نشریه هواشناسی کشاورزی
جلد ۷، شماره ۱، بهار و تابستان ۱۳۹۸، صص.۵۸-۴۷

Journal of Agricultural Meteorology
Vol. 7, No. 1, Spring & Summer 2019, pp. 47-58

بررسی اثر تغییرات اقلیمی و کاربری اراضی بر توزیع مکانی مناطق کشت ذرت در استان خوزستان

آمنه دشت‌بزرگی[۱]، بهلول علیجانی[۲*]، علیرضا شکیبا[۳]

تاریخ دریافت: ۱۳۹۸/۰۲/۰۳
تاریخ پذیرش: ۱۳۹۸/۰۵/۰۵

چکیده

تغییر اقلیم یک چالش اساسی برای تولید محصولات کشاورزی بوده و اثرات آن بر اساس ویژگی‌های محلی هر منطقه و نوع سیستم تولید متفاوت است. به همین دلیل برای کاهش خسارت در تولیدات کشاورزی در وضعیت موجود و استفاده از پتانسیل‌های در حال ظهور آینده، تعیین تغییرات ایجاد شده در نواحی، ارتقاء ظرفیت سازگاری و تاب‌آوری از اهمیت بسزایی برخوردار است. از این رو، در این مقاله تلاش گردیده است تغییرات فضایی نواحی مناسب کشت ذرت آینده استان خوزستان با استفاده از سناریوهای تغییر اقلیم تا دهه ۲۰۵۰ شبیه‌سازی گردد. چارچوب روش‌شناسی این پژوهش، طبقه‌بندی آگرواکولوژیک می‌باشد. این طبقه‌بندی با ترکیب دو گروه از مؤلفه‌های اقلیمی (دما تحت سناریوهای مختلف) و غیر اقلیمی (کاربری اراضی) شامل خاک، شیب، اراضی فاریاب و مناطق دارای کشاورزی مدیریت شده با استفاده از فرآیند واکاوی سلسله مراتبی انجام شده است. داده‌های اقلیمی وضعیت موجود و آینده از مرکز بین المللی WorldClim برای سناریوهای RCP 2.6، RCP 4.5 و RCP 6 به ترتیب به عنوان سناریوهای خوش‌بینانه، میانی و بدبینانه برای ۱۲ مدل GCM تهیه و میانگین‌گیری گردید. نتایج به دست آمده بیان کرد نواحی مناسب جهت کشت ذرت تا سال ۲۰۵۰؛ ۶۵ ٪ در AEZ1 (اولویت بالا) و ۳۶٪ برای AEZ2 (اولویت متوسط بالا) کم می‌شود. و ذرت عمدتاً در نواحی شمال غربی استان کشت خواهد شد و نواحی جنوب شرق شرایط کشت خود را از دست می‌دهند. این درحالیست که در وضعیت فعلی، ناحیه جنوب شرق به عنوان یکی قطب‌های کشت ذرت استان خوزستان شناخته می‌شود و استمرار کشت این گیاه صرفاً با اتخاذ تدابیر دقیق مدیریتی احتمالاً مقدور خواهد بود.

واژه های کلیدی: خوزستان، دما، ذرت، سناریو، طبقه‌بندی

مقدمه

محصولات کشاورزی با هر سطح عملکرد به وسیله عوامل محیطی محدود می‌شوند و یکی از عوامل تعیین‌کننده در این زمینه اقلیم است. با تغییر شرایط اقلیمی و اثرات مثبت و منفی که در پی خواهد داشت، احتمال شرایط تولید محصولات کشاورزی تغییر خواهد کرد (Olesen and Bindi, 2002; Adnan et al., 2017; Holzkämper, 2017; Cao et al., 2019). تغییر شرایط اقلیمی در وضعیت موجود و آینده می‌تواند منجر به تغییرات معنی‌داری در محدوده‌های جغرافیایی کشت یک محصول شود (Kaur et al., 2017). تغییر اقلیم یک چالش اساسی برای تولید محصولات کشاورزی بوده و اثرات آن بر اساس ویژگی‌های محلی هر منطقه و نوع سیستم تولید متفاوت است. به همین دلیل برای کاهش خسارت در تولیدات کشاورزی در وضعیت موجود و استفاده از پتانسیل‌های در حال ظهور آینده، تعیین تغییرات ایجاد شده در نواحی، ارتقاء ظرفیت سازگاری و تاب‌آوری از اهمیت بسزایی برخوردار است (Holzkämper, 2017; Shukla et al., 2017; Cao et al., 2019). تغییر اقلیم در دهه‌های اخیر منجر به تغییرات معنی‌دار در محدوده‌های جغرافیایی گونه‌های گیاهی شده است و پیش‌بینی‌ها نشان می‌دهند این وضعیت در آینده ادامه خواهد یافت (Chen et al., 2011). به این ترتیب، اکوسیستم‌های کشاورزی در یک

[۱] دکتری اقلیم شناسی، دانشگاه آزاد اسلامی واحد علوم و تحقیقات تهران، تهران، ایران
[۲] استاد آب و هواشناسی و مدیر قطب علمی تحلیل فضایی مخاطرات محیطی، دانشگاه خوارزمی، تهران، ایران
(*نویسنده مسئول: bralijani@gmail.com)
DOI: 10.22125/agmj.2019.177878.1061
[۳] دانشیار گروه سنجش از دور و GIS و عضو قطب علمی توسعه پایدار محیط جغرافیایی، دانشگاه شهید بهشتی، تهران، ایران

محیط بیوفیزیکی و اجتماعی و اقتصادی تحت تأثیر تغییر متغیرهای اقلیم قرار گرفته‌اند و با تغییر جغرافیایی گونه و سیستم‌های کشاورزی محصولات کشت نسبت واکنش نشان می‌دهند (Kaur et al., 2017; Zhang et al., 2018; Singh eggrawal, 2018). ذرت، یکی از مهم‌ترین محصولات کشاورزی به منظور تأمین امنیت غذایی در جهان است. نتایج بررسی اثرات تغییر اقلیم را بر کمربند کشت ذرت آمریکای شمالی در اواخر قرن بیستم نشان داد با افزایش یک درجه سانتی‌گراد دما، کمربند کشت ذرت به سمت نواحی شمالی‌تر آمریکا جابجا خواهد شد (Blasing and Solomon, 1983; Newman, 1980). همچنین مشاهدات Lobell et al., (2011; 2012) نشان داده است با افزایش دما، محصولات زراعی کوچک‌تر و عملکرد دانه آن‌ها کاهش خواهد یافت. به عنوان مثال عملکرد جهانی ذرت در پاسخ به افزایش دما به ویژه در دوره‌های رشد طولانی، که دما گرم‌تر می‌شود در حال کاهش است. افزون بر مباحث بیان شده، دوره گل‌دهی محصولات زراعی به ویژه ذرت به افزایش دما بسیار حساس می‌باشد زیرا با بالا رفتن دما در این دوره، گرده‌افشانی ناقص انجام می‌شود به طوری که در تولید مثل گیاهان اختلال ایجاد می‌کند. این مسأله منجر به عدم تشکیل دانه می‌شود و عملکرد محصول را به شدت کاهش می‌دهد (Zhang et al., 2018; Ruane et al., 2018; King et al., 2018). از تحقیقات دیگر در این زمینه می‌توان به کار Carins et al., (2012) اشاره کرد که آن‌ها به منظور تعیین استراتژی‌های سازگاری با تغییر اقلیم در زمینه تحمل تنش‌های خشکی و گرما و بهبود شیوه‌های مدیریت، سازگاری تولید ذرت با تغییر اقلیم را در کشورهای جنوب صحرای آفریقا را مطالعه نمودند. آن‌ها در بررسی خود از خروجی ۱۹ مدل GCMs استفاده کردند. پیش‌بینی آن‌ها نشان می‌دهد تا سال ۲۰۵۰ دما به میزان ۱/۲ درجه سانتی‌گراد افزایش می‌یابد. آن‌ها پیشنهاد دادند برای اصلاح دانه‌های ذرت و اتخاذ شیوه‌های مدیریت، نیاز فوری به اولویت‌بندی استراتژی‌های پژوهشی در زمینه تغییر اقلیم و انعطاف‌پذیری نسبت به تغییرات آن می‌باشد. در ایران از اواسط دهه ۱۳۸۰ تا به امروز تحقیقاتی در ارتباط با بررسی اثرات تغییر اقلیم بر عملکرد محصولات زراعی انجام گردیده است. نتایج این پژوهش‌ها با سایر مطالعات انجام شده در مناطق دیگر دنیا منطبق بوده و نشان می‌دهد تغییر اقلیم باعث کاهش عملکرد محصولات زراعی می‌گردد. البته عمده مطالعات انجام شده موردی بوده و در آن‌ها به تحلیل مکانی از تغییر نواحی کشت کم‌تر توجه شده است (Banayan, Aval, 2010; Ababaei et al., 2010 Roostaei et al., 2012). در میان مطالعات انجام شده، Bolok Azari et al., (2013) با استفاده از مدل AEZ[1]، نیاز آبی محصولات زراعی را در شرایط تغییر اقلیم برای دشت هشتگرد شبیه‌سازی کردند و کم‌ترین و بیش‌ترین تغییرات نیاز آبی گیاهان دشت هشتگرد را در دوران آتی پهنه‌بندی کردند. نتایج حاصل از بررسی منابع نشان می‌دهند اگر چه تغییر اقلیم بر امنیت غذایی جهان تأثیر گذاشته و دولت‌ها را در تأمین غذا با چالش مواجه نموده است اما اثرات منطقه‌ای آن متفاوت می‌باشد. اغلب منابع بر اثرپذیری بیش‌تر مناطق حاره، جنب حاره و به طور کلی کشورهای در حال توسعه از پیامدهای منفی تغییر اقلیم نسبت به مناطق معتدل و قطبی به دلیل شکنندگی آن مناطق تأیید نموده‌اند. این پژوهش با هدف استفاده از سناریوهای تغییر اقلیم آینده برای پیش‌بینی تغییرات دما و تحلیل تغییرات فضایی نواحی کشت ذرت در آینده نواحی جنوب غرب ایران (استان خوزستان) انجام شده است.

