ها در دوره آینده به دوره ابتدایی طبق رابطه ذیل محاسبه و به صورت درصد ارائه گردید:

$$\text{Percent of Change} = \frac{\text{Avg}_{2091-2100} - \text{Avg}_{2006-2015}}{\text{Avg}_{2006-2015}} \times 100 \quad (۸)$$

که در رابطه بالا $\text{Avg}_{2091-2100}$ میانگین کمیت مورد نظر در دوره ۲۱۰۰ - ۲۰۹۱ و $\text{Avg}_{2006-2015}$ میانگین همان کمیت در دوره ۲۰۱۵ - ۲۰۰۶ می‌باشد. نمودارهای حاصل از این قسمت در شکل ۱ ارائه شده است.

نتایج و بحث

برای نتیجه گیری از خروجی مدل‌ها، هر یک از سه پارامتر مورد مطالعه، یعنی میزان بارش سالانه، میزان تبخیر تعرق گیاه در طول فصل رشد، و تعداد روزهای مورد نیاز برای تکمیل GDD، محاسبه و نمودارهای هر یک ترسیم شده، و نهایتاً برای مقایسه تغییرات هر یک از این پارامترها، نسبت میانگین ۱۰ سال اول دوره پیش بینی پارامتر یعنی سال‌های ۲۰۱۵ - ۲۰۰۶، به میانگین ۱۰ سال انتهایی دوره پیش بینی یعنی سال‌های ۲۱۰۰ - ۲۰۹۱ محاسبه گردیدند.

نتایج حاصل از این بخش در جدول شماره ۴ و شکل شماره ۱ ارائه شده است.

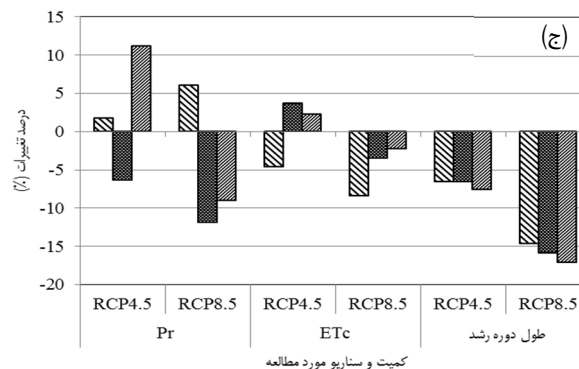
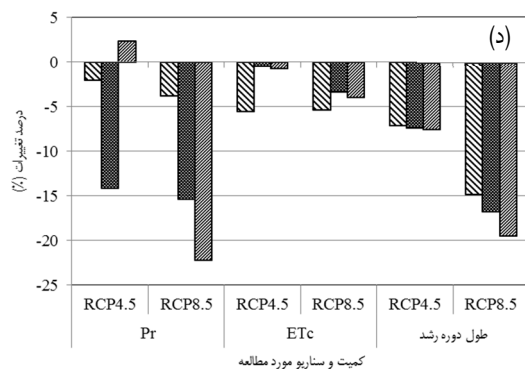
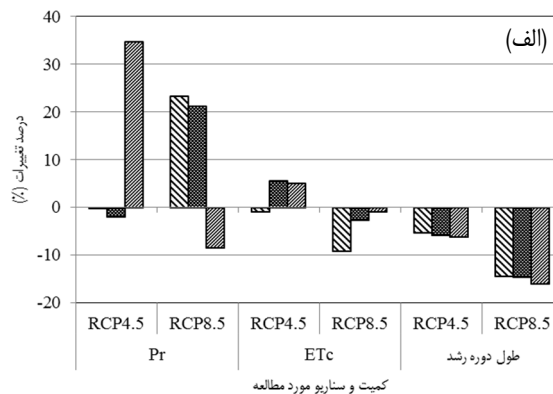
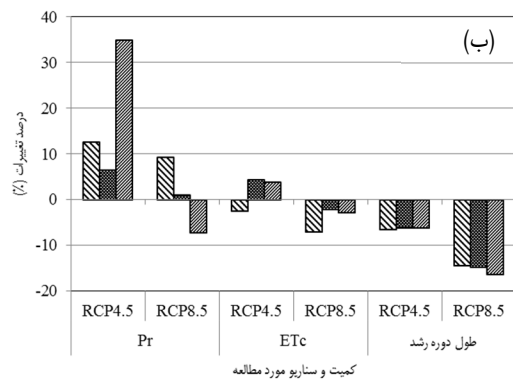
نهایتاً پس از محاسبه کمیت‌های بالا، در اولین گام داده‌های بارش، دمای کمینه، دمای بیشینه، دمای میانگین، و تبخیر تعرق خروجی مدل برای دوره پایه، که مربوط به سال‌های قبل از ۲۰۰۵ میلادی می‌شود، با استفاده از داده‌های سطح ایستگاه تصحیح شده، و بر اساس آن داده‌های برآورد شده تحت دو سناریو RCP4.5 و RCP8.5 نیز تصحیح گردیدند.

