

ارزیابی اثر تغییرات اقلیمی بر بهره‌وری کشاورزی در استان سیستان

و بلوچستان

صفیه ریگی لادز

دانش آموخته کارشناسی ارشد جغرافیا و برنامه ریزی روستایی، دانشکده جغرافیا و برنامه ریزی محیطی، دانشگاه سیستان و بلوچستان، زاهدان، ایران

دکتر سید هادی طیب نیا

دانشیار گروه جغرافیا و برنامه ریزی روستایی، دانشکده جغرافیا و برنامه ریزی محیطی، دانشگاه سیستان و بلوچستان، زاهدان، ایران

دکتر پیمان محمودی

دانشیار گروه جغرافیای طبیعی، دانشکده جغرافیا و برنامه ریزی محیطی، دانشگاه سیستان و بلوچستان، زاهدان، ایران

دکتر ابراهیم مرادی

دانشیار گروه اقتصاد کشاورزی، دانشکده مدیریت و اقتصاد، دانشگاه سیستان و بلوچستان، زاهدان، ایران

چکیده

هدف اصلی این مطالعه، ارزیابی کمی اثرات تغییرات اقلیمی و عوامل مدیریتی بر بهره‌وری بخش کشاورزی در استان سیستان و بلوچستان بود. برای این منظور از داده‌های پانل سالانه ۶ شهرستان استان طی دوره ۱۳۸۳ الی ۱۳۹۷ استفاده گردید. داده‌های کشاورزی (تولید، سطح زیر کشت، جمعیت بهره‌برداران، کود مصرفی) از سازمان جهاد کشاورزی و داده‌های اقلیمی (دمای حداقل، دمای حداکثر، بارش) از سازمان هواشناسی و داده‌های منابع آب از شرکت آب منطقه‌ای استان سیستان و بلوچستان جمع‌آوری شد. بهره‌وری کشاورزی به عنوان متغیر وابسته و متغیرهای اقلیمی، میزان تخلیه آب زیرزمینی، جمعیت بهره‌برداران و کود مصرفی به عنوان متغیرهای مستقل در نظر گرفته شدند. از مدل رگرسیون دیتا پانل با مشخصات تابع تولید کاب-داگلاس و با استفاده از برآوردگر خطاهای استاندارد اصلاح شده پانل (PCSE) برای تحلیل اثرات استفاده شد. نتایج نشان داد که در میان متغیرهای اقلیمی، تنها افزایش میانگین دمای حداقل سالانه اثر مثبت و معنی‌داری (در سطح احتمالاتی ۹۵ درصد) بر بهره‌وری داشته است؛ به طوری که افزایش یک درصدی آن، بهره‌وری را ۰/۵۲ درصد افزایش می‌دهد. اثرات میانگین دمای حداکثر و مجموع بارش سالانه بر بهره‌وری سح احتمالاتی ۹۵ درصد معنی‌دار نبودند. در بین عوامل غیر اقلیمی، افزایش یک درصدی تخلیه آب زیرزمینی و افزایش یک درصدی جمعیت بهره‌برداران کشاورزی، به ترتیب منجر به کاهش ۰/۱۳ درصدی و ۰/۳۴ درصدی بهره‌وری شده‌اند. اثر میزان کود مصرفی نیز معنی‌دار نبود. این یافته‌ها بر حساسیت کشاورزی استان به افزایش دمای شبانه، فشار شدید بر منابع آب زیرزمینی و احتمالاً بازده نزولی نیروی کار در بخش کشاورزی تاکید دارد و لزوم اتخاذ سیاست‌های سازگارانه با تغییر اقلیم و مدیریت پایدار منابع را برجسته می‌سازد.

Evaluation of the Impact of Climate Changes on Agricultural Productivity in Sistan and Baluchestan Province

Safiyeh Rigi ladez

Department of Physical Geography, Faculty of Geography and Environmental Planning, University of Sistan and Baluchestan, Zahedan, Iran

Sayed Hadi Tayebnia

Department of Physical Geography, Faculty of Geography and Environmental Planning, University of Sistan and Baluchestan, Zahedan, Iran

Peyman Mahmoodi

Department of Physical Geography, Faculty of Geography and Environmental Planning, University of Sistan and Baluchestan, Zahedan, Iran

Email: p_mahmoudi@gep.usb.ac.ir

Ebrahim Moradi

Department of Agricultural Economics, Faculty of Economics, University of Sistan and Baluchestan, Zahedan, Iran

Abstract

The main objective of this study was to investigate the effect of climate change and variability on agricultural productivity in Sistan and Baluchestan province using panel data analysis. In this study, the productivity of agricultural products was considered as the dependent variable, and the total population of agricultural sector beneficiaries, the amount of fertilizer consumption, the annual discharge of groundwater resources, the average annual maximum temperature, the average annual minimum temperature, and the total annual precipitation were used as independent variables in the panel regression modeling. The results of the panel regression analysis showed that among the three climatic variables studied (average annual maximum temperature and average annual minimum temperature), the average annual minimum temperature was the only variable that had a positive effect on the agricultural productivity of this province at a 95% probability level, meaning that with a 1% increase in the average annual minimum temperature, the productivity of agricultural products in Sistan and Baluchestan province increased by about 0.52%. Apart from the average annual minimum temperature, the annual discharge of groundwater resources and the total population of agricultural sector beneficiaries were two variables whose negative effects on the productivity of agricultural products in this province were confirmed at a 99% probability level. A 1% increase in groundwater discharge led to a 0.13% decrease (due to salinization of groundwater), and a 1% decrease in the total population of agricultural sector beneficiaries led to a 0.34% decrease (due to reduced fertility of agricultural lands and their abandonment by farmers) in the productivity of agricultural products.

Keywords: Precipitation, temperature, trend, Sen's slope estimator, Cobb-Douglas (C-D) production function

تغییر اقلیم در حال حاضر یکی از مهمترین چالش‌های زیست محیطی جهان است که افزایش دمای هوا، تغییر الگوی بارش، جابجایی طبقات مختلف اقلیمی، ذوب شدن یخ‌های قطبی، بالا آمدن سطح آب‌های آزاد جهان و تغییر در آستانه‌های آب و هوایی از پیامدهای آن محسوب می‌شود (پناهی و اسمعیل درجانی، ۱۳۹۹). از بین بخش‌های مختلف اقتصادی، بخش کشاورزی مهمترین بخشی است که بیشترین تأثیرپذیری را از تغییر اقلیم دارد (سید^۱ و همکاران، ۲۰۲۲). در بخش کشاورزی اگر نسبت به نقش اقلیم و پدیده‌های اقلیمی آگاهی کافی وجود نداشته باشد نه تنها نتایج مطلوبی حاصل نخواهد شد بلکه امکان عدم موفقیت و شکست طرح‌های کشاورزی بیش از پیش خواهد بود. ثابت شده است که در بیشتر موارد بازده کم محصولات کشاورزی چیزی جز نتیجه عدم آگاهی و برنامه‌ریزی متنا سب با شرایط اقلیمی نبوده است (نوگروهو^۲ و همکاران، ۲۰۲۳؛ گریگوریوا^۳ و همکاران، ۲۰۲۳؛ ملخی^۴ و همکاران، ۲۰۲۱).

مطالعات بسیاری نشان داده‌اند که ک شورهای واقع در عرض‌های جغرافیایی میانی و بالا و نیز ک شورهایی با درآمد بالاتر، تأثیر مثبتی از تغییر اقلیم بر بازده محصولات کشاورزی داشته‌اند؛ در حالی که، این تأثیر در ک شورهای واقع در عرض جغرافیایی پایین و ک شورهایی با درآمد پایین‌تر منفی بوده است (پراوین و شارما^۵، ۲۰۱۹؛ لی^۶، ۲۰۰۹؛ آدامز^۷ و همکاران، ۱۹۹۸). عوامل زیادی وجود دارند که میزان آسیب‌پذیری را برای ک شورهای در حال توسعه افزایش می‌دهند؛ عواملی همچون سطح پایین پی شرف‌های فن‌آوری (لیبرت^۸ و همکاران، ۲۰۱۲)، کمبود منابع مورد نیاز برای سازگاری با تغییر اقلیم در بخش کشاورزی (شایان مهر^۹ و همکاران، ۲۰۲۲) و وابستگی اقتصادی زیاد این کشورها به کشاورزی (کومار و شارما، ۲۰۱۳). این باعث افزایش روزافزون فاصله بین کشورهای توسعه یافته و در حال توسعه در بازده محصولات کشاورزی می‌شود (کومار و شارما^{۱۰}، ۲۰۱۳).