مواد و روش‌ها

استان خوزستان یکی از مهم‌ترین قطب‌های کشاورزی کشور است که نه تنها در حال حاضر نقش تعیین‌کننده‌ای در تولید محصولات کشاورزی و ایجاد امنیت غذایی دارد، بلکه با توجه به ظرفیت‌ها و استعدادهای بالقوه نقشی مؤثر در توسعه آینده کشاورزی کشور خواهد داشت (گزارش انجمن غلات ایران)[2]. در ارتباط با مناطق اگرواکولوژی ایران و کشت ذرت، استان خوزستان از لحاظ کشت ذرت جایگاه و اهمیت ویژه‌ای دارد. بیش از ۹۰ درصد کشت ذرت در شمال و شمال غرب این استان متمرکز است که دارای اراضی بسیار مستعد برای کشت می‌باشد. شکل ۱ نواحی کشت ذرت در جنوب غرب ایران را نشان می‌دهد. مطالعات انجام شده نشان می‌دهند بررسی در معرض قرارگیری، اولین گام روش‌شناسی در چارچوب مفهومی تغییر اقلیم می‌باشد.

[1] Agro-Ecological Zone
[2] http://www.farsgrain.ir

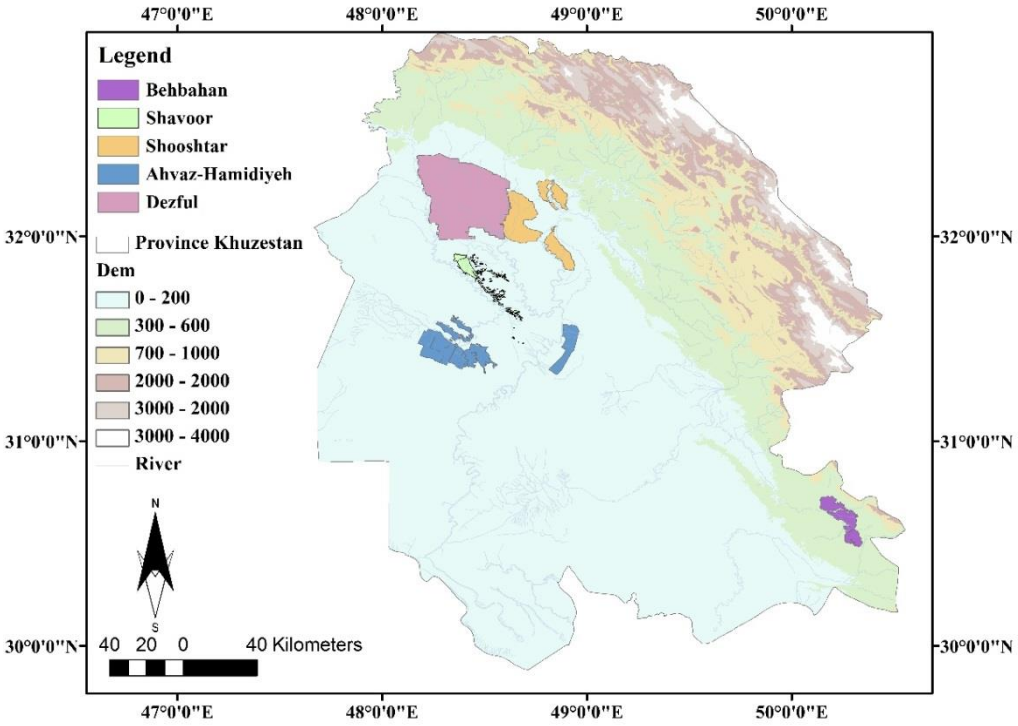

Figure 1- Topography and maize cultivation regions in Khuzestan province

شکل ۱- توپوگرافی و نواحی کشت ذرت در استان خوزستان

در بررسی تغییر اقلیم و کشاورزی از میان پارامترهای محیطی مختلف اثرگذار بر تولید ذرت، تغییرات افزایشی دما بیش‌ترین تأثیر را دارد. همچنین بررسی ارتباط بین تغییر اقلیم و توزیع مناسب نواحی کشت در بررسی دقیق آسیب‌پذیری بخش کشاورزی یک منطقه و به دنبال آن یافتن مکان های بهینه کشت در آینده جهت سازگاری با اثرات تغییر اقلیم از رویکردهای مهم در مطالعات مشابه با موضوع تحقیق می‌باشد. در این زمینه تحقیقات سازمان FAO[1] و پایگاه داده مکانی آن از منابع اصلی می‌باشد. چارچوب روش‌شناسی بررسی تغییرات مکانی نواحی مناسب کشت ذرت در آینده نسبت به وضعیت موجود بر اساس طبقه‌بندی آگرواکولوژیک (AEZ) انجام شده است. طبقه‌بندی آگرواکولوژیک نقشه‌ای است که از ترکیب مؤلفه‌های مختلف از قبیل شاخص‌های اقلیمی، خاک، شیب، کاربری اراضی و غیره به دست می‌آید. هدف از تولید این طبقه‌بندی شناسایی مناطق بهینه کشت به منظور مدیریت کشاورزی منطقه و سازگاری در شرایط تغییراقلیم می باشد (Kurukulasuriya and Rosenthal, 2013). شکل ۲ روش‌شناسی نواحی مناسب کشت ذرت را نشان می‌دهد. با توجه به شکل ۲ در این پژوهش،

داده‌های مورد نیاز طبقه‌بندی آگرواکولوژیک از اطلاعات مکانی متعددی در دو گروه اطلاعات اقلیمی، شامل بیشینه و کمینه دما ماهانه شامل چهار لایه وضعیت موجود و سه سناریوی RCP 2.6، RCP 4.5 و RCP 6[2] هستند، و مؤلفه‌های محیطی غیر اقلیمی هستند که در طبقه‌بندی AEZ برای وضعیت موجود و آینده ثابت در نظر گرفته شده‌اند. این گروه از اطلاعات شامل کاربری اراضی، خاک، شیب، نواحی با پتانسیل آبیاری و نواحی دارای کشاورزی مدیریت شده می‌باشند. داده‌های مکانی مورد نیاز برای تمام اطلاعات از شبکه‌بندی پنج در پنج دقیقه‌ای (حدود ۱۰ در ۱۰ کیلومتر) تشکیل و در قالب لایه‌های ASCII آماده شده‌اند. داده‌های اقلیمی وضعیت موجود (میانگین ۱۲ ماهانه دوره ۳۰ ساله ۲۰۰۰) و آینده از مرکز بین‌المللی WorldClim (میانگین ۱۲ ماهه دوره ۲۰۵۰) برای سناریوهای RCP 2.6، RCP 4.5 و RCP 6 به ترتیب به عنوان سناریوهای خوش‌بینانه، میانی و بدبینانه تهیه گردید. در مدل‌های فاز پنجم CMIP5[3]، ۱۲ مدل GCM[4] معرفی شده در جدول ۱ انتخاب گردید.

