

عنوان مقاله پژوهشی

تحلیل اثر بحران آب بر امنیت غذایی در ایران: رویکرد مبتنی بر معادلات همزمان **Analyzing the Impact of Water Crisis on Food Security in Iran: A Simultaneous Equations Approach**

صلاح الدین نیک پی^۱، بیتا رحیمی بدر^{۲*}، نیو نوزری^۳، شکوفه رضائی^۴

۱- دانشجوی دکترای گروه اقتصاد کشاورزی، واحد کرج، دانشگاه آزاد اسلامی، کرج، ایران

تلفن: ۰۹۱۸۳۷۶۵۱۳۷

پست الکترونیکی: nikpay.salah@gmail.com

۲- استادیار گروه اقتصاد کشاورزی، واحد کرج، دانشگاه آزاد اسلامی، کرج، ایران

تلفن: ۰۹۱۲۶۱۲۷۱۲۸

پست الکترونیکی: bita.rahimibadr@iau.ac.ir

۳- استادیار گروه اقتصاد کشاورزی، واحد کرج، دانشگاه آزاد اسلامی، کرج، ایران

تلفن: ۰۹۱۲۳۸۴۱۵۸۵

پست الکترونیکی: nivnozari@yahoo.com

۴- استادیار گروه خاکشناسی، واحد کرج، دانشگاه آزاد اسلامی، کرج، ایران

تلفن: ۰۹۱۳۳۲۲۳۳۳۸

پست الکترونیکی: shekoofeh.rezaei@iau.ac.ir

*نویسنده مسئول: بیتا رحیمی بدر

نشانی: گروه اقتصاد کشاورزی، واحد کرج، دانشگاه آزاد اسلامی، کرج، ایران

تلفن: ۰۹۱۲۶۱۲۷۱۲۸

پست الکترونیکی: bita.rahimibadr@iau.ac.ir

۳۵
۳۶
۳۷
۳۸
۳۹
۴۰
۴۱
۴۲
۴۳
۴۴
۴۵
۴۶
۴۷
۴۸
۴۹
۵۰
۵۱
۵۲
۵۳
۵۴
۵۵
۵۶
۵۷
۵۸
۵۹
۶۰
۶۱
۶۲
۶۳
۶۴
۶۵
۶۶
۶۷
۶۸
۶۹
۷۰
۷۱
۷۲
۷۳
۷۴
۷۵

Abstract

Title: Analyzing the Impact of Water Crisis on Food Security in Iran: A Simultaneous Equations Approach

Introduction: The water crisis is one of the major challenges in Iran, with widespread impacts on agricultural production and food security. This study aims to analyze the interrelationships between the water crisis, agricultural production, and food security using a simultaneous equations model.

Methods: The data used in this research includes time-series statistics collected from official sources over 1360-1400 periods. The model consists of three equations: the water crisis as a function of climate change, management policies, and agricultural production; agricultural production as a function of the water crisis, labor, capital, and energy consumption; and food security as a function of the food price index, agricultural imports, agricultural production, and the water crisis.

Results: The results reveal that the water crisis has a significant negative impact on agricultural production, which in turn indirectly affects food security. Additionally, the findings highlight the critical role of the food price index and agricultural imports in determining food security. The study emphasizes the importance of effective water management policies and improving productivity in agricultural production.

Conclusion: This research demonstrates that the water crisis is not merely an environmental issue but also a significant socio-economic challenge, with far-reaching consequences through its impact on agricultural production. Therefore, integrated policy frameworks that simultaneously address water resource management, agricultural productivity, and food price control are essential for achieving sustainable food security. These findings provide valuable insights for better decision-making in the context of climate change and resource limitations.

Keywords: Food Security, 3SLS Model, Water Supply, Climate Change.

Extended Abstract

Introduction: The water crisis has emerged as one of the most pressing environmental and socio-economic challenges in recent decades, particularly in water-scarce regions such as Iran. Increasing climate variability, inefficient resource management, and rising demands from population growth and agricultural activities have exacerbated the crisis. Water scarcity not only disrupts agricultural production, a critical sector for economic stability, but also threatens food security, a fundamental pillar of social well-being. The interconnected nature of these issues underscores the need for a comprehensive understanding of how water scarcity impacts agricultural production and food security both directly and indirectly.

In this study, we explore these relationships using a simultaneous equations model to capture the dynamic feedback effects among water crisis, agricultural production, and food security. By employing robust analytical methods and time-series data, this research provides insights into the mechanisms through which water scarcity influences food systems and identifies pathways for policy interventions aimed at fostering sustainability and resilience.

Methods: This study employs a simultaneous equations model to analyze the interrelationships between the water crisis, agricultural production, and food security in Iran. The model comprises three structural equations. The first equation models the water crisis as a function of climate change, management policies, and agricultural production. The second equation examines agricultural production as a function of the water crisis, labor, capital, and energy consumption. The third equation evaluates food security as a function of the food price index, agricultural imports, agricultural production, and the water crisis.