بیشتر مدل‌های اقلیمی افزایش دمایی در حدود ۲ درجه سلسیوس تا سال ۲۰۳۰ و در حدود ۴ درجه سلسیوس تا پایان قرن بیست و یکم را برای خاورمیانه پیش‌بینی نموده‌اند (سولومون^{۱۱} و همکاران، ۲۰۰۷). مطالعات حاکی از وارد شدن زیان‌های قابل توجهی به عملکرد غلات تا سال ۲۱۰۰ در ک شورهای خاورمیانه به دلیل افزایش دما است (ک. ستانتینیدو^{۱۲}، ۲۰۱۶). علاوه بر این، توزیع زمانی-فضایی نایک‌نواخت بارش همراه با خطرات سیل و

-
- 1- Syed
 - 2 - Nugroho
 - 3 - Grigorieva
 - 4 - Malhi
 - 5 - Praveen and Sharma
 - 6 - Lee
 - 7 - Adams
 - 8 - Lybbert
 - 9 - Shayanmehr
 - 10 - Kumar and Sharma
 - 11 - Solomon
 - 12 - Constantinidou

خشک سالی احتمالاً باعث تضعیف رشد کشتزار در اکثر کشتزارهای واقع در این منطقه شوند (زیتیس^۱ و همکاران، ۲۰۲۲). انتظار می‌رود ایران نیز در بهره‌وری محصولات کشتزار زیان‌هایی را تجربه نماید (اکبری و همکاران، ۱۴۰۱: کریمی فرد و همکاران، ۱۳۹۷).

عینی نرگسه و همکاران (۱۳۹۴) اثر تغییر اقلیم بر عملکرد گندم آبی استان فارس را شبیه سازی و مورد مطالعه قرار دادند. آنها نشان دادند که تحت افزایش دما و غلظت دی‌اکسید کربن، عملکرد دانه گندم آبی به طور میانگین در دوره ۲۰۳۰-۲۰۱۱، ۱۲ درصد، در دوره ۲۰۶۵-۲۰۴۶، ۱۹ درصد و در دوره ۲۰۹۹-۲۰۸۰، ۲۴ درصد افزایش خواهد داشت. **کوچکی و نصیری محلاتی (۱۳۹۵)** عملکرد چهار محصول اصلی ایران یعنی گندم، ذرت، نخود و چغندر قند را تحت شرایط تغییر اقلیم تا سال ۲۰۵۰ میلادی شبیه سازی و مورد مطالعه قرار دادند. نتایج نشان دادند که میانگین عملکرد گندم، ذرت، نخود و چغندر قند تا سال ۲۰۵۰ در مناطق مختلف کشور به ترتیب ۱۸/۶، ۱۹/۶، ۶/۶ و ۲۰ درصد کاهش خواهد یافت. همچنین آنها بیان داشتند که این کاهش عمدتاً به دلیل افزایش دما بوده و افزایش غلظت دی‌اکسید کربن تنها حدود ۵/۶ درصد از اثرات منفی دمای بالا را جبران می‌کند. **بارانی و کرمی (۱۳۹۸)** در مطالعه‌ای تاثیر بارش، دما، تبخیر و تعرق، رطوبت نسبی و **تندی باد** را بر تولیدات کل محصولات زراعی ایران در طی سال‌های ۱۳۶۴ تا ۱۳۹۴ مورد مطالعه قرار دادند. آنها برای این مطالعه از روش رگرسیون پانل بهره بردند. نتایج این مطالعه نشان داد که متغیرهای دما، میزان تبخیر و تعرق و **تندی باد** در سطح ۵ درصد و متغیر بارش در سطح ۵ درصد بر تولیدات کل محصولات زراعی ایران اثرگذار بوده‌اند. دما اثر منفی بر تولیدات زراعی داشته است به نحوی که با افزایش دما، میزان تولیدات زراعی به میزان ۱/۰۱ میلیون تن کاهش می‌یابد. متغیر بارش بر میزان تولیدات زراعی اثر مثبت دارد و با افزایش بارش، تولیدات زراعی به اندازه ۰/۰۲۵ میلیون تن افزایش خواهد یافت. متغیرهای تبخیر و تعرق و سرعت باد اثر منفی بر تولیدات زراعی داشته است به نحوی که با افزایش تبخیر و تعرق و سرعت باد، تولیدات زراعی به ترتیب به میزان ۰/۰۸ و ۱/۰۲ میلیون تن کاهش پیدا می‌کنند.

جنوب شرق ایران به دلیل ظرفیت سازگاری محدود و کمبود منابع شدید آبی، در برابر تغییر اقلیم بسیار آسیب پذیر است. لذا تغییر اقلیم به چالش‌های موجود در توسعه این قسمت از ایران که هنوز با مشکلات ناامنی غذایی و فقر دست و پنجه نرم می‌کنند می‌افزاید. این تاثیرات برای استانی همچون استان سیستان و بلوچستان که حدود ۱۵ درصد از نیروی کار آن در بخش کشتزار فعالیت می‌کنند (**مرکز آمار ایران، ۱۳۹۵**) و معیشت بخش‌هایی از جمعیت آن از این طریق تامین می‌شوند بسیار مهم و حائز اهمیت است. در طول یک دهه گذشته، رخدادهای فرین اقلیمی همچون سیل‌ها و خشکسالی‌ها به طور فزاینده‌ای بخش کشاورزی و جمعیت روستایی استان سیستان و بلوچستان را تحت تاثیر قرار داده است. به ویژه سیل‌های تاریخی سال‌های ۱۳۹۱، ۱۳۹۳، ۱۳۹۵، ۱۳۹۸ و ۱۴۰۲ و خشکسالی‌های شدید دو دهه اخیر آسیب‌پذیری خانوارهای روستایی در استان سیستان و بلوچستان را نشان

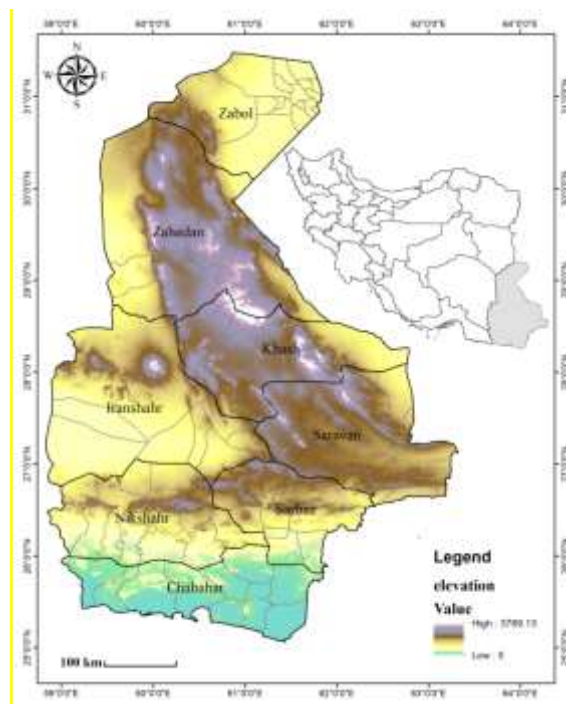
می‌دهد. به طوریکه سیل دی ماه سال ۱۳۹۸ به ۲۷۰۰۰ هکتار از اراضی دیم و آبی، ۷۸۰۰ هکتار از باغات، ۱۴۵۴ حلقه چاه و ۳۳۲ میلیارد تومان خسارت به این استان وارد نموده است. لذا ضرورت مطالعه تغییر و تغییرپذیری اقلیمی بر جنبه‌های مختلف اقتصادی، اجتماعی و زیست محیطی این استان بسیار احساس می‌شود. مطالعات اندکی تاثیر تغییر و تغییرپذیری اقلیم را بر بهره‌وری کشاورزی جنوب شرق ایران به خصوص استان سیستان و بلوچستان در سطح کلان مورد توجه قرار داده‌اند. این مطالعه قصد دارد برای اولین بار اثر تغییر و تغییرپذیری اقلیمی را بر بهره‌وری کشاورزی استان سیستان و بلوچستان با استفاده از تحلیل دیتا پانل مورد توجه قرار دهد.

داده‌ها و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه

استان سیستان و بلوچستان، در جنوب شرق ایران، با وسعتی حدود ۱۸۰۷۲۶ کیلومتر مربع دومین استان پهناور ایران است (شکل ۱). بر اساس سرشماری سال ۱۳۹۵، این استان جمعیتی بالغ بر ۲۷۷۵۰۱۴ نفر برابر با ۳/۵ درصد از کل جمعیت ایران را دارا بوده است (مرکز آمار ایران، ۱۳۹۵) که از نظر جمعیتی کم‌تراکم‌ترین استان ایران به شمار می‌رود. با توجه به شرایط خاص جغرافیایی و آب و هوایی، سیستم کشاورزی این قسمت از ایران در برابر تغییرات آب و هوایی بسیار شکننده می‌باشد. مساحت کل اراضی دیم و آبی این استان، بر اساس سرشماری سال ۱۳۹۳ برابر با ۳۳۸۳۷۸ هکتار است که حدود ۲/۰۵ درصد از کل اراضی زراعی ایران را شامل می‌شود (مرکز آمار ایران، ۱۳۹۳).