[1] Food and Agriculture Organization

[2] Representative Concentration Pathway
[3] Coupled Model Intercomparison Project Phase 5
[4] Global Climate Model

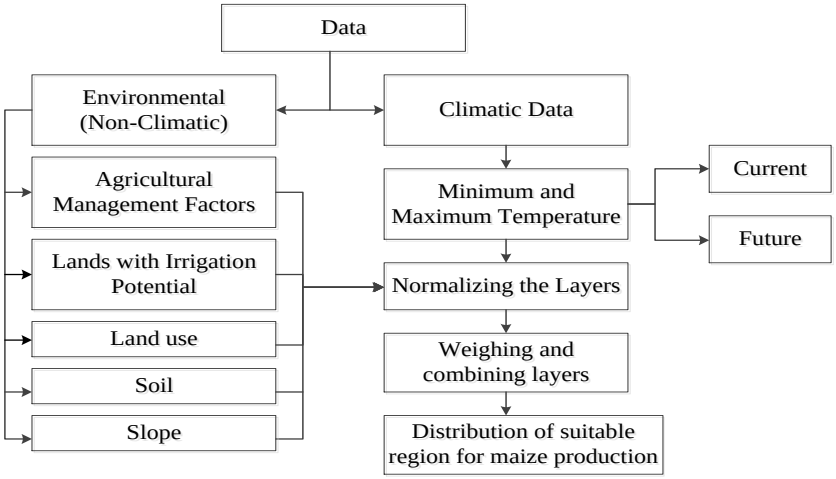

Figure 2 - The Methodology Framework

شکل ۲ - چارچوب روش شناسی

مبنای انتخاب مدل‌ها اشتراک میان تولید داده‌های حداکثر و حداقل دما برای سه سناریوی انتخابی در پایگاه داده WorldClim می‌باشد. پس از تهیه داده‌ها از از این پایگاه داده، به منظور کاهش عدم قطعیت و افزایش دقت نتایج میانگین مدل‌ها برای هر یک از سناریوها محاسبه و فایل رستر نهایی به عنوان ورودی به طبقه‌بندی آگرواکولوژیک معرفی گردید. اطلاعات مورد نیاز داده‌های محیطی غیراقلیمی از مرکز بین‌المللی GeoNetwork وابسته به سازمان خواروبار جهانی (FAO) تهیه گردیده است.

Table 1- GCM models

جدول ۱- مدل های GCM

Row	GCMs	Long	Lat
1	BCC-CSM1-1	2.8	2.8
2	CCSM4	1.2	0.9
3	GFDL-ESM2G	2	2
4	GISS-E2-R	2.5	2
5	HadGEM2-AO	1.8	1.2
6	HadGEM2-ES	1.8	1.2
7	IPSL-CM5A-LR	3.7	1.9
8	MIROC-ESM-CHEM	2.8	2.8
9	MIROC-ESM	2.8	2.8
10	MIROC5	1.4	1.4
11	MRI-CGCM3	1.1	1.1
12	NorESM1-M	2.5	1.2

اعتبارسنجی میانگین ۱۲ ماهانه دوره آماری وضعیت موجود پایگاه داده‌ای WorldClim با ایستگاه‌های سینوپتیک آبادان، آغاجاری، اهواز، ماهشهر، بهبهان، رامهرمز، دزفول و مسجد سلیمان برای دوره آماری ۲۲ ساله مشترک میان ایستگاه از ۲۰۱۶- ۱۹۹۴ انجام گردید.

شاخص‌های مورد استفاده MSD[1]، RMSD[2]، NRMSD[3] و ANMBD[4] (معادله ۱ تا ۴) می‌باشد.

$$MSD=\frac{1}{T}\sum_{i=1}^{T}(x_i-y_i)^2 \quad (۱)$$

$$RMSD=\sqrt{\frac{1}{T}\sum_{i=1}^{T}(x_i-y_i)^2} \quad (۲)$$

$$NRMSD=\frac{\sqrt{\frac{1}{T}\sum_{i=1}^{T}(x_i-y_i)^2}}{\bar{x}} \quad (۳)$$

$$ANMBD=\left|\frac{\sqrt{\frac{1}{T}\sum_{i=1}^{T}(x_i-y_i)^2}}{\bar{x}}\right| \quad (۴)$$

نرمال‌سازی مقادیر پیکسل‌های لایه‌های مختلف با روش کلاس‌بندی مجدد در GIS[5] انجام شد. در این کلاس‌بندی ۵ بالاترین، ۴ متوسط بالا، ۳ متوسط، ۲ متوسط کم و ۱ کم‌ترین ارزش در نظر گرفته شد. در ادامه کلاس‌بندی لایه‌های مختلف شرح داده می‌شود.

داده‌های اقلیمی

بر مبنای استانداردهای کشت ذرت سازمان جهاد کشاورزی، حداکثر دوره زمانی مناسب برای کشت ذرت ۱۳۱-۱۴۷ روز معادل ۱۷۶۰-۱۵۳۸ درجه روز رشد (GDD)[6] می‌باشد.

[1] Mean Square Deviation
[2] Root Mean Square Deviation
[3] Normalized Root Mean Square Deviation
[4] Absolute Normalized Mean Bias Deviation
[5] Geographic Information System
[6] Growing degree days

Table 2- Validation of WorldClim data using observed data of synoptic stations in Khuzestan province
جدول ۲- اعتبار سنجی داده‌های WorldClim با داده‌های ایستگاه‌های سینوپتیک استان خوزستان

Station	ANMBD		Nrmsd		RMSD		MSD	
	T Max	T Min	T Max	T Min	T Max	T Min	T Max	T Min
Abadan	-0.03	-0.01	0.01	0.01	0.21	0.15	0.04	0.02
Omideyeh- Aghajari	-0.11	0.03	0.01	0.01	0.40	0.22	0.16	-0.05
Ahvaz	-0.02	-0.03	0.00	0.01	0.15	0.22	0.02	0.05
Mahshahr	-0.02	-0.08	0.01	0.02	0.18	0.36	0.03	0.13
Behbahan	-0.10	0.03	0.01	0.01	0.39	0.21	0.15	-0.05
Ramhormoz	-0.01	-0.07	0.00	0.02	0.13	0.34	0.02	0.12
Dezful	0.00	0.04	0.00	0.01	0.05	0.22	0.00	-0.05
Masjed soleiman	0.09	-0.07	0.01	0.02	0.36	0.34	-0.13	0.11

همچنین دمای مناسب برای کشت ذرت برای بیشینه‌های دما بین ۴۵-۱۸ و کمینه‌های دما ۲۵-۸ درجه سانتی‌گراد پیشنهاد می‌شود. بر این اساس مناطق مناسب از نظر دمایی بین امتیازات ۵ (اولویت زیاد: ۷-۵ ماه دمای مناسب)، ۳ (اولویت متوسط: ۱۰-۸ ماه دمای مناسب) و ۱ (اولویت کم: کم‌تر از ۲ ماه و بیش‌تر از ۱۰ ماه) طبقه‌بندی و نقشه‌های آن برای وضعیت موجود و آینده تهیه شدند.