Data for this research were collected from official national and international sources, including the Statistical Centre of Iran, FAO, and World Bank. The dataset consists of annual time-series data covering a 40-year period (1360-1400). Variables were selected based on their theoretical and empirical relevance to the studied phenomena. Climate change indicators (e.g., temperature anomalies and precipitation patterns) and energy consumption data were included to capture their direct and indirect effects.

The model was estimated using the three-stage least squares (3SLS) method to address the issue of indigeneity among variables and ensure consistent parameter estimation. Diagnostic tests, including the Durbin-Wu-Hausman test, were applied to confirm the validity of instrumental variables. The model's goodness of fit was evaluated using R-squared and F-statistics for each equation.

By employing this methodology, the study captures the feedback loops and bidirectional relationships among the key variables. This approach provides a holistic perspective on how the water crisis propagates through agricultural systems and impacts food security, offering valuable insights for designing integrated and effective policy solutions. The results were interpreted with a focus on their implications for sustainable water resource management and food system resilience in the context of a semi-arid country like Iran.

Results: The findings of this study reveal significant direct and indirect relationships between the water crisis, agricultural production, and food security in Iran. Estimation of the simultaneous equations model showed that the water crisis negatively and significantly affects agricultural production, with a coefficient indicating a substantial reduction in output as water scarcity intensifies. This direct effect was further compounded by indirect effects, as reduced agricultural production adversely impacted food security.

The results also highlighted the role of climate change indicators, such as temperature anomalies and reduced precipitation, as significant drivers of the water crisis. Inefficient management policies exacerbated these effects, underlining the importance of policy reform in mitigating water scarcity.

In the agricultural production equation, labor, capital, and energy consumption were found to be positively associated with output, suggesting that resource allocation and technological improvements can partially offset the negative effects of water scarcity. However, the magnitude of these effects varied, with energy consumption showing the strongest impact, emphasizing the need for sustainable energy use in agriculture.

The food security equation demonstrated that the water crisis indirectly affects food security by reducing agricultural output. Furthermore, the food price index and agricultural imports emerged as critical determinants of food security. A rise in food prices significantly reduced food security, highlighting the vulnerability of lower-income populations to price volatility. Conversely, agricultural imports played a stabilizing role by offsetting domestic production deficits caused by water scarcity.

Overall, the model results underscore the interconnectedness of water resources, agricultural systems, and food security. The findings emphasize that addressing the water crisis requires integrated strategies that include effective water resource management, technological improvements in agriculture, and mechanisms to stabilize food prices.

These results provide strong evidence that the water crisis is not only an environmental issue but also a significant socio-economic challenge. By understanding the direct and indirect pathways through which water scarcity impacts food security, policymakers can design more targeted and sustainable interventions to ensure food system resilience and long-term development, particularly in regions facing similar challenges as Iran.

Conclusion: This study highlights the critical impact of the water crisis on agricultural production and food security in Iran, revealing both direct and indirect pathways of influence. The findings demonstrate that water scarcity, driven by climate change and inefficient management policies, significantly reduces agricultural output, which in turn adversely affects food security. The interconnectedness of these variables underscores the complexity of addressing food system challenges in water-scarce regions.

The study also emphasizes the stabilizing role of agricultural imports and the significant impact of food price volatility on food security, particularly for vulnerable populations. Sustainable agricultural practices, efficient resource management, and policy reforms aimed at mitigating water scarcity are essential for improving agricultural productivity and ensuring food security.

These insights provide a framework for integrated policy development, highlighting the need for collaboration across sectors to build resilience against water crises and achieve sustainable food security in the context of environmental and socio-economic pressures

Keywords: Food Security, 3SLS Model, Water Supply, Climate Change.

چکیده

عنوان: تحلیل اثر بحران آب بر امنیت غذایی در ایران: رویکرد مبتنی بر معادلات همزمان

مقدمه و هدف : بحران آب یکی از چالش‌های اساسی در ایران است که اثرات گسترده‌ای بر تولید کشاورزی و امنیت غذایی دارد. این پژوهش با هدف تحلیل روابط متقابل بین بحران آب، تولید کشاورزی و امنیت غذایی با استفاده از مدل معادلات همزمان انجام شد.

روش شناسی: داده‌های مورد استفاده شامل آمارهای سری زمانی در بازه ۱۴۰۰-۱۳۶۰ بوده که از منابع رسمی گردآوری شده‌اند. مدل شامل سه معادله است: بحران آب به‌عنوان تابعی از تغییرات اقلیمی، سیاست‌های مدیریتی و تولید کشاورزی؛ تولید کشاورزی به‌عنوان تابعی از بحران آب، نیروی کار، سرمایه و انرژی مصرفی؛ و امنیت غذایی به‌عنوان تابعی از شاخص قیمت مواد غذایی، واردات کشاورزی، تولید کشاورزی و بحران آب.