بر اساس روش طبقه‌بندی اقلیمی آمبرژه، استان سیستان و بلوچستان دارای چهار اقلیم خشک خیلی گرم، خشک گرم، خشک معتدل و خشک سرد می‌باشد. میانگین بارش سالانه این استان نزدیک به ۹۳ میلی‌متر است که توزیع فضایی آن در نقاط مختلف آن بسیار متفاوت است، به‌طوری‌که میانگین بارش سالانه در ایستگاه چابهار به ۱۲۰ میلی‌متر و در ایستگاه زابل به ۵۳ میلی‌متر می‌رسد. میانگین دمای سالانه این منطقه ۲۳/۷ درجه سلسیوس است. پایین‌ترین میانگین دمای سالانه متعلق به ایستگاه زاهدان با ۱۹/۲ درجه سلسیوس و بالاترین آن با ۲۷/۲ درجه سلسیوس متعلق به ایستگاه ایرانشهر می‌باشد.



شکل ۱- موقعیت جغرافیایی استان سیستان و بلوچستان در جنوب شرق ایران

داده ها

به منظور بررسی اثرات تغییرپذیری اقلیمی بر بهره‌وری کشاورزی در استان سیستان و بلوچستان در جنوب شرق ایران به چندین پایگاه داده‌ای مختلف نیاز بود که در ادامه به تفکیک هر کدام از آنها معرفی خواهند شد.

پایگاه داده‌ای اول مربوط به داده‌های بارش و دمای حداقل و حداکثر سالانه ۶ ایستگاه همدید استان برای یک دوره ۳۰ ساله (۱۳۶۸-۱۳۹۸) بود که از اداره کل هواشناسی استان سیستان و بلوچستان اخذ شدند. مشخصات و پراکنش جغرافیایی این شش ایستگاه به ترتیب در جدول ۱ و شکل ۱ آورده شده‌اند.

جدول ۱- مشخصات ایستگاههای هواشناسی مورد استفاده در مطالعه

نام ایستگاه	عرض جغرافیایی	طول جغرافیایی	نوع ایستگاه
زابل	۳۱° ۲'	۶۱° ۲۹'	همدید
زاهدان	۲۹° ۲۸'	۶۰° ۵۳'	همدید
خاش	۲۸° ۱۳'	۶۱° ۱۲'	همدید
سراوان	۲۷° ۲۰'	۶۲° ۲۰'	همدید
ایران‌شهر	۲۷° ۱۲'	۶۰° ۴۲'	همدید
چابهار	۲۵° ۱۷'	۶۰° ۳۷'	همدید

مأخذ: اداره کل هواشناسی استان سیستان و بلوچستان، ۱۴۰۰

با توجه به اینکه در تمامی مراکز شهرستان‌های استان سیستان و بلوچستان ایستگاه‌های هواشناسی با داده‌های بلندمدت وجود ندارد. لذا نتایج حاصل از ایستگاه‌های انتخاب شده قابل تعمیم به شهرستان‌های مجاور می‌باشد. به عبارت دیگر نتایج به دست آمده برای ایستگاه‌های مورد مطالعه می‌تواند نماینده وضعیت اقلیمی در چند شهرستان همجوار یکدیگر باشند. در ذیل به تفکیک هر ایستگاه همدید و نحوه تعمیم آن به شهرستان‌های همجوار مشخص شده است:

- ایستگاه همدید زابل نماینده شهرستان‌های هامون، زهک، زابل، هیرمند و نیمروز خواهد بود.
- ایستگاه همدید زاهدان نماینده شهرستان‌های زاهدان و میرجاوه خواهد بود.
- ایستگاه همدید خاش تنها نماینده شهرستان خاش خواهد بود.
- ایستگاه همدید سراوان نماینده شهرستان‌های سراوان، سیب سوران، مهرستان و سرباز خواهد بود.
- ایستگاه همدید ایرانشهر نماینده شهرستان‌های ایرانشهر، دلگان و فنوج خواهد بود.
- ایستگاه همدید چابهار نماینده شهرستان‌های چابهار، کنارک، قصرقند و نیکشهر خواهد بود.

در شکل ۲ نقشه تقسیمات سیاسی استان سیستان و بلوچستان جهت آشنایی با نحوه تعمیم داده‌های اقلیمی ایستگاه هواشناسی به شهرستان‌های مجاور آورده شده است.



شکل ۲- نقشه تقسیمات سیاسی استان سیستان و بلوچستان

پایگاه داده‌ای دوم مربوط به داده‌های اجتماعی-اقتصادی و جمعیتی است. در این مطالعه از سه سری زمانی جمعیت کل بهره‌برداران بخش کشاورزی، میزان کود مصرفی در بخش کشاورزی و میزان تخلیه سالانه منابع آب زیرزمینی به تفکیک شهرستان‌های استان سیستان و بلوچستان برای یک بازه زمانی ۱۵ ساله (۱۳۸۳-۱۳۹۸) استفاده شد. این داده‌ها از منابع مختلفی همچون سالنامه‌های آماری استان سیستان و بلوچستان، سازمان جهاد کشاورزی استان سیستان و بلوچستان، شرکت سهامی آب منطقه‌ای استان سیستان و بلوچستان و اداره کل ثبت احوال استان سیستان و بلوچستان گردآوری شده‌اند.

داده‌های مربوط به سطح زیر کشت و میزان تولید محصولات کشاورزی سومین پایگاه داده‌ای مورد استفاده در این مطالعه بود. داده‌های مربوط به سطح زیر کشت و میزان تولید محصولات کشاورزی به تفکیک برای تمامی شهرستان‌های استان سیستان و بلوچستان برای یک بازه زمانی ۱۵ ساله (۱۳۸۳-۱۳۹۸) از سازمان جهاد کشاورزی استان سیستان و بلوچستان دریافت شدند. با توجه به تنوع زیاد محصولات کشاورزی در سطح استان سیستان و

بلوچستان، تصمیم بر این گرفته شد که تمامی محصولات در پنج دسته محصولات جالیزی، محصولات علوفه‌ای، سبزیجات، حبوبات و غلات دسته بندی شوند.

روش شناسی پژوهش

روش شناسی ارائه شده در این پژوهش شامل دو بخش مجزا و در عین حال مرتبط با یکدیگر می‌باشند. در بخش اول جهت آشکار سازی روند تغییرات بلندمدت متغیرهای اقلیمی در استان سیستان و بلوچستان از روش ناپارامتریک تخمینگر شیب سن بهره گرفته شد و در بخش دوم جهت بررسی اثر تغییر و تغییرپذیری متغیرهای اقلیمی با بهره‌وری محصولات کشاورزی از رگرسیون پانل استفاده شد.

روش ناپارامتریک تخمینگر شیب سن

این روش ابتدا توسط **تیل** در سال ۱۹۵۰ ارائه و سپس توسط **سن** در سال ۱۹۶۸ بسط و گسترش داده شد. این روش نیز همانند بسیاری دیگر از روش‌های ناپارامتریک همچون من - کندال بر تحلیل تفاوت بین مشاهدات یک سری زمانی استوار است. این روش زمانی می‌تواند مورد استفاده قرار گیرد که روند موجود در سری زمانی یک روند خطی باشد. این بدان معناست که $f(t)$ در معادله شماره ۱ برابر است با:

$$f(t) = Qt + B \quad (1)$$

که Q ، شیب خط روند و B ، مقدار ثابت است. مبانی محاسباتی این روش و نحوه به دست آوردن ضرایب ثابت آن به طور کامل در منبع **علیجانی و همکاران (۱۳۹۱)** آورده شده است.