مؤلفه‌های محیطی (ثابت)

خاک

بررسی‌های نشان داده که سیستم‌های طبقه‌بندی مختلفی در زمینه خاک‌شناسی وجود دارد. در این پژوهش به دلیل این که به اطلاعاتی از طبقه خاک نیاز بود که در شبکه‌بندی پنج دقیقه‌ای تولید شده باشند به همین از سیستم طبقه‌بندی خاک FAO/UNESCO[1] استفاده گردید. بر اساس این طبقه‌بندی، کشت ذرت در استان خوزستان درجه اول در و در خاک‌های کلسی‌سول و فلاوی‌سول درجه بعد در خاک‌های سولانک‌چاک کشت می‌شود و دیگر طبقه‌بندی‌ها برای کشت ذرت دارای اهمیت نمی‌باشند. به همین دلیل در وزن‌دهی خاک‌های کلسی‌سول و فلاوی‌سول، اولویت زیاد (۵)، خاک‌های سولانک‌چاک اولویت متوسط (۳) و دیگر طبقه‌بندی‌ها اولویت کم (۱) را به خود اختصاص دادند. در ادامه مشخصات خاک‌های کلسی‌سول، فلاوی‌سول و سولانک‌چاک (http://khosromk.blogfa.com/1386/08) بیان می‌شود. پراکندگی طبقه‌بندی خاک استان بر اساس این سیستم نیز در شکل ۵ نشان داده شده است.

شیب

ذرت در استان خوزستان در سطح گسترده کشت می‌شود به همین دلیل نواحی با شیب کم اهمیت زیادی دارا هستند. بر اساس بررسی‌های به عمل آمده با توجه به تنوع درجه شیب در منطقه، لایه شیب بین ۵-۱ درجه وزن‌دهی گردید (جدول ۳).

کاربری اراضی

اراضی بهینه جهت کشت ذرت در استان خوزستان اراضی با قابلیت کشت زراعی و سطح گسترده آبیاری هستند. بر این اساس این اراضی در وزن‌دهی اولویت زیاد (۵) را به خود اختصاص داده‌اند. پس از آن اراضی مناسب، بوته‌زارها می‌باشند؛ این اراضی در وزن‌دهی اولویت متوسط (۳) را شامل شدند. دیگر اراضی منطقه مورد مطالعه در اولویت کم (۱) جای گرفتند.

نواحی با سیستم آبیاری

با توجه به این که ذرت در استان خوزستان با سیستم آبیاری کشت می‌شود لذا نواحی که پتانسیل آبیاری در حجم بالایی دارند دارای اهمیت فراوانی هستند. این اراضی عمدتاً در حاشیه رودخانه‌های دز، شاور، کرخه، کارون و مارون قرار دارند. بر این اساس نواحی با پتانسیل سطح بالای آبیاری، اولویت زیاد (۵)، نواحی با آبیاری در مقیاس کم، اولویت متوسط (۳) و دیگر نواحی اولویت کم (۱) را به خود اختصاص دادند.

نواحی با کشاورزی مدیریت شده

این لایه از سه گروه عمده نواحی با مدیریت خیلی خوب، مدیریت خوب و مدیریت نشده تشکیل شده است. همان گونه که در مباحث قبل ذکر گردید، در منطقه مورد مطالعه ذرت به طور گسترده کشت می‌شود. به همین دلیل در وزن‌دهی، نواحی با مدیریت خیلی خوب، اولویت

[1] United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization

زیاد (۵)، مدیریت خوب، اولویت متوسط (۳) و مدیریت نشده اولویت کم (۱) را شامل شدند.

وزن‌دهی مؤلفه‌ها و تلفیق آن‌ها

همان گونه که در ابتدای بحث ذکر گردید، وزن‌دهی مؤلفه‌ها با استفاده از روش AHP[1] (فرایند تحلیل سلسله مراتبی) انجام شده است. AHP ابزاری توانمند برای تعیین وزن مؤلفه‌ها نسبت به یکدیگر و اطلاعات توصیفی آن‌ها می‌باشد. روال کار مدل AHP با مشخص کردن عناصر و تصمیم‌گیری و اولویت دادن به آن‌ها آغاز می‌شود این عناصر شامل شیوه‌های مختلف انجام کار و اولویت دادن به سنجه‌ها یا ویژگی‌ها می‌باشد[2]. مرحله اول ساختن درخت سلسله مراتبی، مرحله دوم تعیین ضریب اهمیت معیارها و زیرمعیارها وزن دادن به جایگزین‌ها، مرحله سوم ترکیب ضریب اهمیت گزینه‌ها ترکیب وزن‌ها و مرحله چهارم آزمایش سازگاری. مطابق با چارچوب روش‌شناسی AHP ابتدا اطلاعات توصیفی هر مؤلفه بین ۵-۱ در محیط GIS وزن‌دهی، سپس لایه‌های جدید تولید شدند. شکل ۶ نمودار سلسله مراتبی مؤلفه‌ها و اطلاعات توصیفی آن‌ها را نشان می‌دهد. پس ازتولید لایه‌های جدید بر اساس وزن هر اطلاع توصیفی، مؤلفه‌های مختلف نسبت به یکدیگر در مدل AHP امتیازدهی شدند. ضریب سازگاری محاسبه شده ۰/۰۱۴ می‌باشد. با توجه به این که مقدار آن از ۰/۱ کم‌تر است می‌توان گفت وزن‌های برآورد شده قابل قبول هستند. جدول ۱ امتیاز مؤلفه‌ها را نشان می‌دهد. بر اساس خروجی AHP، بیشینه دما بیش‌ترین امتیاز و پس از آن لایه شیب و خاک قرار گرفتند و کم‌ترین امتیاز به لایه نواحی با سیستم کشاورزی اختصاص پیدا کرد. در مرحله آخر با تلفیق لایه‌ها در محیط GIS، نواحی مناسب کشت ذرت برای وضعیت موجود و سناریوهای آینده اجرا گردید. سپس خروجی مدل با یکدیگر مقایسه و بر اساس آن نواحی مناسب کشت ذرت بر اساس تغییرات دما در وضعیت موجود و آینده شناسایی و تحلیل گردید.

نتایج و بحث

شبیه‌سازی تغییرات مکانی دوره‌های مناسب دمایی برای کشت ذرت در آینده بر مبنای میانگین ۱۲ مدل GCM نشان می‌دهد که بیش‌ترین تغییرات ایجاد شده در سناریوهای RCP 4.5 و RCP 6 می‌باشد (شکل‌های ۴ و ۵). نتایج گویای این است که در سناریوی RCP 4.5 نواحی غربی و نواحی بخش‌های محدودی شمال استان در بیشینه‌های دما و نواحی جنوبی، جنوب شرقی و بخش‌های پراکنده‌ای در شمال برای کمینه‌های دما حساسیت نشان می‌دهند. در سناریوی RCP 6 که به عنوانی بیان‌گر عدم کنترل و مدیریت وضعیت موجود شناخته می‌شود تغییرات مکانی با شدت بیش‌تری نشان داده می‌شود. در این سناریو گستره نواحی نامناسب برای بیشینه دما در غرب استان به سمت شمال کشیده خواهد شد و گستره نواحی نسبتاً مناسب و نامناسب در نواحی کوهستانی افزایش خواهد یافت. در کمینه دما سناریو RCP 6، کاهش نواحی مناسب دما به شکل بارزی مشهود می‌باشد و نواحی با اولویت بالا محدود به نواحی مرکزی متمایل به شمال و بخش‌های پراکنده‌ای در نواحی کوهستانی واقع در شمال و شرق استان می‌باشد. بر اساس امتیازدهی اطلاعات توصیفی هر مؤلفه، جهت تولید نقشه طبقه‌بندی آگرواکولوژی، ۵ طبقه AEZ، شناسایی گردید. به ترتیب اولویت، AEZ1، بالاترین اهمیت برای کشت ذرت می‌باشد، AEZ2، نواحی هستند که از درجه متوسط بالا، AEZ3 درجه متوسط، AEZ4 متوسط کم و AEZ5 کم برخوردارند. نواحی AEZ1 – AEZ3 بر اساس اولویت نواحی مناسب و دیگر برای کشت ذرت پیشنهاد نمی‌گردند. بر اساس شکل ۶ نواحی مناسب برای کشت ذرت در وضعیت موجود واقع در دشت خوزستان می‌باشند. اولویت اول و دوم (AEZ2 و AEZ1) در نواحی شمال (جنوب کوهپایه‌ها)، جنوب شرق و نواحی پراکنده‌ای در غرب، مرکز و جنوب استان است. این طبقه ۲۰ درصد، AEZ2 ۳۲ درصد، AEZ3 ۲۳ درصد، AEZ4 و AEZ5 به ترتیب ۱۳ و ۱۲ درصد از استان را تشکیل می‌دهند. غالب نواحی نامناسب برای کشت ذرت شامل نواحی کوهستانی در شمال و نواحی محدودی در سواحل (AEZ 4 و AEZ5) می باشد. نواحی کوهستانی به دلیل عوامل محدود کننده شامل دما (دوره کوتاه دمای مناسب کم‌تر از ۴ ماه)، خاک و شیب نا مناسب و نواحی ساحلی به دلیل خاک و دمای نامناسب (دماهای بالا) در طبقه‌بندی مناسب قرار نگرفتند.