یافته‌ها: نتایج برآورد مدل معادلات همزمان به روش حداقل مربعات سه مرحله‌ای نشان داد که بحران آب به‌عنوان یکی از مهم‌ترین چالش‌ها، تاثیر منفی و معناداری ($-0/4$) بر تولید کشاورزی دارد و کاهش تولید کشاورزی نیز به نوبه خود، امنیت غذایی خانوار ($0/16$) را تضعیف می‌کند. از سوی دیگر سیاست‌های مدیریتی مرتبط با منابع آب و سرمایه‌گذاری در زیرساخت‌های آبیاری اثر تعدیل‌کننده‌ای بر شدت بحران آب ($0/07$) داشته است.

بحث و نتیجه‌گیری: این پژوهش نشان داد که بحران آب تنها یک چالش زیست محیطی نیست، بلکه از طریق تاثیر گذاری بر تولید کشاورزی، پیامدهای اجتماعی و اقتصادی گسترده‌ای دارد. بنابراین سیاست گذاری‌های جامع‌نگر که همزمان به مدیریت منابع آب، افزایش بهره‌وری کشاورزی و کنترل قیمت مواد غذایی توجه کنند، برای دستیابی به امنیت غذایی پایدار ضروری است. بر این اساس، سرمایه‌گذاری در زیرساخت‌های آبی کشاورزی مانند توسعه سامانه‌های آبیاری نوین و طرح‌های تعادل بخشی آب زیرزمینی، با هدف کاهش فشار بر منابع آب و بهبود بهره‌وری تولید و تنوع بخشی به الگوی تولید کشاورزی از طریق ترویج کشت محصولات کم مصرف با هدف کاهش وابستگی امنیت غذایی به محصولات با نیاز آبی بالا پیشنهاد می‌گردد.

واژگان کلیدی : امنیت غذایی، عرضه آب، مدل حداقل مربعات سه‌مرحله‌ای، تغییرات اقلیمی.