پس از تصحیح داده‌ها، بر اساس تاریخ کاشت‌های انتخابی، درجه روز رشد هر گیاه محاسبه شده و به صورت تعداد روز مورد نیاز برای تکمیل دوره رشد محاسبه و تعیین شد. این نمودارها (شکل ۱). نمودارهای طول دوره رشد، دسته اول خروجی‌های مطالعه حاضر را تشکیل می‌دهند. بر اساس این تعداد روزها، مقدار تبخیر تعرق گیاه، و نیز مقدار بارش در این دوره محاسبه شده که این دو دسته نمودار نیز به عنوان دیگر خروجی‌های این مطالعه ارائه شده‌اند.

مجموعه نمودارهای فوق شامل ۴ دسته برای ۴ شهر مورد مطالعه می‌شوند، که به منظور تجزیه و تحلیل نتایج حاصل از این مطالعه، میانگین هر یک از سه کمیت طول دوره رشد، بارش دوره رشد و تبخیر تعرق گیاه در طول دوره رشد، برای ۱۰ سال اول دوره پیش بینی یعنی

جدول ۴. درصد تغییرات هر یک از کمیت‌های مورد مطالعه، برای شهرهای مورد مطالعه

شهر	تاریخ کاشت انتخابی	بارش (%)		تبخیر تعرق گیاه (%)		طول دوره کشت (%)	
		RCP4.5	RCP8.5	RCP4.5	RCP8.5	RCP4.5	RCP8.5
آبادان	۱۶ شهریور	۰	۲۳	-۱	-۹	-۵	-۱۴
	۲۶ شهریور	-۲	۲۱	۶	-۳	-۶	-۱۵
	۵ مهر	۳۵	-۹	۵	-۱	-۶	-۱۶
اهواز	۱۶ شهریور	۱۳	۹	-۲	-۷	-۶	-۱۴
	۲۶ شهریور	۶	۱	۴	-۲	-۶	-۱۵
	۵ مهر	۳۵	-۷	۴	-۳	-۶	-۱۶
بستان	۱۶ شهریور	۲	۶	-۵	-۸	-۷	-۱۵
	۲۶ شهریور	-۶	-۱۲	۴	-۳	-۷	-۱۶
	۵ مهر	۱۱	-۹	۲	-۲	-۸	-۱۷
دزفول	۱۶ شهریور	-۲	-۴	-۶	-۵	-۷	-۱۵
	۲۶ شهریور	-۱۴	-۱۵	۰	-۳	-۷	-۱۷
	۵ مهر	۲	-۲۲	-۱	-۴	-۸	-۲۰



شکل ۱. نمودار درصد تغییرات هر یک از سه کمیت مورد مطالعه برای گیاه نیشکر در دهه ۲۱۰۰ - ۲۰۹۱ نسبت به دهه ۲۰۱۵ - ۲۰۰۶ در منطقه:

(الف) آبادان؛ (ب) اهواز؛ (ج) بستان؛ و (د) دزفول برای تاریخ کشت‌های ۱۶ شهریور (▨)، ۲۶ شهریور (■) و ۵ مهر (▩)

کشت، تأثیر چندانی بر روی کاهش طول دوره رشد گیاه نخواهد داشت.

در رابطه با گیاه نیشکر کشت شده در منطقه بستان نیز شرایط همانند کشت این گیاه در منطقه اهواز می‌باشد، به گونه‌ای که شرایط کشت این گیاه در قرن حاضر تغییر چندانی از خود نشان نمی‌دهد جز آنکه طول دوره رشد برای این گیاه کاهش خواهد یافت و همانطور که انتظار می‌رود کاهش طول دوره رشد در سناریو RCP8.5 بیش از سناریو RCP4.5 خواهد بود.