[1] Analytical Hierarchy process
[2] http://gis4.blogfa.com/post-24.aspx

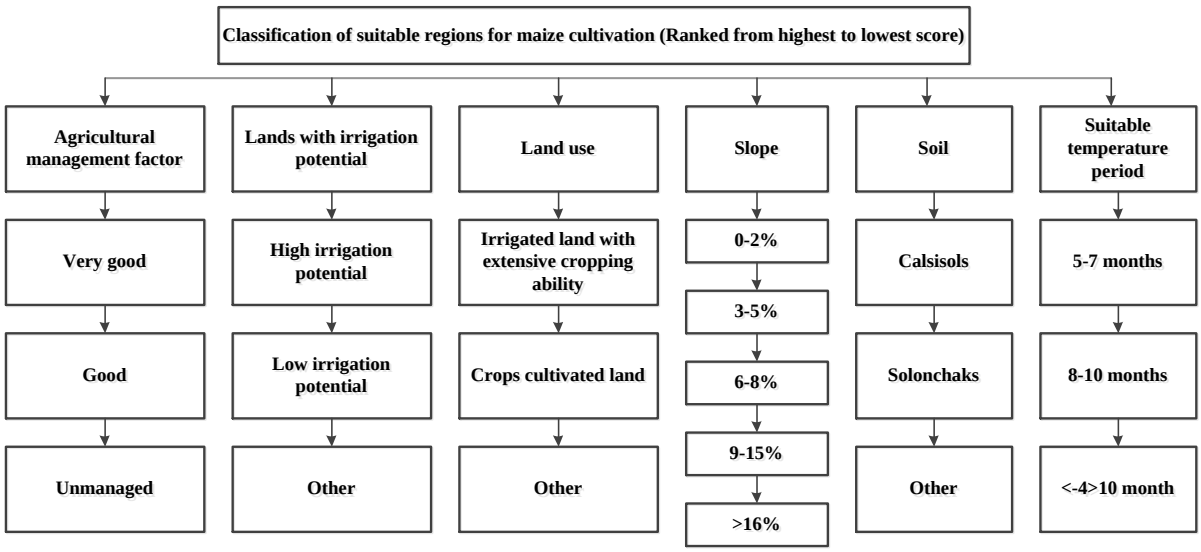

Figure 3- Hierarchical graph components and their descriptive information

شکل۳- نمودار سلسله مراتبی مؤلفه‌ها و اطلاعات توصیفی آن‌ها

Table 3- Components scores

جدول ۳- امتیاز مؤلفه‌ها

Components	T Max	T Min	regions with managed agriculture	Land use	regions with Irrigation System	Slope	Soil	Score
T Max	1	2	5	3	5	5	5	0.21
T Min	0.5	1	2	2	2	1	1	0.13
Regions with managed agriculture	0.2	0.5	1	1	1	0.2	0.2	0.05
Land use	0.3	0.5	1	1	2	0.5	0.5	0.07
Regions with Irrigation System	0.2	0.5	1	0.5	1	0.2	0.2	0.04
Slope	2	2	5	2	5	1	1	0.19
Soil	1	1	5	2	5	1	1	0.19

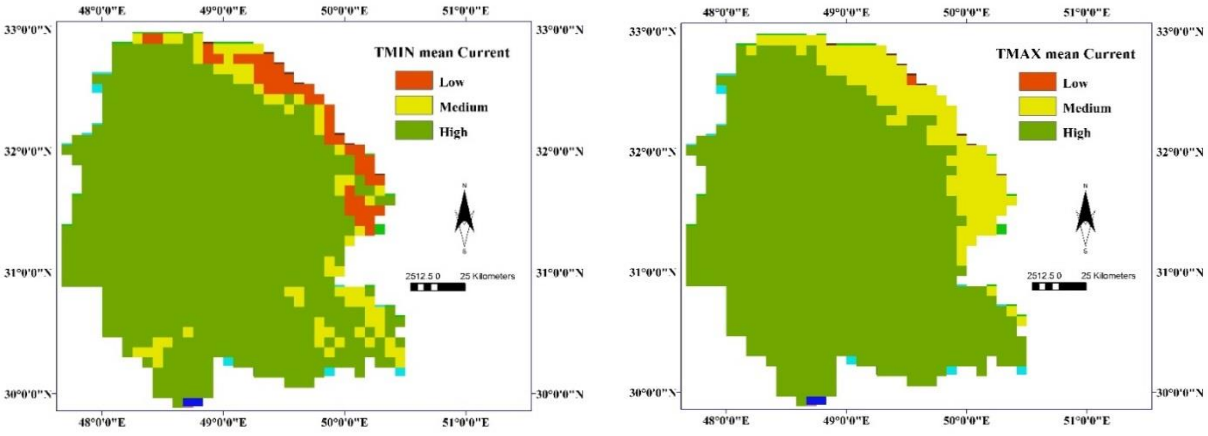

Figure 4- Prioritizing of maize cultivation regions based on the maximum and minimum temperatures in current condition