- بحران کم آبی یکی از بزرگترین چالش‌های جهانی در دهه‌های اخیر به شمار می‌رود که پیامدهای آن فراتر از کاهش منابع آب بوده و بر ابعاد مختلف زندگی انسانی تاثیر می‌گذارد. از یک سو، رشد جمعیت جهانی منجر به افزایش تقاضا برای آب در بخش‌های کشاورزی، صنعتی و خانگی شده و از سوی دیگر، تغییرات اقلیمی باعث تغییر در الگوهای بارندگی و افزایش خشکسالی‌ها شده که منابع آبی را تحت تاثیر قرار می‌دهد. همچنین عدم سرمایه گذاری و مدیریت صحیح در زیرساخت های آبی در برخی کشورها و سیاست‌های مصرف ناپایدار آب به تشدید این بحران کمک می‌کند(۱). در بخش کشاورزی، کمبود آب به طور مستقیم تولید محصولات کشاورزی را کاهش داده و به صورت غیر مستقیم امنیت غذایی را به خطر می‌اندازد. بخش کشاورزی به عنوان یکی از اصلی‌ترین مصرف‌کنندگان منابع آبی، سهم قابل توجهی در تامین امنیت غذایی دارد. کاهش منابع آبی می‌تواند عملکرد محصولات استراتژیکی مانند گندم، برنج و جو را تحت تاثیر قرار داده و منجر به افزایش قیمت‌ها، کاهش دسترسی به غذا و در نهایت، گسترش نابرابری غذایی شود(۱). از این رو درک رابطه میان بحران کم آبی، تولید کشاورزی و امنیت غذایی برای سیاست گذاران و پژوهشگران بسیار حیاتی است تا بتوانند راهکارهایی پایدار و موثر ارائه دهند.
- ایران به عنوان یکی از کشورهای نیمه خشک جهان با کاهش بارندگی، افزایش دما، پتانسیل بالای تبخیر و تفرق و کاهش منابع آبی تجدیدپذیر مواجه است. این شرایط فشار مضاعفی بر بخش کشاورزی وارد کرده و اهمیت بررسی اثرات این بحران را دوچندان می‌کند(۲). میانگین بارش بلند مدت سالانه ایران کمتر از ۲۵۰ میلی‌متر در سال است (۴۱۳ میلیارد مترمکعب) که یک سوم میانگین بارش جهانی است. ۷۵ درصد از میزان بارش کشور فقط در ۲۵٪ از مساحت کشور رخ می‌دهد و بیانگر تفاوت توزیع پراکندگی بارش در کشور است (۳).
- بدون شک می‌توان گفت بخش کشاورزی به منزله ستون فقرات کشورهای در حال توسعه می‌باشد و در اقتصاد ایران نیز نقشی حیاتی دارد؛ زیرا ۲۳ درصد اشتغال، حدود ۱۱ درصد تولید ناخالص ملی و تأمین غذای بیش از ۸۰ درصد جامعه را پوشش می‌دهد و در امنیت غذایی ایران، کشاورزی نقش محوری و غیرقابل انکاری دارد(۳). از طرفی آب به عنوان محدودترین عامل تولید در بخش کشاورزی تأثیر بسزایی دارد. همانگونه که اشاره شد، با توجه به شرایط اقلیمی خاص کشور ایران که خشکی و پراکنش نامناسب زمانی و مکانی بارندگی، واقعیت گریزناپذیر آن است، هرگونه تولید مواد غذایی و کشاورزی وابسته به استفاده صحیح و منطقی از منابع آب محدود کشور است(۴). همانگونه که مطالعه احمدی(۵) نشان می‌دهد، کم آبی و بحران آب در کشور با توجه به خشکسالی‌های اخیر و بحرانی بودن ذخایر آب شیرین کشور، می‌تواند مشکلات گسترده‌ای پیش‌روی اقتصاد ایران قرار دهد.
- بحران کم آبی، ناشی از کاهش منابع آب قابل دسترس، تغییرات اقلیمی و مدیریت ناکارآمد منابع، بر اساس نظریه اقتصاد تولید و پایداری منابع آب، به طور مستقیم بر بخش کشاورزی تاثیر می‌گذارد. کاهش در دسترسی با کیفیت به آب، به عنوان یکی از نهاده‌های کلیدی تولید کشاورزی، منجر به کاهش تولید و بهره وری محصولات کشاورزی می‌شود(۶). از سوی دیگر بر اساس تعریف سازمان خواربار و کشاورزی در سال ۱۹۹۶ از امنیت غذایی^۱ بحران کم آبی می‌تواند به کاهش عرضه محصولات کشاورزی و افزایش قیمت‌ها منجر شود که این امر، دسترسی فیزیکی و اقتصادی به غذای کافی را کاهش داده و امنیت غذایی را به خطر می‌اندازد. بنابراین بر اساس نظریه ارتباط سیستم‌های زیست محیطی و کشاورزی، بحران کم آبی به عنوان یکی از چالش‌های اصلی زیست محیطی، باعث ایجاد محدودیت‌های جدی در توسعه کشاورزی و دستیابی به امنیت غذایی می‌شود(۷).
- بیشتر مطالعاتی که در حوزه بحران کم آبی در ایران انجام شده، به تحلیل منطقه‌ای بحران آب و تاثیر آن بر کشاورزی پرداخته است. به عنوان مثال، غفاری مقدم و همکاران (۸) به تحلیلی بر بحران آب در بخش کشاورزی منطقه سیستان در سناریوهای مختلف پرداختند. در این مطالعه برای تعیین پیشران‌های نهایی به روش‌های آینده پژوهی تکیه شده و با استفاده از روش پتل خبرگان ۲۳ پیشران شناسایی و در نهایت هفت پیشران اصلی تاثیرگذار بر بحران آب سیستان برای نگارش سناریو به روش دلفی استفاده شد. این پیشران‌ها عبارت بودند از: خشکسالی، وابستگی به منابع آب خارجی، توجه نکردن کافی به مدیریت منابع آب، کشت بی‌رویه محصولات آب بر، شیوه نامناسب آبیاری، ضعف فناوری

^۱ امنیت غذایی به معنای دسترسی پایدار و کافی به مواد غذایی سالم و مغذی برای همه افراد جامعه است. این مفهوم به چهار ستون اصلی وابسته است: ۱-

کشاورزی و رایگان بودن آب در بخش کشاورزی. با توجه به نقشه پهنه بندی خطر در این مطالعه، ۸۶٪ از منطقه سیستان در آینده در معرض بحران آبی خیلی شدید قرار خواهد گرفت.

در بسیاری از مطالعات از مفهوم پیوند آب، انرژی و غذا که یکی از چارچوب‌های اساسی برای درک چالش‌های توسعه پایدار در دنیای مدرن است، استفاده شده است. پیوند آب، انرژی و غذا رویکردی جامع برای درک و حل چالش‌های پیش‌روی منابع طبیعی است که به بررسی ارتباطات متقابل میان این سه بخش کلیدی و مدیریت پایدار منابع در راستای تامین نیازهای انسانی و حفاظت از محیط زیست می‌پردازد.