همچنین در رابطه با کشت نیشکر در منطقه دزفول، بر اساس سناریو RCP8.5 مشاهده می‌شود که با تغییر تاریخ کشت از روز ۱۶ شهریور به روز ۵ مهر طول دوره رشد کاهش می‌یابد، به گونه‌ای که کاشت نیشکر در ۵ مهر باعث ۲۰٪ کاهش در طول دوره رشد این گیاه نسبت به زمان حاضر خواهد یافت.

به منظور انجام مقایسه‌های آماری بین خروجی‌های مطالعه آزمون t دو دامنه بین دو مقدار میانگین در بازه ۲۰۰۶ تا ۲۰۱۵ نسبت به دوره ۲۰۹۱ تا ۲۱۰۰ گرفته شد و نهایتاً نتایج این آزمون در جدول ۵ ارائه شده است. اعداد جدول نشان‌دهنده مقادیر p-value هستند.

جدول ۵. نتایج حاصل از آزمون t برای مقایسه نتایج مطالعه در دو بازه ۲۰۹۱ - ۲۱۰۰ و ۲۰۱۵ - ۲۰۰۶

شهر	تاریخ کاشت انتخابی	بارش		تبخیر تعرق گیاه		طول دوره رشد	
		RCP4.5	RCP8.5	RCP4.5	RCP8.5	RCP4.5	RCP8.5
آبادان	۱۶ شهریور	۰/۹۴۹	۰/۵۵۱	۰/۸۴۲	۰/۰۲۸*	۰/۰۰۱*	۰/۰۰۰*
	۲۶ شهریور	۰/۷۱۵	۰/۵۴۴	۰/۳۶۲	۰/۵۹۹	۰/۰۰۴*	۰/۰۰۰*
	۵ مهر	۰/۳۴۱	۰/۴۲۲	۰/۴۳۷	۰/۸۰۷	۰/۰۰۴*	۰/۰۰۰*
اهواز	۱۶ شهریور	۰/۱۵۱	۰/۶۹۲	۰/۴۳۹	۰/۰۳۷*	۰/۰۰۰*	۰/۰۰۰*
	۲۶ شهریور	۰/۵۶۶	۰/۹۶۰	۰/۳۵۸	۰/۵۹۶	۰/۰۰۲*	۰/۰۰۰*
	۵ مهر	۰/۲۵۷	۰/۶۱۱	۰/۴۲۸	۰/۳۹۲	۰/۰۰۱*	۰/۰۰۰*
بستان	۱۶ شهریور	۰/۸۷۳	۰/۵۴۳	۰/۱۹۲	۰/۰۱۶*	۰/۰۰۰*	۰/۰۰۰*
	۲۶ شهریور	۰/۵۷۲	۰/۴۴۹	۰/۴۵۲	۰/۳۵۱	۰/۰۰۳*	۰/۰۰۰*
	۵ مهر	۰/۷۱۹	۰/۶۱۴	۰/۶۸۳	۰/۵۰۸	۰/۰۰۱*	۰/۰۰۰*
دزفول	۱۶ شهریور	۰/۵۶۴	۰/۷۴۹	۰/۰۳۱*	۰/۰۱۰*	۰/۰۰۰*	۰/۰۰۰*
	۲۶ شهریور	۰/۱۸۱	۰/۲۳۸	۰/۸۶۵	۰/۲۱۴	۰/۰۰۱*	۰/۰۰۰*
	۵ مهر	۰/۹۰۲	۰/۰۷۶	۰/۸۵۲	۰/۲۸۴	۰/۰۰۰*	۰/۰۰۰*

(* نشان دهنده معنی‌داری و یا عدم معنی‌داری آزمون در سطح معنی‌داری ۵٪ می‌باشد).

شکل ۱ (الف) نشان دهنده تغییرات کمیت‌های مورد مطالعه برای گیاه نیشکر در منطقه آبادان است، بیانگر تغییرات قابل توجه مقادیر بارش در هر دو سناریو است، که در سناریو RCP4.5 افزایش مقدار بارندگی برای تاریخ کاشت روز ۵ مهر رخ می‌دهد، حال آنکه این موضوع تحت سناریو RCP8.5 در تاریخ کاشت‌های ۱۶ و ۲۶ شهریور ماه مشهود است، در حالی که تبخیر تعرق این گیاه نسبت به تبخیر تعرق فعلی تغییر چندانی نداشته و همچنین طول دوره رشد گیاه در سناریو RCP8.5 کاهش محسوسی تا حدود ۱۵٪ نسبت به زمان فعلی از خود نشان می‌دهد.