شکل ۴- اولویت‌بندی نواحی کشت ذرت بر اساس حداکثر و حداقل دما در وضعیت موجود

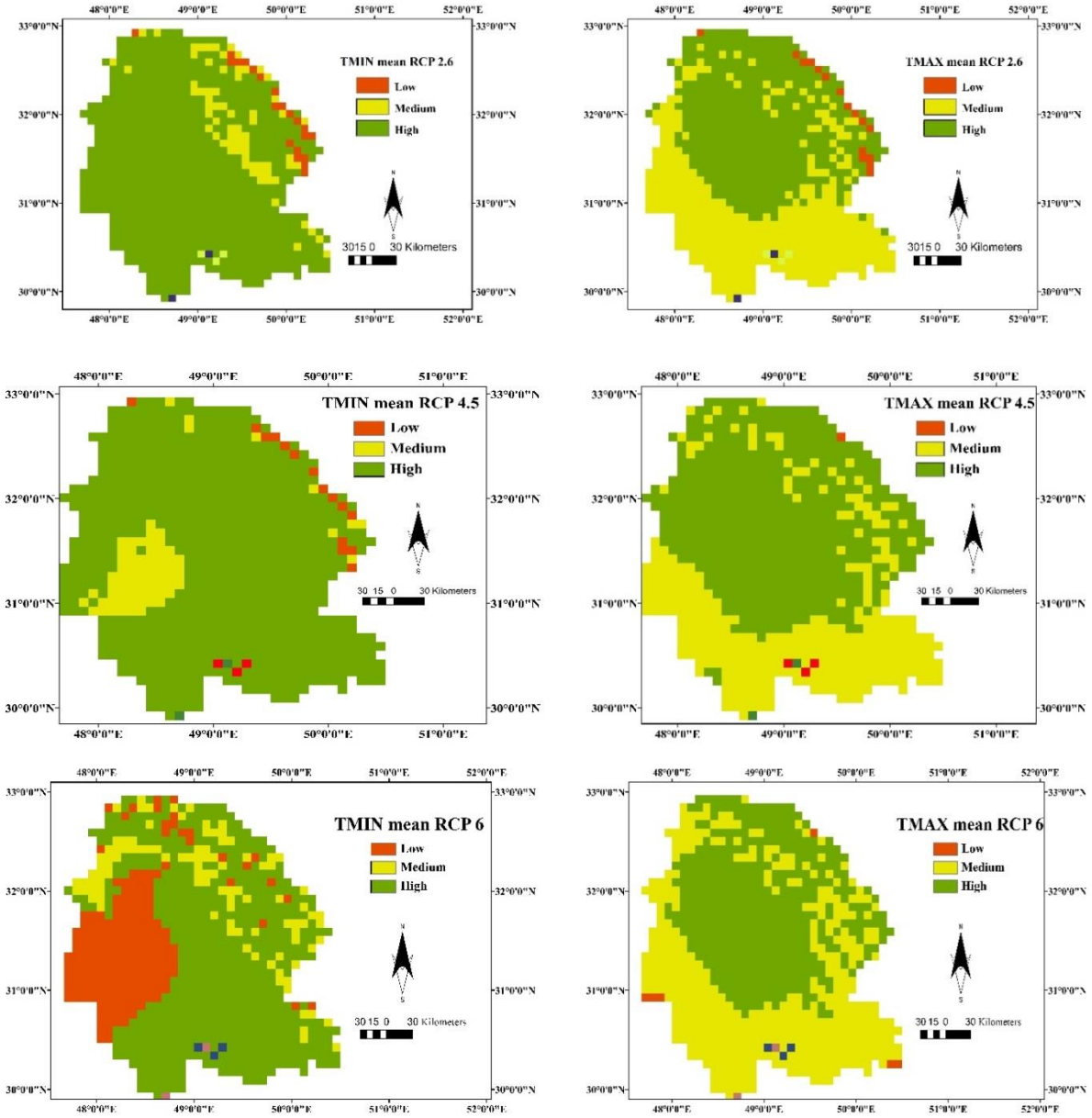

Figure 5- Prioritizing of maize cultivation regions based on maximum and minimum temperatures based on climate scenarios

شکل ۵- اولویت‌بندی نواحی کشت ذرت بر اساس حداکثر و حداقل دما بر مبنای سناریوهای اقلیمی

طبقه AEZ3 نسبت به نواحی بسیار مناسب، مناسب و نواحی نامناسب حد وسط را دارند. این نواحی دارای محدودیت‌های محیطی متفاوتی نظیر جنس خاک، کاربری اراضی و دمای نامناسب می‌باشند. این نواحی با بررسی‌های دقیق و اعمال اقدامات سازگاری می‌توانند شرایط کشت ذرت را داشته باشند. شبیه‌سازی انجام شده نشان می‌دهند که تغییر اقلیم بر تغییر مکانی نواحی مناسب جهت کشت ذرت اثر معنی‌داری دارد. بر اساس شکل‌های ۷ تا ۱۰ و جدول ۴ بدون لحاظ نمودن استراتژی‌های سازگاری مطابق با سناریوی RCP 6، زمانی که آستانه‌های دما در زمان گلدهی تحت تأثیر تغییر اقلیم افزایش می‌یابد در اثر تغییر اقلیم عملکرد ذرت کاهش می‌یابد و نواحی مناسب جهت کشت آن تا سال ۲۰۵۰، ۶۵ درصد در AEZ1 و ۳۶ درصد برای AEZ2 کم می‌شود. ذرت عمدتاً در نواحی شمال غربی (ناحیه شمال) کشت خواهد شد و نواحی جنوب شرق (بهبهان) شرایط کشت خود را از دست می‌دهند. این در حالی است در وضعیت موجود ناحیه بهبهان به عنوان یکی قطب‌های کشت ذرت استان خوزستان شناخته می‌شود و جز با اعمال راهکارهای مدیریتی با تدابیر ویژه کشت ذرت در این مناطق امکان‌پذیر نخواهد شد.

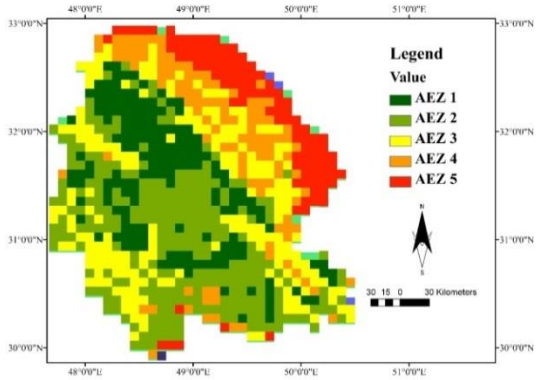

Figure 6- The suitable regions for the cultivation of maize based on Agroecological zoning under current condition

شکل ۶- نواحی مناسب کشت ذرت بر اساس طبقه‌بندی آگرواکولوژیک در وضعیت موجود

بر مبنای پژوهش‌های Vuuren et al., (2011) سناریوی RCP 2.6 شرایط بهینه را با لحاظ نمودن راهکارهای سازگاری در تغییر مناطق آگرواکولوژیک در نظر می‌گیرد. بررسی‌ها نشان می‌دهند چنانچه راهکارهای سازگاری در سطوح مختلف جهت حفظ استان خوزستان به عنوان قطب تولید ذرت و نگهداشت سرمایه‌گذاری انجام شود، در شرایط افزایش دما وضعیت نواحی مناسب جهت کشت ذرت به سناریوی RCP 2.6 می‌رسد که در آن ۳۵ درصد درAEZ1 و ۲۸ درصد از اراضی مناسب در AEZ2 تا سال ۲۰۵۰ از بین می‌رود. اما در این شرایط نواحی که به عنوان قطب کشت ذرت در استان شناخته می‌شوند باقی خواهند ماند (شکل ۷). سناریوی RCP 4.5، شرایط متعادل‌تری را نسبت به RCP 6 و حرکت از شرایط بهینه را با لحاظ نمودن راهکارهای سازگاری در RCP 2.6 به ایجاد شرایطی بدون اتخاذ راهکارهای سازگاری در کشت ذرت نشان می‌دهد. در وضعیت ایجاد شده مطابق با سناریوی RCP 4.5، نواحی AEZ 1، ۴۴ درصد و نواحی AEZ2، ۳۱ درصد کاهش خواهند یافت. مساحت این دو طبقه در سناریوی RCP 6 از به ترتیب ۱۳ درصد و ۱۲ درصد تا دهه ۲۰۵۰ کاهش خواهند یافت و به دنبال آن بر طبقات AEZ3- AEZ5 افزوده خواهد شد (شکل‌های ۸ و ۹). دمای حدی معمولاً بر مبنای حداکثر و حداقل‌های دما در یک دوره زمانی مشخص تعریف می‌شود. افزایش دمای حدی با ایجاد تغییرات در دوره رشد محصولات کشاورزی می‌تواند آسیب فیزیولوژیکی ایجاد کنند و در نهایت منجر به افت عملکرد شود. از این رو افزایش دما، با تأثیر بر فراوانی و شدت رخدادهای حدی اقلیمی چالش‌های بزرگی برای تولید محصولات کشاورزی است (Zhang et al., 2018).