کانسینو لوئزا و همکاران (۹) به بررسی رابطه پیوند آب-انرژی-غذا بر اساس تخصیص بهینه منابع پرداختند. در این مطالعه، شهرنشینی، افزایش تقاضا و تغییرات آب و هوایی چالش‌های حیاتی برای تضمین امنیت آب، انرژی و غذا هستند. هائو و همکاران (۱۰) به بررسی چارچوب تحلیلی یکپارچه امنیت آب-انرژی-غذایی برای توسعه پایدار در پنج کشور آسیای مرکزی پرداختند. در این مطالعه، درک کامل پیوند آب، انرژی و غذا (WEF^۱) و عوامل موثر بر آنها برای مدیریت توسعه پایدار در هر منطقه ضروری است. این مطالعه یک چارچوب تحلیلی جدید برای ارزیابی WEF، با استفاده از تکنیک (TOPSIS^۲) ارائه می‌دهد. روابط داخلی بین سه بخش و عوامل اصلی تأثیرگذار بر WEF به ترتیب با همبستگی رتبه‌ای اسپیرمن^۳ و نمودارهای راداری تجزیه و تحلیل شدند. نتایج این مطالعه نشان داد که قزاقستان به بالاترین سطح امنیتی WEF دست یافته است و پس از آن قرقیزستان، ترکمنستان و ازبکستان قرار دارند. در این میان، تاجیکستان پایین‌ترین سطح امنیتی را از سال ۲۰۰۰ تا ۲۰۱۴ نشان داد. همانگونه که ملاحظه می‌شود، در این مطالعات، بحران کم آبی نه تنها تولید کشاورزی را به دلیل وابستگی شدید این بخش به منابع آب تحت تأثیر قرار می‌دهد، بلکه از طریق افزایش مصرف انرژی (برای استخراج، انتقال یا نمک‌زدایی آب) و کاهش دسترسی به غذا بر امنیت غذایی نیز اثرگذار است. این مدل اگرچه دیدگاهی جامع برای بررسی روابط متقابل این سه بخش ارائه می‌دهد، اما در مدل‌سازی اقتصادی رویکرد پیوند WEF به طور معمول به جای استفاده از شاخص‌های امنیت غذایی از معادله تولید کشاورزی برای بخش غذا استفاده می‌شود. همچنین نیاز به داده‌های دقیق به ویژه در بخش انرژی و محدودیت در دسترسی به داده‌ها و در نتیجه عدم ارائه سیاست‌های عملی می‌تواند مانعی برای کاربرد گسترده آن باشد.

کنگ و همکاران (۲۰۱۷) در پژوهشی تحت عنوان بهبود بهره‌وری آب کشاورزی تحت تغییرات اقلیم، برای تضمین امنیت غذایی در حوضه رود شیانگ در شمال غربی چین دریافتند که مدیریت آب از طریق روش‌های نوین آبیاری می‌تواند منجر به بهبود کیفیت میوه‌ها و سبزیجات و سود بیشتر برای کشاورزان شود. علاوه بر این، آنها عوامل اصلی در افزایش بهره‌وری آب را آبیاری، اصلاح بذر، تنظیم الگوی کشت (کاهش سطح زیر کشت محصولات آب بر) و کاربرد تکنولوژیهای نوین آبیاری می‌دانند (۱۱).

کورشی و همکاران (۲۰۱۵) در مطالعه‌ای تحت عنوان بررسی بهبود امنیت غذایی و تاب‌آوری معیشت از طریق مدیریت آب‌های زیرزمینی در پاکستان به این نتیجه رسیدند که تغییر الگوی کشت از محصولاتی مانند برنج و نیشکر به محصولات مقاوم در برابر خشکسالی، استفاده از آب‌های زیرزمینی را کاهش و منجر به تولید محصولات زراعی بیشتری می‌شود (۱۲).

مودیما و همکاران در سال ۲۰۰۲ در بررسی اثرات اقتصادی-اجتماعی طرح‌های آبیاری خرده‌پا در زیمبابوه به این نتیجه رسیدند که مدیریت آب آبیاری از طریق افزایش بهره‌وری تولید و درآمد منجر به بهبود امنیت غذایی در خانوارهای تحت پوشش طرح می‌شود (۱۳).

هانجرا و همکاران (۲۰۰۹) در مطالعه‌ای تحت عنوان کاهش فقر در کشورهای جنوب صحرای آفریقا از طریق سرمایه‌گذاری در آب دریافتند که مدیریت آب از طریق افزایش بازدهی و تولید محصولات کشاورزی در محیط‌های خشک و نیمه خشک منجر به تثبیت تولید و قیمت مواد غذایی و درآمدهای حاصل از بخش کشاورزی می‌شود (۱۴).

جمع‌بندی مطالعات فوق نشان می‌دهد که مدیریت مصرف آب کشاورزی به‌طور مستقیم و غیرمستقیم بر امنیت غذایی کشاورزان تأثیر می‌گذارد. با توجه به اینکه در تحقیقات صورت گرفته هر یک به‌صورت موردی به تأثیر کم آبی و مدیریت آب در امنیت غذایی اشاره کرده‌اند و تاکنون مطالعه جامعی در این زمینه صورت نگرفته است مطالعه حاضر درصدد آن است که با هدف بررسی کلان اثر بحران کم آبی بر تولید محصولات کشاورزی و تحلیل پیامدهای آن بر امنیت غذایی در سطح ملی، تلاش کند از منظر اقتصاد کلان و مدل‌های سیستمی اقتصادی، تأثیر بحران

^۱Water-Energy-Food (WEF)

^۲Technique for Order Preference by Similarity to Ideal Solution (TOPSIS)

^۳Spearman's Rank Correlation Coefficient

کم آبی را بر تولید و عرضه محصولات کشاورزی و انتقال آن به بازار مصرف کنندگان در قالب شاخص امنیت غذایی به صورت همزمان بررسی کند.