روش رگرسیون پانل

رابطه بین تغییرپذیری اقلیمی و بهره‌وری کشاورزی برای سال‌های ۱۳۸۳-۱۳۹۷ با اجرای یک مدل اقتصادسنجی با استفاده از رگرسیون پانل مورد ارزیابی قرار گرفت. همانگونه که پیش‌تر نیز در بخش معرفی داده‌ها اشاره شده است، داده‌های جمع آوری شده مربوط به شش شهرستان استان سیستان و بلوچستان هستند (نحوه ادغام شهرستان‌های جدیدتر در شهرستان‌های قدیمی‌تر در بخش داده‌ها توضیح داده شده‌اند). در این مطالعه، مجموع میزان بهره‌وری محصولات کشاورزی (غلات، حبوبات، سبزیجات، محصولات جالیزی و محصولات علوفه‌ای) به عنوان متغیر وابسته و میانگین دمای حداکثر سالانه، میانگین حداقل سالانه، مجموع بارش سالانه، جمعیت روستاها، جمعیت کل بهره‌برداران بخش کشاورزی، میزان کود مصرفی و میزان تخلیه سالانه منابع آب زیرزمینی نیز به عنوان متغیرهای مستقل یا تبیینی انتخاب شده‌اند. شکل کلی رگرسیون پانل به شکل معادله ۲ می‌باشد (**کومار و همکاران، ۲۰۱۳**):

$$Y_{sn} = \beta_1 X_{sn} + \beta_2 L_{sn} + \beta_3 T_{sn} + \beta_4 W_{sn} + u_n + v_{sn} \quad (2)$$

که Y_{sn} متغیر وابسته، W_{sn} ، T_{sn} ، X_{sn} متغیرهای مستقل، u_n ضریب ثابت عرض از مبدا، β ضرایب شیب و v_{sn} جمله خطای غیر متعارف است. تابع تولید کاب داگلاس در این مدل جهت تحلیل اثر تغییر و تغییرپذیری اقلیم بر بهره وری کشاورزی گنجانده شده است. شکل تابع این معادله می تواند به صورت زیر باشد (کومار و همکاران، ۲۰۱۳؛ کومار و همکاران، ۲۰۱۶):

$$(TProd)_{sn} = f\{FC_{sn}, ASO_{sn}, VP_{sn}, GWD_{sn}\} \quad (6)$$

که $TProd$ مخفف میزان بهره وری محصولات مختلف کشاورزی است. S اشاره به تعداد شهرستانها برای هر محصول و n نیز مربوط به دوره زمانی در نظر گرفته شده می باشد. FC مجموع میزان کود مصرفی، ASO مخفف جمعیت کل بهره برداران بخش کشاورزی، VP جمعیت روستاها و GWD میزان تخلیه سالانه آب زیر زمینی است. عوامل آب و هوایی به عنوان یک عامل ورودی برای رشد محصول در مدل تولید کاب داگلاس در نظر گرفته می شود. بنابراین می توانیم آن را به شکل تابع زیر بنویسیم:

$$(Tprod)_{sn} = f\{FC_{sn}, ASO_{sn}, VP_{sn}, GWD_{sn}, RF_{sn}, Tmax_{sn}, Tmin_{sn}\} \quad (7)$$

که $Tmax_{sn}$ میانگین دمای حداکثر سالانه، $Tmin_{sn}$ میانگین دمای حداقل سالانه و RF نیز اشاره به میانگین بارش سالانه دارد. معادله فوق را می توان به شکل تولید کاب داگلاس به صورت زیر نوشت:

$$\ln(TProd)_{sn} = \beta_0 + \beta_1 \ln(FC)_{sn} + \beta_2 \ln(ASO)_{sn} + \beta_3 \ln(VP)_{sn} + \beta_4 \ln(GWD)_{sn} + \beta_5 \ln(RF)_{sn} + \beta_6 (Tmax)_{sn} + \beta_7 (Tmin)_{sn} + \mu_s \quad (8)$$

که β_0 ضریب ثابت، $\beta_1, \beta_2, \beta_3, \beta_4, \beta_5, \beta_6, \beta_7$ ضرایب متغیرهای مربوطه و μ_s نیز جمله عرض از مبدا است. شکل تابعی تابع عملکرد کاب داگلاس در معادله فوق آورده شده است (کومار و همکاران، ۲۰۱۳؛ کومار و همکاران، ۲۰۱۶). فرضیات این مدل در جدول ۲ آورده شده اند:

جدول ۲- فرضیات - رگرسیون داده های پانل

شماره ردیف	فرضیات	متغیر	روش آزمون
۱	میزان کود مصرفی بیشتر، میزان تولید محصولات کشاورزی بیشتر	FC	رگرسیون خطی با خطاهای استاندارد اصلاح شده پانل (PCSEs)
۲	جمعیت کل بهره برداران بخش کشاورزی بیشتر، میزان تولید محصولات کشاورزی بیشتر	ASO	رگرسیون خطی با خطاهای استاندارد اصلاح شده پانل (PCSEs)
۳	جمعیت روستایی بیشتر، میزان تولید محصولات کشاورزی بیشتر	VP	رگرسیون خطی با خطاهای استاندارد اصلاح شده پانل (PCSEs)
۴	میزان تخلیه سالانه منابع آب زیرزمینی بیشتر، میزان تولید محصولات کشاورزی بیشتر	GWD	رگرسیون خطی با خطاهای استاندارد اصلاح شده پانل (PCSEs)
۵	میزان بارش بیشتر، میزان تولید محصولات کشاورزی بیشتر	RF	رگرسیون خطی با خطاهای استاندارد اصلاح شده پانل (PCSEs)
۶	میزان دمای حداکثر بالاتر، میزان تولید محصولات کشاورزی بیشتر	Tmax	رگرسیون خطی با خطاهای استاندارد اصلاح شده پانل (PCSEs)
۷	میزان دمای حداقل بالاتر، میزان تولید محصولات کشاورزی بیشتر	Tmin	رگرسیون خطی با خطاهای استاندارد اصلاح شده پانل (PCSEs)

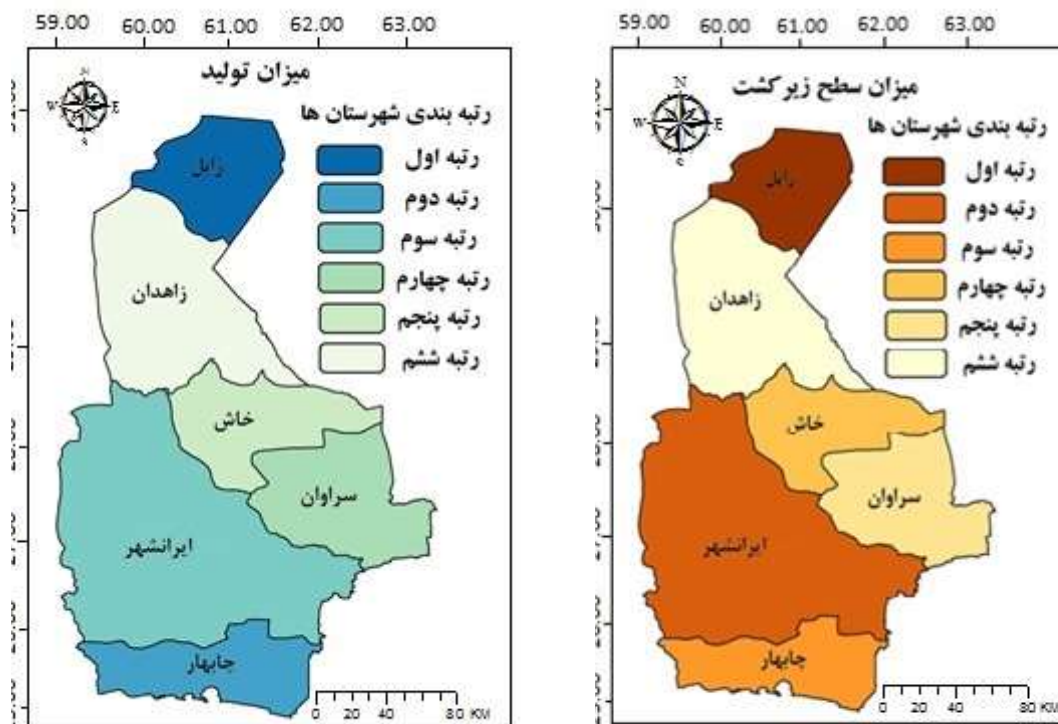
یافته‌های تحقیق

با توجه به اینکه میزان تولید و میزان مساحت زیر کشت هر کدام از دسته محصولات پنج‌گانه استان سیستان و بلوچستان شامل محصولات جالیزی، علوفه‌ای، سبزیجات، حبوبات و غلات در اختیار بود، با تقسیم میزان مجموع تولید محصولات پنج‌گانه بر مساحت زیر کشت آنها، میزان بهره‌وری برحسب تن در هر هکتار به دست آمد. لذا در این مطالعه میزان بهره‌وری محصولات کشاورزی به عنوان متغیر وابسته و دیگر متغیرها همچون جمعیت کل بهره‌برداران بخش کشاورزی، میزان کود مصرفی، میزان تخلیه سالانه منابع آب زیرزمینی، میانگین دمای حداکثر سالانه، میانگین دمای حداقل سالانه و مجموع بارش سالانه به عنوان متغیرهای مستقل در مدلسازی رگرسیون پانل مورد استفاده قرار گرفتند.