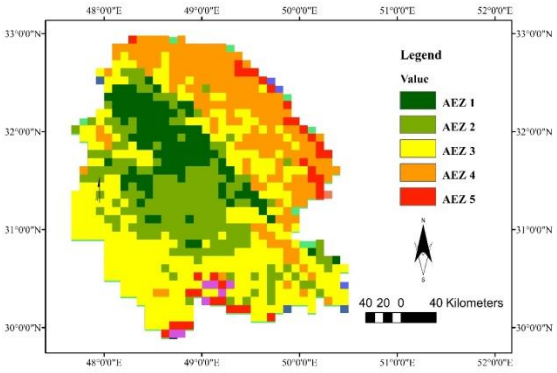

Figure 7- Change of suitable regions for maize production under RCP 2.6 by 2050

شکل ۷- تغییر نواحی مناسب کشت ذرت بر سناریوهای RCP 2.6 تا سال ۲۰۵۰

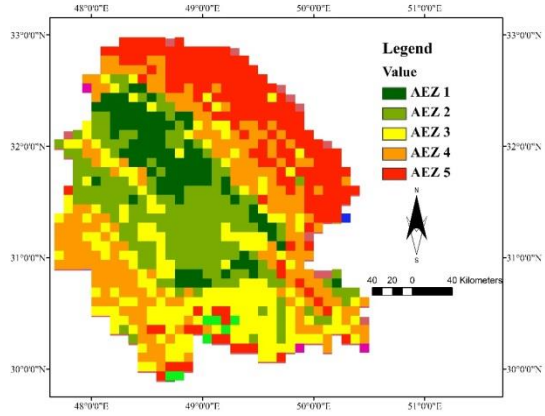

Figure 8- Change of suitable regions for maize production under RCP 4.5 by 2050

شکل ۸- تغییر نواحی مناسب کشت ذرت برسناریوهای RCP 4.5 تا سال ۲۰۵۰

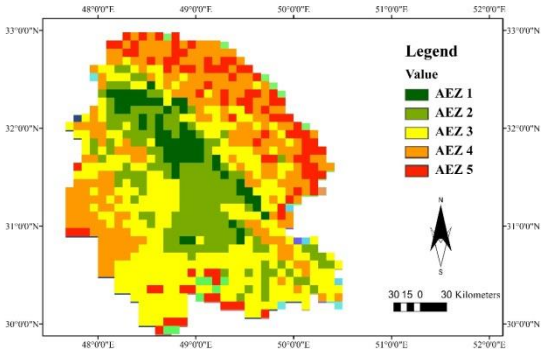

Figure 9- Change of suitable regions for maize production under RCP 6 by 2050

شکل ۹- تغییر نواحی مناسب کشت ذرت بر سناریوهای RCP 6 تا سال ۲۰۵۰

بر اساس نتایج به دست آمده به وضوح روشن است تغییر اقلیم بر توزیع فضایی نواحی مناسب جهت کشت ذرت تأثیر خواهد گذاشت (شکل‌های ۷ تا ۹) و چگونه

منطقه مورد مطالعه با لحاظ نمودن شرایط سازگاری یا بدون آن و اتخاذ راهکارهای کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای، نواحی مناسب جهت کشت را از دست خواهد داد و در سیستم کشاورزی این محصول ناپایداری ایجاد می‌شود. نتایج به دست آمده با مطالعات انجام شده در آمریکای مرکزی و لاتین (Confalonieri et al., 2012) و آفریقا (Seo et al., 2014) مطابقت دارد. در این تحقیق سناریوی RCP2.6، کم‌ترین تغییرات مکانی و سناریوی RCP6.0، حداکثر تغییرات مکانی را نشان می‌دهد.

Table 4- Spatial variations of agro-ecological classification under current conditions and RCP scenarios

جدول ۴- درصد تغییرات مکانی طبقه بندی آگرواکولوژیک در وضعیت موجود و سناریوهای RCP

Class	Current	RCP6	RCP4.5	RCP2.6
AEZ 1	**20**	7	**11**	**13**
AEZ 2	**32**	20	**22**	**23**
AEZ 3	**23**	35	**22**	**38**
AEZ 4	**13**	27	**24**	**22**
AEZ 5	**12**	11	**21**	**4**

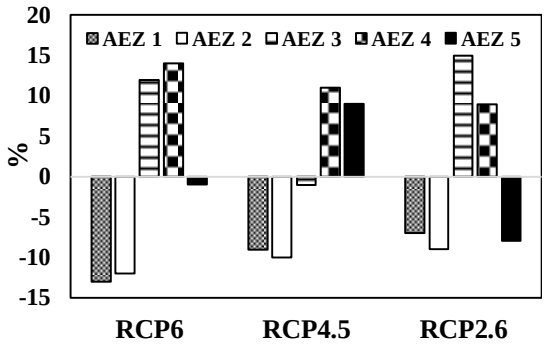

Figure 10 - The percentage of spatial changes of the future regions of maize cultivation

شکل ۱۰- درصد تغییرات مکانی نواحی مناسب کشت ذرت در آینده

نتایج به دست آمده از تحلیل آسیب‌پذیری بیان می‌کنند که منطقه مورد مطالعه به شدت نسبت به تغییر اقلیم آسیب‌پذیر است و تغییرات ایجاد شده با شیب خط ملایمی، به تدریج منجر به از دست رفتن نواحی مناسب جهت کشت ذرت می‌شوند. به علاوه، در اولویت اول، مناسب‌ترین نواحی کشت ذرت (AEZ1) به نواحی شمال غرب استان (حاشیه رودخانه‌های دز و شاور) جایی که کم‌تر با چالش تأمین آب برای آبیاری مواجه هستند محدود می‌شود و بعد از آن نواحی مرکزی متمایل به جنوب استان (حاشیه رودخانه کارون) و بخش‌های بسیار محدودی در شرق تا جایی که محدودیت خاک، کاربری اراضی وجود نداشته باشد محدود می‌شود. به طور کلی بررسی اثرات تغییر اقلیم بر عملکرد ذرت در سراسر دنیا بررسی شده و تقریباً در تمام مطالعات انجام شده تأیید شده که افزایش دما در شرایط تغییر اقلیم اثر بیش‌تری نسبت به کاهش بارندگی بر عملکرد ذرت دارد و باعث کاهش عملکرد آن می شوند (Sánchez et al., 2014; Shi and Tao, 2014; Rao et al., 2014; Crafts-Brandner and Salvucci, 2002; Bonfante et al., 2015; Kaur et al., 2017; Ruane et al., 2018; King et al., 2018; Cao et al., 2019).

نتیجه‌گیری

همان گونه که در بخش نتایج و بحث مطرح گردید، بررسی تغییرات مکانی نواحی مناسب کشت ذرت در آینده بر اساس مدل‌سازی طبقه‌بندی آگرواکولوژیک انجام شده است. طبقه‌بندی آگرواکولوژیک از چارچوبی مفید برای ترکیب اطلاعات مربوط به مؤلفه‌های فیزیکی محیط‌های کشاورزی تشکیل شده است. که به وسیله آن‌ها محیط‌های مناسب کشت جهت سازگاری با تغییر اقلیم شناسایی می‌گردند. در تحلیل آسیب‌پذیری پس از بررسی تغییرات دما در آینده، مطالعه میزان تغییر مناطق مناسب، جهت کشت ذرت در شرایط تغییر اقلیم گامی مهم می‌باشد. همان گونه که در مواد و روش‌ها بیان گردید برای طبقه‌ندی آگرواکولوژیک دو دسته مؤلفه‌های ثابت و متغیر استفاده شده است. مؤلفه‌های ثابت شامل خاک، شیب، کاربری اراضی، نواحی با سیستم آبیاری و نواحی با کشاورزی مدیریت شده می‌باشد و مؤلفه‌های متغیر از حداکثر و حداقل دما تشکیل گردیده‌اند که در آن‌ها شرایط آینده در سه سناریوهای RCP 2.6، RCP 4.5 و RCP 6 لحاظ شده است. بررسی میزان اثرگذاری تغییر اقلیم بر مناطق مناسب کشت ذرت نشان داد چنانچه تا سال ۲۰۵۰ شدت تغییرات ایجاد شده در شرایط اقلیم کنترل و راهکارهای سازگاری اتخاذ گردد (سناریوی RCP 2.6) استان خوزستان ۳۵ درصد از اراضی مناسب کشت ذرت را از دست می‌دهد و در بدترین حالت اگر هیچ گونه سیاست سازگاری (سناریوی RCP 6) اتخاذ نشود تا سال ۲۰۵۰، ۶۵ درصد از اراضی مناسب کشت کاهش خواهد یافت و قابلیت کشت ذرت در نواحی مرکزی و جنوب شرقی به شدت کاهش می یابد.

منابع

Ababaei, B., Sohrabi, T., Mirzaei, F., Rezaverdinejad, V., Karimi, B. 2010. Climate Change Impact on Wheat Yield and Analysis of the Related Risks (Case Study: Esfahan Ruddasht Region). Journal of Water and Soil Sciences (Iranian Journal), 20: 135-150. (in Farsi)

Adnan, S., Ullah, K., Gao, S., Khosa, A. H., Wang, Z. 2017. Shifting of agroclimatic zones, their drought vulnerability, and precipitation and temperature trends in Pakistan. International Journal of Climatology, 37: 529-543.