در این راستا، پس از معرفی جنبه‌های نظری، چارچوب مفهومی مدل و روش پژوهش، یافته‌های تحقیق در قالب جداول و مدل‌های تحلیلی ارائه می‌شوند. در نهایت ضمن تحلیل نتایج، راهکارهایی به منظور مدیریت بحران کم آبی و تضمین امنیت غذایی ارائه خواهد شد.

روش شناسی

این تحقیق از نوع کاربردی و با استفاده از رویکرد کمی انجام شده است. در این مطالعه به منظور تحلیل روابط پیچیده و متقابل میان بحران کم آبی، تولید کشاورزی و امنیت غذایی از مدلسازی معادلات همزمان (SEM)^۵ استفاده می‌شود. مدل‌های معادلات همزمان در اقتصادسنجی برای تحلیل سیستم‌هایی بکار می‌روند که در آنها متغیرهای وابسته به طور همزمان بر یکدیگر تاثیر می‌گذارند. در چنین سیستم‌هایی استفاده از روش حداقل مربعات معمولی منجر به برآوردهای تورش دار و ناسازگار می‌شود. برای حل این مشکل روش‌های تخمینی خاصی توسعه یافته‌اند. یکی از این روش‌ها، حداقل مربعات سه مرحله‌ای است که با ترکیب روش حداقل مربعات دو مرحله‌ای و رگرسیون به ظاهر نامرتبط (SUR)^۶، برآوردهای کارآمدتری ارائه می‌دهد. در این روش همبستگی بین خطاهای معادلات مختلف در نظر گرفته می‌شود و کل سیستم به طور همزمان برآورد می‌گردد. این رویکرد در مدل‌های پیچیده با معادلات متعدد و متغیرهای درونزای مشترک، نتایج دقیق‌تری ارائه می‌دهد (۱۵). این مدل با در نظر گرفتن روابط علی و دوسویه، تصویری دقیق‌تر از پویایی سیستم کشاورزی، آب و امنیت غذایی ارائه می‌دهد. همچنین نتایج این مدل می‌توانند مبنای طراحی سیاست‌های هماهنگ در حوزه‌های آب، کشاورزی و امنیت غذایی باشند. در ادامه، دلایل استفاده از این مدل و چارچوب مفهومی مرتبط ارائه می‌شود.

دلایل استفاده از مدل معادلات همزمان

۱- روابط علی دوسویه میان متغیرها: بحران کم آبی تولید کشاورزی را کاهش می‌دهد، اما در عین حال افزایش تقاضا برای آب در کشاورزی نیز می‌تواند بحران کم آبی را تشدید کند. امنیت غذایی نه تنها تحت تاثیر کاهش تولید کشاورزی قرار می‌گیرد، بلکه خود می‌تواند با تغییر الگوی مصرف یا واردات، بر تقاضای آب و تولید تاثیرگذار باشد. این روابط متقابل، تحلیل با مدل‌های رگرسیون ساده را ناکارآمد می‌سازد و نیاز به مدلی دارد که همزمان اثرات متقابل را بررسی کند (۱۵).

۲- پیچیدگی ساختار بحران آب و تاثیر آن بر امنیت غذایی: بحران آب نه تنها به تولید محصولات کشاورزی وابسته است، بلکه تحت تاثیر عوامل دیگری مانند سیاست‌های دولت در بخش آبیاری و تغییرات اقلیمی دارد. مدل معادلات همزمان امکان بررسی این روابط چند جانبه را فراهم می‌کند (۱۵).

چارچوب مفهومی مدل

بحران آب و کاهش منابع آبی به دلایلی مانند تغییرات اقلیمی، افزایش تقاضای کشاورزی به دلیل تولید بیشتر، و سوء مدیریت اتفاق می‌افتد. همچنین تولید کشاورزی تحت تاثیر بحران آبی و عوامل دیگر مانند نهاده‌های مورد استفاده (انرژی، سرمایه و نیروی کار) قرار دارد. از طرف دیگر امنیت غذایی نیز متاثر از بحران آب، تولید کشاورزی، قیمت محصولات و واردات مواد غذایی است. بنابراین می‌توان ساختار معادلات همزمان را به شکل زیر بیان نمود:

مدل شامل سه معادله اصلی است:

• معادله بحران آب (۱۶):

$$w_t = \alpha_0 + \alpha_1 Y_t + \alpha_2 CC_t + \alpha_3 M_t + \varepsilon_t \quad (1)$$

w_t : بحران کم آبی (شاخص فالکن مارک)

Y_t : تولید کشاورزی

CC_t : تغییرات اقلیمی

^۵Simultaneous Equation Modeling(SEM)

^۶Seemingly Unrelated Regression(SUR)