با توجه به شکل ۱ (ب) بر اساس هر دو سناریو تغییر اقلیمی، مقدار بارش در انتهای قرن بیست و یکم در دشت اهواز نسبت به مقدار میانگین اقلیمی این کمیت افزایش خواهد یافت، اما تبخیر تعرق گیاه تقریباً ثابت می‌ماند. با مقایسه تاریخ‌های مختلف کشت این گیاه، بهترین تاریخ کشت روز ۱۶ شهریور است چرا که در این تاریخ علاوه بر بالاترین میزان کاهش تبخیر تعرق، بارش نیز تقریباً در هر دو سناریو بیش‌ترین افزایش را نشان می‌دهد. مقایسه طول دوره رشد گیاه نیز تحت هر دو سناریو کاهش نشان می‌دهد که با توجه به شکل ۱ (ب)، جابجایی تاریخ

طول دوره رشد گیاه نشده است. هرچند که نتایج این تحقیقات نیز با اکثر مطالعات دیگر از جمله مطالعه حاضر موافق است، اما باید تأثیر افزایش دما بر روی تغییر طول دوره رشد گیاه نیز در مطالعات لحاظ شود. این موضوع در مورد مطالعه Deressa و همکاران (۲۰۰۵)، و مطالعه Kumar و Sharma (۲۰۱۴) که صرفاً به بررسی جنبه‌های اقتصادی کشت نیشکر در ارتباط با تغییر اقلیم و فقط بر پایه روابط اقتصادی پرداخته‌اند نیز صادق می‌باشد.

نتیجه‌گیری

در این مطالعه تغییرات طول دوره رشد، و به تبع آن تغییرات بارش و تبخیر تعرق گیاه نیشکر در دوره رشد جدید، حاصل از تغییرات دما و بارش تحت پدیده تغییر اقلیم بررسی شده است. نتیجه حاصل از آن اینکه در منطقه جنوب غربی کشور، در سه شهر آبادان، اهواز و بستان، با توجه به افزایش بارش در طول دوره رشد جدید نیشکر، و کاهش متقابل تبخیر تعرق گیاه در این بازه، شرایط کشت این گیاه بهبود خواهد یافت و یا با توجه به اختلاف اندک تغییرات بارش و تبخیر تعرق نیشکر نسبت به یکدیگر، شرایط کشت گیاه همچنان برای کشت این گیاه در این سه شهر مساعد خواهد بود، اما با توجه به کاهش قابل توجه بارش در منطقه دزفول کشت این گیاه در این منطقه توصیه نمی‌شود. تأثیر معنی دار دما بر نمو گیاه که در مطالعات دیگر هم تأیید شده است، نتایج مطالعه حاضر نیز نشانگر کاهش طول فصل رشد بر اثر افزایش دما می‌باشد. در این مطالعه به دلیل در دسترس نبودن داده‌های عملکرد، تغییرات این کمیت تحت پدیده تغییر اقلیم بررسی نشد، که می‌تواند موضوع پژوهش‌های آتی باشد. همچنین استفاده از دیگر مدل‌های تغییر اقلیم، جهت بررسی عدم قطعیت پارامترهای مورد بررسی در این مطالعه، توصیه می‌شود.

سپاسگزاری

این مقاله بخشی از نتایج طرح پژوهشی شماره ۷۳۱۴۸۱۶/۰۱/۰۳ دانشگاه تهران بوده است.

از جمله دلایل اختلاف نتایج حاصل از کار تحقیقات de Carvalho و همکاران (۲۰۱۵) با تحقیقات Gouvêa و همکاران (۲۰۰۹)، می‌توان به تفاوت اقلیم مناطق مورد مطالعه (شمال شرق و جنوب برزیل) و نیز، تفاوت در مدل زراعی و مقیاس زمانی داده‌های هواشناسی ورودی اشاره کرد.