میانگین سطح زیر کشت محصولات کشاورزی در استان سیستان و بلوچستان به طور میانگین حدود ۱۷۹۰۴۶ هکتار می‌باشد که از این مساحت تقریباً ۱۹۵۹۹۰۲ تن محصولات کشاورزی برداشت شده است. بر اساس سطح زیر کشت به ترتیب شهرستان‌های زابل (۷۵۴۰۰ هکتار)، ایرانشهر (۳۰۵۵۴ هکتار)، چابهار (۲۶۵۵۵ هکتار)، خاش (۱۸۴۲۷ هکتار)، سراوان (۱۵۰۸۸ هکتار) و زاهدان (۱۲۹۷۶ هکتار) بیشترین مساحت (شکل ۳) و بر اساس میزان تولید به ترتیب شهرستان‌های زابل (۶۱۴۹۵۹ تن)، چابهار (۴۳۴۸۶۷ تن)، ایرانشهر (۳۶۵۳۲۰ تن)، سراوان (۲۲۱۸۶۷ تن)، خاش (۱۶۸۰۹۴ تن) و زاهدان (۱۵۳۷۱۹ تن) بیشترین میزان تولید را داشته‌اند (شکل ۳). همچنین در شکل ۴ در قالب دو نقشه رتبه بندی شهرستان‌های استان سیستان و بلوچستان در میزان و سطح زیر کشت محصولات کشاورزی آورده شده است.

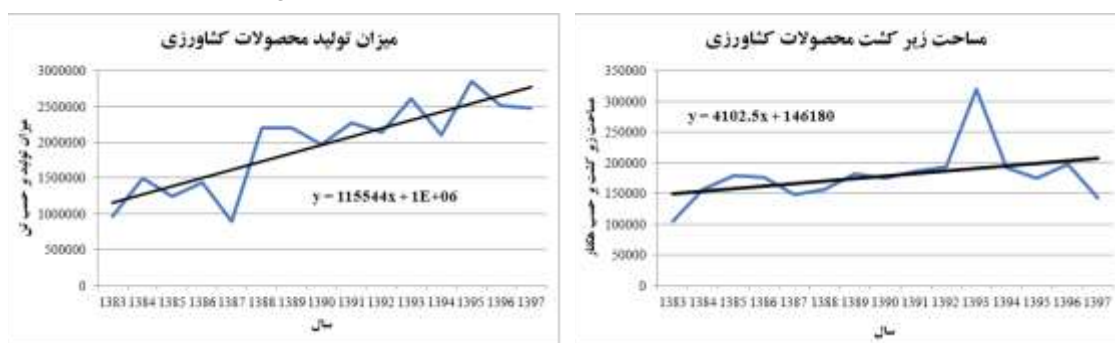


شکل ۳- نمودارهای میانگین ۱۵ ساله (۱۳۷۸-۱۳۹۸) میزان تولید (سمت چپ) و سطح زیر کشت (سمت راست) محصولات کشاورزی به تفکیک شهرستان در استان سیستان و بلوچستان



شکل ۴- نقشه رتبه بندی شهرستان‌های استان سیستان و بلوچستان در میزان تولید (سمت چپ) و سطح زیر کشت (سمت راست) محصولات کشاورزی (۱۳۷۸-۱۳۹۸)

تغییرات سال به سال سطح زیر کشت و میزان تولید محصولات کشاورزی برای استان سیستان و بلوچستان نیز در شکل ۵ آورده شده‌اند. بر اساس این شکل به روشنی مشاهده می‌شود که هم سطح زیر کشت و هم میزان تولید روند افزایشی داشته‌اند اما ظاهراً روند افزایشی میزان تولید بسیار بیشتر بوده است (شکل ۵).



شکل ۵- نمودار تغییرات زمانی سطح زیر کشت (بر حسب هکتار) و میزان تولید (بر حسب تن) محصولات کشاورزی در استان سیستان و بلوچستان همراه با شیب روند تغییرات آنها

جدول ۳ نتایج تحلیل رگرسیون پانل در خصوص عوامل اثرگذار بر میزان بهره‌وری محصولات کشاورزی در استان سیستان و بلوچستان را نشان می‌دهد. همانگونه که در جدول ۳ قابل مشاهده است عدم اثرگذاری بارش بر بهره

وری محصولات کشاورزی در استان سیستان و بلوچستان است. عدم این اثر گذاری را می توان در این نکته دانست که بیش از ۹۵ درصد کشاورزی در این استان به صورت آبی انجام می گیرد. یعنی آب مورد نیاز برای بخش کشاورزی از منابع دیگری غیر از بارش تامین می شود. میانگین دمای حداقل سالانه مهمترین متغیر اقلیمی است که اثر گذاری آن بر بهره وری کشاورزی در سطح احتمالاتی ۹۵ درصد مورد تایید قرار گرفته است. همانگونه که در جدول ۳ آورده شده است. این متغیر تنها متغیری بوده است که اثر آن بر روی بهره وری کشاورزی مثبت بوده است یعنی با افزایش یک درصدی در میانگین دمای حداقل سالانه حدود ۰/۵۲ درصد بر بهره وری محصولات کشاورزی در استان سیستان و بلوچستان افزوده می شود.

تخلیه سالانه منابع آب زیرزمینی و جمعیت کل بهره برداران بخش کشاورزی دو متغیری هستند که اثرات منفی آنها در سطح احتمالاتی ۹۹ درصد بر بهره وری محصولات کشاورزی در این استان مورد تایید قرار گرفته است. افزایش یک درصدی در تخلیه منابع آب زیرزمینی باعث کاهش ۰/۱۳ درصدی در بهره وری محصولات کشاورزی می شود (جدول ۳). در نهایت دومین متغیری که اثر منفی آن بر بهره وری بخش کشاورزی در سطح احتمالاتی ۹۹ درصد مورد تایید قرار گرفته است، متغیر جمعیت کل بهره برداران بخش کشاورزی است. کاهش جمعیت کل بهره برداران بخش کشاورزی در چند سال اخیر اثر منفی بر بهره وری کشاورزی در این استان داشته است به طوریکه با کاهش یک درصدی جمعیت کل بهره برداران بخش کشاورزی حدود ۰/۳۴ درصد بهره وری محصولات کشاورزی کاهش پیدا می کند.

جدول ۴- تحلیل نتایج به دست آمده از رگرسیون خطی با خطاهای استاندارد اصلاح شده پانل (PCSE) برای میزان بهره وری

محصولات کشاورزی به صورت کلی در استان سیستان و بلوچستان

متغیر	ضریب تغییرات
مجموع بارش سالانه	-۰/۰۱
میانگین دمای حداکثر سالانه	-۰/۱۱
میانگین دمای حداقل سالانه	۰/۵۲**
تخلیه سالانه منابع آب زیرزمینی	-۰/۱۳***
میزان کود مصرفی	-۰/۰۹
جمعیت کل بهره برداران بخش کشاورزی	-۰/۳۴***
تعداد مشاهدات: ۹۰ مورد	
تعداد گروه ها: ۶ گروه	
ضریب تبیین: ۰/۴۲	