M_t : سیاست های مدیریتی

۳۰۴ بر پایه تعریف شاخص فالکن مارک، بحران کم آبی بر اساس میانگین سرانه منابع آب تجدیدپذیر در هر کشور تعریف می شود. اگر میانگین
 ۳۰۵ سرانه منابع آبی در کشوری بیش از ۱۷۰۰ متر مکعب باشد، آن کشور مشکل بحران آبی نخواهد داشت. اما کشورهایی که میانگین سرانه منابع
 ۳۰۶ آبی بین ۱۰۰۰ تا ۱۷۰۰ مترمکعب دارند، کشورهایی با تنش آبی و کشورهایی که میانگین آب تجدیدپذیر کمتر از ۱۰۰۰ مترمکعب در سال
 ۳۰۷ دارند، کشورهایی با کمبود آب هستند. هر چند سرانه منابع آب تجدیدپذیر در دنیا ۶۰۷۹ مترمکعب است، اما به علت پراکندگی نامتناسب، منطقه
 ۳۰۸ خاورمیانه با سرانه ۱۵۵۹ مترمکعب، در شرایط بحرانی قرار دارد. ایران نیز با سرانه منابع آب تجدیدپذیر ۱۷۱۸ مترمکعب در آستانه ورود به
 ۳۰۹ شرایط تنش آبی است (۱۷). در این راستا، حجم آب تجدیدپذیر (RW) با توجه به رابطه زیر محاسبه شده است (۱۸):

$$RW = R + R_i + I - R_o + G_i - G_o \quad (2)$$

۳۱۰ که در آن R و I به ترتیب رواناب و حجم آب نفوذیافته ناشی از بارش، R_i و R_o به ترتیب رواناب های ورودی و خروجی، G_i و G_o به ترتیب
 ۳۱۱ جریان های زیرزمینی ورودی و خروجی است. با توجه به تنوع اقلیمی و تفاوت های قابل توجه در پارامترهای هیدرولوژیکی مانند ضریب نفوذ،
 ۳۱۲ ضریب رواناب و حجم رواناب در مناطق مختلف کشور، پارامترهای مرتبط ابتدا در سطح منطقه (حوضه آبریز) محاسبه شده و سپس با استفاده از
 ۳۱۳ روش میانگین گیری وزنی مبتنی بر معیار مساحت منطقه، مقادیر نهایی برای مدل ملی استخراج شده اند. این رویکرد موجب شد تا
 ۳۱۴ ناهمگونی های فضایی تا حد امکان در نتایج مدل لحاظ گردد و نتایج بیانگر تصویر دقیق تری از وضعیت کل کشور باشند.
 ۳۱۵ جهت محاسبه تغییرات اقلیمی (CC_t) از ضریب اقلیمی باران^۷ استفاده شده است. در این روش ضریب اقلیمی باران که وابسته به تبخیر و
 ۳۱۶ تعرق، رواناب سطحی و بارندگی سالانه است با استفاده از رابطه زیر محاسبه شده است (۱۹):

$$I = \frac{P(1 - C)}{365 - N} \frac{E}{365} \quad (3)$$

۳۲۰ که در آن؛ I ضریب اقلیمی باران، P متوسط بارندگی سالانه بر حسب میلیمتر، N تعداد روزهای بارانی در سال، E تبخیر سالانه بر حسب
 ۳۲۱ میلیمتر، C ضریب رواناب سطحی (که R رواناب بر حسب میلیمتر $C = \frac{R}{P}$). مقدار این شاخص تعیین کننده طبقه اقلیم منطقه در هر سال
 ۳۲۲ است. بدین معنی که برای مقادیر کمتر از ۲۰- اقلیم بیابانی، برای مقادیر بین ۲۰- تا صفر اقلیم نیمه خشک، برای مقادیر ۷- تا ۰- اقلیم نیمه
 ۳۲۳ مرطوب، و برای مقادیر بیشتر از ۷ اقلیم مرطوب جنگلی در نظر گرفته می شود. به طوریکه کاهش این شاخص طی دوره مورد بررسی بیانگر
 ۳۲۴ گرایش منطقه به سمت شرایط خشک تر اقلیمی است (۱۹).
 ۳۲۵ منظور از سیاست های مدیریتی در حوزه آب، مجموعه اقداماتی است که دولت برای بهبود وضعیت منابع آب کشاورزی، کنترل مصرف و ارتقای
 ۳۲۶ بهره وری آب در این بخش به کار می گیرد. در این مطالعه به منظور کمی سازی این متغیر از آمار اجرای طرح های نوین آبیاری در بخش
 ۳۲۷ کشاورزی استفاده شد و داده های آن از بخش آمار و اطلاعات گزارشات سالانه معاونت آب و خاک وزارت جهاد کشاورزی اخذ گردید.