Zhao and Li (۲۰۱۵) نیز عوامل اقلیمی (به ویژه دما و بارش) را دلیل اصلی تغییرات بین سالی عملکرد نیشکر معرفی کرده‌اند. در این بین Gouvêa و همکاران (۲۰۰۹) در مطالعه خود به اهمیت بسزای دما در تغییر نیاز آبی نیشکر اشاره کرده‌اند. در مطالعه این افراد ذکر شده که افزایش دما بر تبخیر تعرق پتانسیل و در نتیجه تبخیر تعرق گیاه مؤثر خواهد بود که به تبع آن افزایش آب آبیاری دیده می‌شود که با توجه به اینکه بارش‌ها نیز افزایش می‌یابند، لذا این افزایش نیز جبران خواهد شد. این موضوع در تحقیق حاضر نیز در سه شهر آبادان، اهواز و بستان با نتیجه کار این افراد همسو بود. البته دلیل افزایش تبخیر تعرق گیاه در مطالعه Jones و همکاران (۲۰۱۴)، افزایش سطح تاج پوشش، به عنوان سطح تبخیر کننده عنوان شده است. علاوه بر این تأثیر کم تغییرات بارش و تابش بر روی نیاز آبی نیشکر در مطالعه Gouvêa و همکاران (۲۰۰۹) ذکر شده بود. در مطالعه حاضر تغییر طول دوره رشد نیشکر، که خود تابعی از دما می‌باشد، در تمام موارد تحت هر دو سناریو معنی دار بوده است. این موضوع در مطالعه Deressa و همکاران (۲۰۰۵) نیز به وضوح ذکر شده و بیان شده که با توجه به اینکه تأثیر تغییرات دما بر روی عملکرد و سودآوری نیشکر بسیار بیشتر از تغییرات بارش می‌باشد، لذا بهتر است سیاست‌های سازگاری در این بخش، بر روی سازگاری با تغییرات دما متمرکز شود.

در برخی مطالعات از جمله Sentelhas و dos Santos (۲۰۱۲)، تأثیر تغییرات دما و بارش فقط بر روی تغییرات تبخیر تعرق بررسی شده و توجهی به تغییرات آنها در