***: سطح احتمالاتی ۹۹ درصد، **: سطح احتمالاتی ۹۵ درصد، *: سطح احتمالاتی ۹۰ درصد

مأخذ: یافته‌های تحقیق، ۱۴۰۰

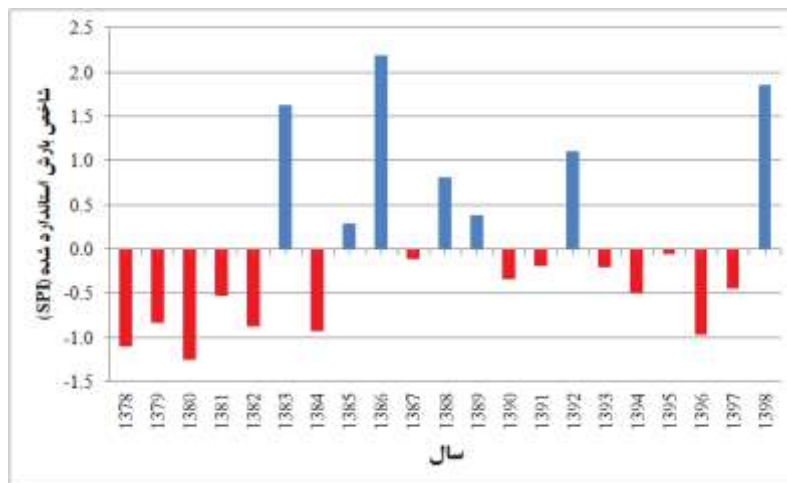
بحث

همانگونه که در شکل ۴ مشاهده شد روند تغییرات بلندمدت سطح زیر کشت در استان سیستان و بلوچستان در ۱۵ سال مورد مطالعه (۱۳۸۳-۱۳۹۷) یک روند افزایشی بوده است به طوریکه در این ۱۵ سال حدود ۶۱۵۳۵ هکتار بر اراضی کشاورزی استان افزوده شده است. همراه با این افزایش در سطح زیر کشت، میزان تولید نیز به شدت افزایش پیدا کرده است به طوریکه این افزایش تقریباً دو و نیم برابر افزایش در سطح زیر کشت بوده است. در طول دوره ۱۵ ساله مورد مطالعه میزان تولید در استان سیستان و بلوچستان حدود ۱۷۳۳۱۶۰ تن افزایش پیدا کرده است. این افزایش در سطح زیر کشت و میزان تولید محصولات کشاورزی در استان سیستان و بلوچستان مستقل از هر گونه تغییرات در میزان بارش بوده است. نتایج رگرسیون پانل مربوط به دسته محصولات مختلف نشان داد که بارش به عنوان یکی از مهمترین متغیرهای اقلیمی اثرگذار بر بخش کشاورزی هیچگونه نقش برجسته‌ای بر روی افزایش بهره وری محصولات کشاورزی در استان سیستان و بلوچستان نداشته است. دلیل این عدم اثرگذاری نیز مطمئناً در این نکته نهفته است که بیش از ۹۵ درصد محصولات کشاورزی در استان سیستان و بلوچستان به صورت آبی و تنها ۵ درصد آن به صورت دیم آبیاری می‌شوند. منابع تامین آب آبیاری محصولات کشاورزی در استان سیستان و بلوچستان شامل منابع آب‌های سطحی و منابع آب زیرزمینی می‌باشند. منابع آب‌های سطحی از شمال تا جنوب استان سیستان و بلوچستان شامل رودها، دریاچه‌ها، چاه نیمه و دریاچه‌های پشت سدها می‌شود. مهمترین رودهای این استان شامل رود هیرمند، بمپور، باهوکلان، فنوج، کهیر، ماشکید و تهلاب می‌باشد. مهمترین دریاچه‌ها نیز دریاچه هامون سیستان و دریاچه هامون جازموریان می‌باشند که اهمیت این دریاچه‌ها به دلیل آب شیرین آنها است. سدهای این استان نقش پررنگی در هدایت و تامین آب آشامیدنی و کشاورزی این استان دارند که این سدها شامل سد سیستان، زهک، بمپور، شیرگواز، پیشین، زیردان، خیرآباد، شی کلک، شمس آباد و مرگوک نیز می‌باشد. از نظر بهره برداری از آب‌های زیرزمینی نیز می‌توان به آبخوان‌های زاهدان، خاش، سراوان، ایرانشهر، سیب و سوران و سراوان اشاره نمود.

اما نکته بسیار مهمی که در تحلیل نقش بارش‌ها بر بهره وری محصولات کشاورزی در استان سیستان و بلوچستان بایستی بدان توجه نمود، نقش غیر مستقیم بارش‌ها است. هر چند تحلیل‌ها از عدم اثرگذاری مستقیم بارش‌ها بر بهره وری محصولات کشاورزی در استان سیستان و بلوچستان خبر می‌دهند اما نمی‌توان از نقش غیر مستقیم آنها غافل شد. بارش‌ها همواره مهمترین و تنهاترین منبع تغذیه منابع آب‌های سطحی و زیرزمینی به شمار می‌رود لازم به اشاره است که از منابع آب‌های زیرزمینی استان سیستان و بلوچستان ۹۳/۵ درصد برای کشاورزی، ۱/۳ درصد برای صنعت و ۵/۲ درصد برای آشامیدن استفاده می‌شود (حکمت‌نیا و همکاران، ۱۳۹۹). لذا با توجه به مطالب ذکر شده، بخش کشاورزی در این استان، مقدار قابل توجهی از منابع آب‌های زیرزمینی و سطحی را جهت تولید

محصولات کشاورزی مصرف می‌کند و بزرگترین مصرف کننده آب در این استان است (دهمره و همکاران، ۱۳۹۷). این اثر منفی زمانی اهمیت خود را در مدیریت منابع آب در بخش کشاورزی استان بهتر نشان می‌دهد که از نظر بهره برداری از آبهای زیرزمینی، دو دشت زاهدان و خاش منطقه ممنوعه بحرانی و دشت‌های سراوان، ایرانشهر، سیب سوران و سراوان ممنوعه‌اند و این استان از نظر کمیت و کیفیت دسترسی به منابع آب با چالش جدی مواجه است (حکمت نیا و همکاران، ۱۳۹۹).

بر اساس شکل ۵ مشاهده شد که در ۲۱ سال منتهی به سال ۱۳۹۸، ۱۴ خشکسالی در استان سیستان و بلوچستان رخ داده است. این خشکسالی‌ها باعث فشار مضاعف بر منابع آب سطحی و زیرزمینی جهت تامین آب مورد نیاز کشاورزی شده است به طوریکه از نظر بهره‌برداری از آبهای زیرزمینی، دو دشت زاهدان و خاش منطقه ممنوعه بحرانی و دشت‌های سراوان، ایرانشهر، سیب سوران و سراوان ممنوعه شده‌اند (حکمت نیا و همکاران، ۱۳۹۹) و این استان از نظر کمیت و کیفیت دسترسی به منابع آب با چالش جدی مواجه است. جدا از بحث خشکسالی‌ها، روند بارش ایستگاه‌های مورد مطالعه تحت تاثیر تغییر اقلیم برای یک دوره ۳۰ ساله منتهی به سال ۱۳۹۸ توسط آزمون ناپارامتریک تخمینگر شیب سن مورد توجه قرار گرفت. نتایج این آزمون نشان می‌دهد که روند تغییرات بلندمدت بارش تمامی ایستگاه‌های مورد مطالعه در استان سیستان و بلوچستان کاهشی بوده‌اند. بیشترین کاهش در ایستگاه خاش و کمترین آن در ایستگاه زاهدان مشاهده شده است. اما در بین روندهای آشکار شده، تنها روند بارش ایستگاه زابل در سطح احتمالاتی ۹۵ درصد معنادار بوده‌اند. (جدول ۵).



شکل ۵- نمودار تغییرات شاخص بارش استاندارد شده (SPT) استان سیستان و بلوچستان برای بازه زمانی ۱۳۷۸-۱۳۹۸

نتایج تحلیل روند تغییرات دمایی در استان سیستان و بلوچستان نیز به روشنی نشان می‌دهد که هم میانگین دماهای حداقل سالانه و هم میانگین دماهای حداکثر سالانه دچار تغییر شده‌اند. این تغییر هم برای دماهای حداکثر سالانه و هم برای دماهای حداقل سالانه افزایشی بوده است (جدول ۵). اما شدت تغییرات ظاهراً برای دماهای حداکثر نسبت به دماهای حداقل بیشتر بوده است (جدول ۵). اما اثرگذاری این دو دما بر روی بهره‌وری کشت محصولات

کشاورزی در استان سیستان و بلوچستان بسیار متفاوت از یکدیگر بوده‌اند. به طوریکه افزایش یک درصدی در میانگین دمای حداقل سالانه باعث افزایش ۰/۵۲ درصدی در بهره‌وری محصولات کشاورزی شده است در حالیکه همین افزایش برای میانگین دماهای حداکثر سالانه باعث کاهش ۰/۱۱ درصدی بهره‌وری محصولات کشاورزی می‌شوند. اما لازم به اشاره است که اثرگذاری تغییرات دماهای حداقل و حداکثر سالانه به نسبت محصولات مختلف می‌تواند متفاوت باشد. به عنوان مثال افزایش یک درصدی میانگین دماهای حداکثر بر روی نباتات علوفه‌ای، محصولات جالیزی، سبزیجات و غلات اثر منفی و بر روی حبوبات اثر مثبت دارند. میانگین دماهای حداقل سالانه نیز بر روی نباتات علوفه‌ای، محصولات جالیزی و غلات اثر افزایشی و بر روی سبزیجات و حبوبات اثر گاهشی دارند. **جهانسیغ و همکاران (۱۳۹۵)** افزایش میانگین دما را تا سال ۲۱۰۰ میلادی در استان سیستان و بلوچستان را مورد تاکید قرار داده و اعتقاد دارند که با به تعویق انداختن زمان کاشت باعث کاهش ۱۲ تا ۲۵ روزه در طول فصل رشد محصولات کشاورزی به خصوص گندم می‌شود. اما این کاهش در طول فصل رشد متأسفانه باعث افزایش نیاز آبی گیاهان بین ۱/۲۷ تا ۷۷۱ مترمکعب در هر هکتار می‌شود.