Anonymous. 2015. Soil studies of the Department of Natural Resources and Watershed Management of Khuzestan Province. (in Farsi)

Banayan Aval, M. 2010. Crop models efficiency and performance under elevated atmospheric CO2. Journal of water and soil, 4: 115-126. (in Farsi)

Blasing, T. J., Solomon, A. M. 1983. Response of the North American corn belt to climatic warming (No. CONF-830341-1). Oak Ridge National Lab. TN (USA).

Bolouk Azari, S., Massah Bavani, A. R., Azadegan, B. 2013. Assessment of Changes in Yield and Agricultural Water Productivity of Hashtgerd Plain Affected by Climate Change in the Future Periods Using AEZ/GIS Approach. Iranian Journal of irrigation and Drainage, 4(6): 273-286. (in Farsi)

Bonfante, A., Monaco, E., Alfieri, S. M., De Lorenzi, F., Manna, P., Basile, A., Bouma, J. 2015. Climate change effects on the suitability of an agricultural area to maize cultivation: application of a new hybrid land evaluation system. In Advances in Agronomy, 133: 33-69.

Cao, M., Zhu, Y., Lü, G., Chen, M., Qiao, W. 2019. Spatial Distribution of Global Cultivated Land and Its Variation between 2000 and 2010, from Both Agro-Ecological and Geopolitical Perspectives. Sustainability, 11(5): 1242.

Cairns, J. E., Sonder, K.، Zaidi, P. H., Verhulst, N., Mahuku, G., Babu, R., Prasanna, B. M. 2012. 1 Maize Production in a Changing Climate: Impacts، Adaptation، and Mitigation Strategies. Advances in agronomy, 114(1):.

Chen, I. C., Hill, J. K., Ohlemüller, R., Roy, D. B., Thomas, C. D. 2011. Rapid range shifts of species associated with high levels of climate warming. Science 333: 1024.

Crafts-Brandner, S. J., Salvucci, M. E. 2002. Sensitivity of photosynthesis in a C4 plant، maize, to heat stress. Plant Physiology, 129(4): 1773-1780

FAO. 2012. World production and trade of cassava products. http://www.fao.org/docrep/x5032e/x5032E08.htm (accessed on August 20, 2013).

Holzkämper, A. 2017. Adapting Agricultural Production Systems to Climate Change-What's the Use of Models?. Agriculture, 7(10): 86.

Kaur, H., Huggins, D. R., Rupp, R. A., Abatzoglou, J. T., Stöckle, C. O., Reganold, J. P. 2017. Agro-ecological class stability decreases in response to climate change projections for the Pacific Northwest, USA. Frontiers in Ecology and Evolution, 5: 74.

King, M., Altdorff, D., Li, P., Galagedara, L., Holden, J., Unc, A. 2018. Northward shift of the agricultural climate zone under 21st century global climate change. Scientific reports, 8(1): 7904.

Kurukulasuriya، P., Rosenthal, S. 2013. Climate change and agriculture: A review of impacts and adaptations.

Lobell, D. B., Sibley, A., Ortiz-Monasterio, J. 2012. Extreme heat effects on wheat senescence in India. Nature Climate Change, 2 186–189.

Lobell, D. B., Bänziger, M., Magorokosho، C., Vivek، B. 2011. Nature Climate Change, 1: 42–45

Newman, J. E. 1980. Climate change impacts on the growing season of the North American Corn Belt. Biometeorology, 7(2): 128-142.

Olesen, J. E., Bindi, M. 2002. Consequences of climate change for European agricultural productivity, land use and policy. European Journal of Agronomy, 16: 239–262.

Rao, B. B., Chowdary, P. S., Sandeep, V. M., Rao, V. U. M., Venkateswarlu, B. 2014. Rising minimum temperature trends over India in recent decades: implications for agricultural production. Global and Planetary Change, 117: 1-8.

Roostaee, M., T. Sohrabi, T., Massah Bavani, M., Ahadi, M. S. 2012. Risk analysis of climate change impact on maize yield and water productivity in 2010-2039 period. Journal of water and soil, 2: 361-371. (in Farsi)

Ruane, A. C., Phillips, M. M., Rosenzweig, C. 2018. Climate shifts within major agricultural

seasons for+ 1.5 and+ 2.0° C worlds: HAPPI projections and AgMIP modeling scenarios. Agricultural and Forest Meteorology, 259: 329-344.

Sánchez, B., Rasmussen، A., Porter, J. R. 2014. Temperatures and the growth and development of maize and rice: a review. Global change biology, 20(2): 408-417.

Seo, Y. A., Lee, Y., Park, J. S., Kim, M. K., Cho, C., Baek, H. J. 2014. Assessing changes in observed and future projected precipitation extremes in South Korea. International Journal of Climatology.

Shi, W., Tao, F. 2014. Vulnerability off African maize yield to climate change and variability during 1961–2010. Food Security, 6(4): 471-481.

Shukla, R., Chakraborty, A., Joshi, P. K. 2017. Vulnerability of agro-ecological zones in India under the earth system climate model scenarios. Mitigation and adaptation strategies for global change, 22(3): 399-425.

Singh, M., Aggarwal, R. K. 2018. Mapping of Agro-Ecological Zones of North-West India in Context to Climate Change Using Geographical Information System. Current World Environment, 13(1): 75.

Vuuren, D. P., Edmonds, J. A., Kainuma, M., Riahi, K., Weyant, J.(2011). A special issue on the RCPs. Climatic Change, 109, https://doi.org/10.1007/s10584-011-0157-y

Zhang, L., Zhang, Z., Chen, Y., Wei, X., Song, X. 2018. Exposure, vulnerability, and adaptation of major maize-growing areas to extreme temperature. Natural Hazards, 91(3): 1257-1272.

Journal of Agricultural Meteorology
Vol. 7, No. 1, Spring & Summer 2019, pp. 47-58

نشریه هواشناسی کشاورزی
جلد ۷، شماره ۱، بهار و تابستان ۱۳۹۸، صص.۵۸-۴۷

Study of climate change and land use effects on spatial distribution of maize cultivation regions in Khuzestan Province

A. Dashtbozorgi[1], **B. Alijani**[2*], **A. Shakiba**[3]

Received: 23/04/2019
Accepted: 27/07/2019

Abstract
Climate change is a major challenge for ecosystems and in particular, its impact on agriculture varies depending on regional characteristic and farming systems. Hence new challenges for production are emerging which should be carefully examined. The aim if this study is to project future spatial changes in current maize producing regions of Khuzestan Province, southwest of Iran under RCP scenarios by 2050s. The applied methodology is based on agro-ecological classification. This classification approach consists of combining two groups of environmental components including climatic (temperature under different scenarios) and non-climatic (land use) components including soil, slope, irrigated land, and type of farm management, by using the analytic hierarchy process. The baseline and future climate data were retrieved from the WorldClim database and ensembles for RCP 2.6, RCP 4.5 and RCP 6 for 12 selected GCMs. Results suggested that by 2050, the regions suitable for growing maize will be reduced by 65% in AEZ1 and by 36% in AEZ2. Maize will be grown mainly in the northwestern regions, and the southeastern regions will lose their suitability for maize cultivation. Presently, the southeastern part of the province is the main production region, in which the continuous growing of maize would be almost impossible under future climatic conditions.

Keywords: Classification, Khouzestan, Maize, Scenarios, Temperature

[1] Ph. D. student Climatology, Islamic Azad University, Science and Research Branch, Tehran, Iran
[2] Professor of Climatology, Director of center of excellence for spatial analysis of environmental hazards, Kharazmi University, Karaj,Iran
(*Corresponding author email address: bralijani@gmail.com)
DOI: 10.22125/agmj.2019.177878.1061
[3] Associate Professor of Remote Sensing and GIS, Member of center of excellence sustainable development of environment geography, Shahid Beheshti University, Tehran, Iran