فهرست منابع

- احمدی، ک.، قلی زاده، ح.، عبادزاده، ح.، حسین پور، ر.، حاتمی، ف.، محیطی، ض.، فضلی، ب.، فضلی استبرق، م.، کاظمیان، آ.، رفیعی، م.، ۱۳۹۴، آمارنامه کشاورزی سال ۱۳۹۲، جلد اول: محصولات زراعی سال زراعی ۹۲ - ۱۳۹۱، وزارت جهاد کشاورزی، ۱۵۶ صفحه.
- بابائیان، الف.، نجفی نیک، ز.، زابل عباسی، ف.، حبیبی نوخندان، م.، ادب، ح.، ملبوسی، ش.، ۱۳۸۸، ارزیابی تغییر اقلیم کشور در دوره ۲۰۳۹ - ۲۰۱۰ میلادی با استفاده از ریزمقیاس نمایی داده‌های مدل گردش عمومی جو ECHO-G، فصلنامه جغرافیا و توسعه، ۷ (۱۶): ۱۳۵ - ۱۵۲.
- شوشتری، م.، احمدیان، س.، اصفیاء، ق.، ۱۳۸۷، نیشکر در ایران، آبیژ، ۳۳۶ صفحه.
- طباطبایی م.، قهرمان ن.، بابائیان ا. (۱۳۹۴) الف. بررسی دقت مدل های اقلیمی در برآورد داده های دما و بارش ایران تحت سناریوهای RCP-AR5 - کنفرانس ملی هواشناسی. ۳ و ۲ اردیبهشت ۱۳۹۴. یزد
- طباطبایی م.، قهرمان ن.، بابائیان ا (۱۳۹۴) ب. بررسی میزان تغییرات دما و بارش در قرن حاضر در ایران نسبت به میانگین اقلیمی تحت سناریوهای IPCC AR5 همایش آب و اقلیم. کنگره ملی آبیاری و زهکشی. مشهد. دانشگاه فردوسی
- علیزاده، الف.، ۱۳۸۹، اصول هیدرولوژی کاربردی، دانشگاه امام رضا، ۹۱۱ صفحه.
- میرشکاری، ب.، ۱۳۸۰، زراعت نیشکر، دانشگاه آزاد اسلامی (تبریز)، ۴۲۱ صفحه.
- Allen, R. G., Pereira, L. S., Raes, D., & Smith, M., 1998, Crop evapotranspiration-Guidelines for computing crop water requirements-FAO Irrigation and drainage paper 56. FAO, Rome.
- Araya, A., Hoogenboom, G., Luedeling, E., Hadgu, K., Kisekka, I., Martorano, L., 2015, Assessment of maize growth and yield using crop models under present and future climate in southwestern of Ethiopia, Agricultural and Forest Meteorology, 214-215: 252-265.
- de Carvalho, A. L., Menezes, R. S. C., Nóbrega, R. S., de Siqueira Pinto, A., Ometto, J. P. H. B., von Randow, C., & Giarolla, A., 2015, Impact of climate changes on potential sugarcane yield in Pernambuco, northeastern region of Brazil. Renewable Energy, 78, 26-34.
- Deressa, T., Hassan, R., & Poonyth, D., 2005, Measuring the impact of climate change on South African agriculture: the case of sugarcane growing regions. Agrekon, 44(4), 524-542.
- Doorenbos, J.; Kassam, A.H., 1994, Efeito da água no rendimento das culturas. Campina Grande: FFP.306p. (Estudos FAO Irrigação e Drenagem). (original not seen)
- dos Santos, D. L., & Sentelhas, P. C., 2012, Climate change scenarios and their impact on the water balance of sugarcane production areas in the State of São Paulo, Brazil. Revista Ambiente & Água-An Interdisciplinary Journal of Applied Science: v, 7(2).
- FAO (Food and Agriculture Organization), 2002, Global agro-ecological zones assessment: Provisional methodology and results. Available online at <http://www.fao.org/ag/gl/agll/gaezmeth.htm>.
- Ghahreman, N., Babaeian, I., Tabatabaei, M. (2015) Investigation of uncertainty in the IPCC AR5 precipitation and temperature projections over Iran under RCP scenarios. Our Future under Climate Change. 7-10 July 2015, Paris.
- Ghahreman, N., & Tabatabaei, M., 2015, Feasibility of sugarcane cultivation during the next five decades under RCP climate change scenarios. (Case study: Khuzestan province, Iran), ICID 2015, Montpellier, France.
- Gouvêa, J. R. F., Sentelhas, P. C., Gazzola, S. T., & Santos, M. C., 2009, Climate changes and technological advances: impacts on sugarcane productivity in tropical southern Brazil. Scientia Agricola, 66(5), 593-605.
- Hur, J. and Ahn, J.-B. 2015, The change of first-flowering date over South Korea projected from downscaled IPCC AR5 simulation: peach and pear. International Journal of Climatology, 35: 1926-1937. doi:10.1002/joc.4098
- Jones, M. R., Singels, A., & Ruane, A., 2014, Simulated impacts of climate change on water use and yield of irrigated sugarcane in South Africa. In 86th Annual Congress of the South African Sugar Technologists' Association (SASTA 2013), Durban, South Africa, 6-8 August 2013 (pp. 184-189). South African Sugar Technologists' Association.
- Keating, B. A., Robertson, M. J., Muchow, R. C., & Huth, N. I., 1999, Modelling sugarcane production systems I. Development and performance of the sugarcane module. Field Crops Research, 61(3), 253-271.
- Kumar, A., & Sharma, P., 2014, Climate Change and Sugarcane Productivity in India: An Econometric Analysis. Journal of Social and Development Sciences, 5(2), 111-122.

- Marin, F. R., Jones, J. W., Singels, A., Royce, F., Assad, E. D., Pellegrino, G. Q., & Justino, F., 2013, Climate change impacts on sugarcane attainable yield in Southern Brazil. *Climatic Change*, 117(1-2), 227-239.
- Mendelson R, Dinar A & Dalfelt A., 2000, Climate change impacts on African agriculture. <http://www.worldbank.org/wbi/sdclimate/pdf>.
- Mueller, B., Hauser, M., Iles, C., Rimi, R., Zwiers, F., Wan, H., 2015, Lengthening of the growing season in wheat and maize producing regions, *Weather and Climate Extremes*, 9: 47-56.
- Teruel, D. A., Barbieri, V., & Ferraro Jr, L. A., 1997, Sugarcane leaf area index modeling under different soil water conditions. *Scientia Agricola*, 54(SPE), 39-44.
- Ummenhofer, C., Xu, H., Twine, T., Girvetz, E., McCarthy, H., Chhetri, N., Nicholas, K., 2015, How climate change affects extremes in maize and wheat yield in two cropping regions, *Journal of Climate*, 28: 4653-4687.
- Zhao, D., & Li, Y. R., 2015, Climate change and sugarcane production: Potential Impact and Mitigation Strategies. *International Journal of Agronomy*, vol. 2015, Article ID 547386, 10 pages, 2015. doi:10.1155/2015/547386