جدول ۵- نتایج تحلیل روند میانگین دمای حداکثر سالانه، میانگین دمای حداقل سالانه و **مجموع** بارش سالانه با استفاده از روش

ناپارامتریک تخمینگر شیب سن

ایستگاه	میانگین دمای حداکثر سالانه	میانگین دمای حداقل سالانه	مجموع بارش سالانه
چابهار	۰/۰۱۸	۰/۰۶۲***	-۱/۰۵۳
ایران‌شهر	۰/۰۵۰*	۰/۰۳۳**	-۱/۷۰۵
سراوان	۰/۰۳۹*	۰/۰۳۹***	-۱/۵۲۵
خاش	۰/۰۵۵**	۰/۰۴۰***	-۲/۱۱۷
زابل	۰/۱۰۷***	۰/۰۴۴***	-۱/۵۰۰*
زاهدان	۰/۵۵**	۰/۰۴۸**	-۰/۲۴۵

***: سطح احتمالاتی ۹۹ درصد، **: سطح احتمالاتی ۹۵ درصد، *: سطح احتمالاتی ۹۰ درصد

مأخذ: یافته‌های تحقیق، ۱۴۰۰

همچنین افزایش میزان کود مصرفی یکی از مهمترین عوامل اثرگذار در افزایش بهره‌وری محصولات کشاورزی در استان سیستان و بلوچستان به شما می‌رود. اثر مثبت این عامل بر روی تمامی پنج دسته محصول مورد مطالعه توسط رگرسیون پانل مورد تایید قرار گرفته است. اما نایبستی فراموش کرد که در بلندمدت این عامل می‌تواند تغییر ماهیت داده و به عنوان یک عامل کاهش به شمار برود. چون **استفاده** فراوان از کودهای شیمیایی می‌تواند باعث کاهش حاصلخیزی خاک شود. در نهایت آنچه که در استان سیستان و بلوچستان جدا از تغییرات آب و هوایی

باعث نگرانی است کاهش جمعیت بهره‌برداران بخش کشاورزی است. این کاهش جمعیت در بهره‌برداران بخش کشاورزی می‌تواند به دلیل مهاجرت باشد. مهاجرت دو جنبه اصلی دارد، یکی زمینه دافع و رانش از مبدأ و دیگری زمینه‌های جذب و کشش در مقصد. در بلوچستان نیز همچون سیستان و دیگر نواحی مهاجر فرست، زمینه‌های محلی (مبدأ مهاجرت) در جهت دفع روستاییان به شدت عمل کرده است. نامساعد بودن شرایط محیطی و زیرساخت‌های اقتصادی و معیشتی به طور عمده و بعضاً کارکردهای فرهنگی و اجتماعی، به نسبت کمتر، در این روند دخالت داشته است. در بلوچستان عوامل عمده وادارکننده مهاجرت روستاییان از نظر اقتصادی عبارتند از (وزارت تعاون، کار و رفاه اجتماعی، ۱۳۹۵):

- به بن بست رسیدن دامداری سنتی با توجه به تحولات تاریخی و زیرساخت‌های محیطی و شرایط نامساعد طبیعی و همچنین فقدان دامداری صنعتی یا نیمه صنعتی در منطقه
 - فقدان کشاورزی کارآمد و درآمدزا، به سبب شرایط نامساعد طبیعی، روابط تولیدی ناسالم، سلف خری، نبود تکنولوژی مناسب در کشاورزی منطقه، کوچک بودن قطعات کشاورزی، مسئله خرده مالکی، کمبود آب مناسب و سطح بازده نازل
 - مسئله ترس از سربازگیری، فشار خان و سردار، ترس از قانون و ترس از آینده خود و خانواده
- در مقابل، عوامل عمده کشش و جذب در شهرها و نواحی مهاجرپذیر برای مهاجران روستایی در بلوچستان عبارتند از: وجود خریدار برای نیروی کار مردم بلوچ با توجه به مسائل فرهنگی، مذهبی، قومی، سنتی و منطقه‌ای در پاکستان از یک طرف و کشورهای حاشیه جنوبی خلیج فارس از طرف دیگر و در مقیاس محدودتر در دیگر نواحی داخلی ایران از جمله عوامل عمده جذب مهاجران بلوچ می‌باشد.

نتیجه گیری

این مطالعه با هدف ارزیابی اثر تغییرات اقلیمی و سایر عوامل بر بهره‌وری کشاورزی در استان سیستان و بلوچستان طی دوره زمانی ۱۳۸۳ تا ۱۳۹۸ با استفاده از تحلیل دیتا پانل انجام شد. نتایج نشان داد که بهره‌وری کشاورزی در این استان به طور پیچیده‌ای تحت تأثیر عوامل اقلیمی و مدیریتی قرار دارد.

یافته کلیدی و قابل توجه، اثر مثبت و معنی‌دار میانگین دمای حداقل سالانه بر بهره‌وری کشاورزی (ضریب ۰/۵۲+) بود. این امر می‌تواند ناشی از کاهش وقوع یخبندان‌های مضر یا افزایش طول دوره رشد برای برخی محصولات در این منطقه باشد که نیازمند بررسی‌های دقیق‌تر در سطح محصول است. این یافته در کنار روند افزایشی مشاهده شده برای دمای حداقل در ایستگاه‌های استان (جدول ۵)، می‌تواند یک جنبه کمتر دیده‌شده از تغییرات اقلیمی در منطقه باشد، هرچند که باید در کنار سایر اثرات منفی سنجیده شود. در مقابل، میانگین دمای حداکثر سالانه، اگرچه در مدل کلی به سطح معنی‌داری نرسید (ضریب ۰/۱۱-)، اما روند افزایشی آن (که طبق نتایج تحلیل روند، شدیدتر از دمای حداقل بوده) و اثرات منفی گزارش شده آن بر محصولات خاص در مطالعات پیشین (مانند جهانتیغ و

همکاران، ۱۳۹۵)، همسو با نگرانی‌های جهانی در مورد تنش گرمایی و افزایش نیاز آبی گیاهان در اثر گرمایش جهانی است (کنستانتینو، ۲۰۱۶؛ زیتیس و همکاران، ۲۰۲۲)

تحلیل‌ها نشان داد که مجموع بارش سالانه به طور مستقیم اثر معنی‌داری بر بهره‌وری کل کشاورزی استان ندارد، که این امر با توجه به وابستگی بیش از ۹۵ درصدی کشاورزی منطقه به آبیاری (کشت آبی)، قابل انتظار است. با این حال، نقش حیاتی بارش به عنوان منبع اصلی تغذیه منابع آب سطحی و به ویژه زیرزمینی، غیرقابل انکار است. روند کاهش بارش مشاهده شده در اکثر ایستگاه‌ها، به خصوص روند معنی‌دار کاهش در ایستگاه زابل، زنگ خطری جدی برای پایداری منابع آبی استان محسوب می‌شود و اهمیت مدیریت منابع آب را دوچندان می‌کند. این یافته با نتایج مطالعات در سایر مناطق خشک که کشاورزی آن‌ها به شدت به منابع آب محدود وابسته است، همخوانی دارد.

در میان عوامل غیر اقلیمی، تخلیه سالانه منابع آب زیرزمینی اثر منفی و بسیار معنی‌داری (ضریب $-0/13$) بر بهره‌وری کشاورزی نشان داد. این نتیجه، شواهد آماری محکمی بر وضعیت بحرانی منابع آب زیرزمینی در استان (که منجر به اعلام دشت‌های ممنوعه و ممنوعه بحرانی شده است، حکمت نیا و همکاران، ۱۳۹۹) و پیامدهای آن از جمله شور شدن آب و کاهش کیفیت آن برای کشاورزی است. این یافته، ضرورت اقدامات فوری برای مدیریت پایدار برداشت از آبخوان‌ها را بیش از پیش آشکار می‌سازد و با حجم وسیعی از تحقیقات ملی و بین‌المللی در زمینه ناپایداری کشاورزی مبتنی بر آب زیرزمینی هم‌راستا است. همچنین، نتایج نشان داد که کاهش جمعیت بهره‌برداران بخش کشاورزی با کاهش بهره‌وری همراه است (ضریب $-0/34$ - برای کاهش جمعیت)، که مؤید اهمیت نیروی کار در سیستم کشاورزی استان و لزوم توجه به عوامل اجتماعی-اقتصادی مؤثر بر ماندگاری کشاورزان در منطقه است. عدم معنی‌داری متغیر کود مصرفی نیز ممکن است بازتابی از پیچیدگی‌های مربوط به کیفیت، دسترسی و روش‌های استفاده از نهاده‌ها در شرایط واقعی استان باشد.

در مجموع، یافته‌های این پژوهش تصویری از یک سیستم کشاورزی را ترسیم می‌کند که علی‌رغم تلاش‌ها برای افزایش تولید (همانطور که روند افزایش سطح زیر کشت و تولید نشان می‌دهد)، به شدت در برابر تغییرات اقلیمی (به ویژه گرمایش و کاهش بارش‌های مؤثر) و فشار بر منابع آب آسیب‌پذیر است. به نظر می‌رسد چالش‌های ناشی از مدیریت ناپایدار منابع آب زیرزمینی و افزایش دما، مزایای احتمالی ناشی از افزایش دمای حداقل را کمرنگ می‌سازد. نتایج این تحقیق ضمن همسویی با کلیت مطالعات پیشین در زمینه آسیب‌پذیری کشاورزی مناطق خشک و نیمه‌خشک ایران (مانند اکبری و همکاران، ۱۴۰۱؛ کریمی فرد و همکاران، ۱۳۹۷) و جهان به تغییر اقلیم، بر اهمیت حیاتی مدیریت منابع آب و لزوم تدوین راهبردهای سازگاری بومی‌سازی شده برای استان سیستان و بلوچستان تأکید دارد.

بر اساس یافته‌ها، پیشنهاد می‌شود سیاست‌گذاران و برنامه‌ریزان بخش کشاورزی استان، تمرکز ویژه‌ای بر مدیریت پایدار منابع آب زیرزمینی از طریق کنترل برداشت، اجرای طرح‌های تغذیه مصنوعی و ترویج گسترده سامانه‌های

نوین آبیاری داشته باشند. همچنین، سرمایه گذاری در تحقیق و توسعه ارقام مقاوم به گرما و شوری، تقویت دانش بومی و سیستم‌های هشدار سریع اقلیمی و ارائه برنامه‌های حمایتی برای حفظ و توانمندسازی کشاورزان منطقه، از جمله اقدامات ضروری برای افزایش تاب‌آوری کشاورزی استان در برابر چالش‌های پیش رو خواهد بود. تحقیقات آتی می‌تواند بر تفکیک اثرات بر محصولات استراتژیک، تحلیل‌های فضایی دقیق‌تر، و ارزیابی اقتصادی راهکارهای مختلف سازگاری متمرکز شود.

منابع

۱. اکبری، سیدمحبوب اله، اعظم رضایی، فرهاد شیرانی بیدآبادی و فرشید اشراقی. (۱۴۰۱). بررسی ارتباط تغییر اقلیم و رشد بهره‌وری کل عوامل تولید جو دیم در ایران. اقتصاد کشاورزی، ۱۶(۱): ۸۱-۹۷.
۲. پناهی، حسین و نجمه اسمعیل درجانی. (۱۳۹۹). بررسی اثر گرمایش جهانی و تغییرات اقلیمی بر رشد اقتصادی (مطالعه موردی: استان‌های ایران طی دوره ۱۳۹۰-۱۳۸۰). علوم و تکنولوژی محیط زیست، ۲۲(۱): ۷۹-۸۸.
۳. جهانتیغ، محمد، فاطمه کاراندیش و معصومه دلبری. (۱۳۹۵). تحلیل اثرات تقویم کشت بر نیاز آبی گندم در استان سیستان و بلوچستان در شرایط تغییر اقلیم. نشریه آبیاری و زهکشی ایران، ۱۰(۴): ۴۸۹-۴۹۸.
۴. حکمت‌نیا، مهران، سید مهدی حسینی و مهدی صفدری. (۱۳۹۹). مدیریت منابع آب کشاورزی استان سیستان و بلوچستان از دیدگاه آب مجازی. مجله مهندسی آبیاری و آب ایران، ۱۱(۴۱): ۱۳۷-۱۴۹.
۵. علیجانی، بهلول، پیمان محمودی و عبدالجبار چوگان. (۱۳۹۱). بررسی روند تغییرات بارش‌های سالانه و فصلی ایران با استفاده از روش ناپارامتریک «برآورد کننده شیب سنس». پژوهش‌های اقلیم‌شناسی، ۳(۹): ۲۳-۴۲.
۶. عینی نرگسه، حامد، رضا دیهیم فرد، سعید صوفی زاده، مسعود حقیقت و امید نوری. (۱۳۹۴). پیش‌بینی اثرات تغییر اقلیم بر عملکرد گندم آبی استان فارس با استفاده از مدل APSIM. مجله تولید گیاهان زراعی، ۸(۴): ۲۰۳-۲۲۲.
۷. کریمی فرد، ساناز، رضا مقدسی، سعید یزدانی و امیر محمدی نژاد. (۱۳۹۷). بررسی تأثیر متغیرهای اقلیمی بر عملکرد محصولات کشاورزی در ایران (مطالعه موردی: استان خوزستان). اقتصاد کشاورزی، ۱۲(۲): ۹۱-۱۰۹.
۸. کوچکی، علیرضا، مهدی نصیری محلاتی. (۱۳۹۵). تأثیر تغییر اقلیم بر کشاورزی ایران: ۲- پیش‌بینی تولید محصولات زراعی و راهکارهای سازگاری، پژوهش‌های زراعی ایران، ۱۴(۱): ۱-۲۰.
۹. مرکز آمار ایران (۱۳۹۵). نتایج سرشماری سال ۱۳۹۵. <https://www.amar.org.ir/english/Population-and-Housing-Censuses/Census-2016-General-Results>.
۱۰. مرکز آمار ایران (۱۳۹۳). نتایج تفصیلی سرشماری عمومی کشاورزی ۱۳۹۳. <https://amar.org.ir/agricultural-statistics>
11. Adams, R. M., Hurd, B., H., Lenhart, S., Leary, N. (1998). Effects of global climate change on agriculture: an interpretative review. *Climate Research*, 11(1): 19-30. <https://www.int-res.com/abstracts/cr/v11/n1/p19-30/>
12. Constantinidou, K., Hadjinicolaou, P., Zittis, G., Lelieveld, J. (2016). Effects of climate change on the yield of winter wheat in the eastern Mediterranean and Middle East. *Climate Research*, 69: 129-141. <https://doi.org/10.3354/cr01395>
13. Grigorieva, E., Livenets, A., Stelmakh, E. (2023). Adaptation of Agriculture to Climate Change: A Scoping Review. *Climate*, 11(10): 202. <https://doi.org/10.3390/cli11100202>
14. Kumar, A., Sharma, P. (2013). Impact of Climate Variation on Agricultural Productivity and Food Security in Rural India. *Economics Discussion Papers*, No 2013-43, Kiel Institute for the World Economy. <http://www.economics-ejournal.org/economics/discussionpapers/2013-43>
15. Lee, H. L. (2009). The impact of climate change on global food supply and demand, food prices, and land use. *Paddy and Water Environment*, 7: 321-331. <https://doi.org/10.1007/s10333-009-0181-y>

16. Lybbert, T. J., Daniel A. Sumner, D. A. (2012). Agricultural technologies for climate change in developing countries: Policy options for innovation and technology diffusion. *Food Policy*, 37(1): 114-123. <https://doi.org/10.1016/j.foodpol.2011.11.001>.
17. Malhi, G. S., Kaur, M., Kaushik, P. (2021). Impact of Climate Change on Agriculture and Its Mitigation Strategies: A Review. *Sustainability*, 13(3): 1318. <https://doi.org/10.3390/su13031318>
18. Nugroho, A. D., Prasada, I. Y., Lakner, Z. (2023). Comparing the effect of climate change on agricultural competitiveness in developing and developed countries. *Journal of Cleaner Production*, 406: 137139. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2023.137139>.
19. Praveen, B., Sharma, P. (2019). A review of literature on climate change and its impacts on agriculture productivity. *Journal of Public Affairs*, 19 (4):e1960. <https://doi.org/10.1002/pa.1960>
20. Sen, P. K. (1968). Estimates of the Regression Coefficient Based on Kendall's Tau. *Journal of the American Statistical Association*, 63(324), 1379-1389.
21. Shayanmehr, S., Porhajašová, J. I., Babošová, M., Sabouhi Sabouni, M., Mohammadi, H., Rastegari Henneberry, S., Shahnoushi Foroushani, N. (2022). The Impacts of Climate Change on Water Resources and Crop Production in an Arid Region. *Agriculture*, 12(7): 1056. <https://doi.org/10.3390/agriculture12071056>
22. Solomon, S., Manning, M., Marquis, M., Qin, D. (2007). *Climate Change 2007—The Physical Science Basis: Working Group I Contribution to the Fourth Assessment Report of the IPCC*; Cambridge University Press: Cambridge, UK, Volume 4.
23. Syed, A., Raza, T., Bhatti, T. T., Eash, N. S. (2022). Climate Impacts on the agricultural sector of Pakistan: Risks and solutions. *Environmental Challenges*, 6: 100433. <https://doi.org/10.1016/j.envc.2021.100433>.
24. Theil, H. (1950). A rank-invariant method of linear and polynomial regression analysis. *Indagationes Mathematicae*, 1(2), 85–89.
25. Zittis, G., Almazroui, M., Alpert, P., Ciais, P., Cramer, W., Dahdal, Y., Fnais, M., Francis, D., Hadjinicolaou, P., Howari, F., Jrrar, A., Kaskaoutis, D. G., Kulmala, M., Lazoglou, G., Mihalopoulos, N., Lin, X., Rudich, Y., Sciare, J., Stenchikov, G., Xoplaki, E., Lelieveld, J. (2022). Climate change and weather extremes in the Eastern Mediterranean and Middle East. *Reviews of Geophysics*, 60: e2021RG000762. <https://doi.org/10.1029/2021RG000762>