• معادله تولید کشاورزی

$$Y_t = \beta_0 + \beta_1 w_t + \beta_2 E_t + \beta_3 X_t + \varepsilon_t \quad (4)$$

w_t : شاخص فالکن مارک

E_t : انرژی مصرفی در کشاورزی

X_t : سایر نهاده های کشاورزی (سرمایه و نیروی کار)

Y_t : تولید کشاورزی

^۷Barat Climate Index

به منظور برآورد معادله تولید کشاورزی، از آمارهای مربوط به میزان سالانه سرمایه ناخالص در بخش کشاورزی و نیروی کار شاغل در بخش کشاورزی استفاده شد و داده‌های آن از بانک مرکزی و مرکز آمار ایران اخذ گردید. به منظور برآورد شاخصی برای متغیر انرژی مصرفی در بخش کشاورزی، از نسبت هزینه انرژی به کل هزینه‌های تولید محصولات کشاورزی استفاده شد (۲۰).

• معادله امنیت غذایی

$$F_t = \gamma_0 + \gamma_1 Y_t + \gamma_2 P_t + \gamma_3 I_t + w_t + \varepsilon_t \quad (5)$$

F_t شاخص امنیت غذایی

P_t : شاخص قیمت مواد غذایی

I_t : واردات محصولات کشاورزی

Y_t تولید کشاورزی

w_t : شاخص فالکن مارک

برای اندازه‌گیری امنیت غذایی در سطح ملی از شاخص کل امنیت غذایی خانوار ($AHFSI^8$) که توسط فائو (بر مبنای کار آماریاسن) در سال ۱۹۷۶ به صورت رابطه زیر توسعه داده شده است، استفاده شد:

$$AHFSI = (100 - G) \times (1 - CV) \quad (6)$$

$$CV = \frac{S}{X}, \quad H = \frac{P_U}{P_T}, \quad G = \frac{C_S - C_{AU}}{C_S \times H} \quad (7)$$

به طوریکه H و P_U به ترتیب درصد و تعداد افرادی است که کمتر از استاندارد مورد نیاز انرژی دریافت کرده‌اند.^۹ P_T نیز تعداد کل جمعیت مورد مطالعه می‌باشد. G شدت فقر غذایی، C_S انرژی استاندارد، C_{AU} میانگین انرژی دریافتی کمتر از استاندارد، CV ضریب تغییرات عرضه انرژی طی زمان، S انحراف معیار عرضه انرژی طی زمان و X میانگین عرضه انرژی طی زمان است. دامنه نوسان این شاخص از صفر تا ۱۰۰ می‌باشد (۲۱).

در طراحی و استخراج معادلات بحران آب، تولید کشاورزی و امنیت غذایی، از مباحث نظری و مطالعات تجربی بین‌المللی و داخلی استفاده شده است. منابعی همچون (۱۶)، (۲۰) و (۲۱)، پایه مفهومی مناسبی برای ارتباط متغیرهای مورد نظر فراهم کرده‌اند. به عنوان مثال، در معادله بحران آب، متغیرهایی چون تغییرات اقلیم، سیاست‌های مدیریتی در آبیاری کشاورزی و سطح تولید کشاورزی به استناد مطالعه فائو در سال ۲۰۲۱ (۱۶) انتخاب شدند، که تأکید بر تأثیر گذاری فعالیت‌های کشاورزی و سیاست‌های منابع آب به صورت مستقیم بر شدت بحران آب دارد. در معادله تولید کشاورزی، انتخاب متغیرهایی مانند سرمایه، نیروی کار، انرژی و بحران آب بر اساس الگوی تولید کشاورزی نئوکلاسیکی و مطالعاتی نظیر (۲۰) و (۲۲) صورت گرفت. این متغیرها از جمله عوامل کلیدی تأثیرگذار بر تولید هستند که در مدل‌های اقتصادی به کرات مورد استفاده قرار گرفته‌اند. برای معادله امنیت غذایی، متغیرهایی مانند تولید کشاورزی، شاخص قیمت و واردات کشاورزی با اتکا به مدل مفهومی امنیت غذایی سازمان فائو (۲۱) و مطالعاتی مانند (۲۳) انتخاب شدند. این متغیرها بازتاب دهنده ابعاد عرضه، دسترسی و پایداری امنیت غذایی در سطح ملی هستند.

در این مطالعه از اطلاعات دوره زمانی ۱۴۰۰-۱۳۶۰ و برای برآورد سیستم معادلات همزمان، به منظور کنترل تورش ناشی از همزمانی متغیرها و بهبود برآوردها با توجه به همبستگی بین معادلات، از کاربرد تکنیک حداقل مربعات سه مرحله‌ای $3SLS^{10}$ برای برآورد پارامترها استفاده گردید. ضمن این که در ابتدا به منظور بررسی شرایط لازم جهت شناسایی معادلات در سیستم همزمان از آزمون شناسایی استفاده شد.

⁸ Aggregate Household Food Security Index (AHFSI)

^۹ استاندارد انرژی دریافتی برای هر فرد به میزان ۲۳۰۰ کیلوکالری در روز می‌باشد.

¹⁰ Three-Stage Least Squares (3SLS)

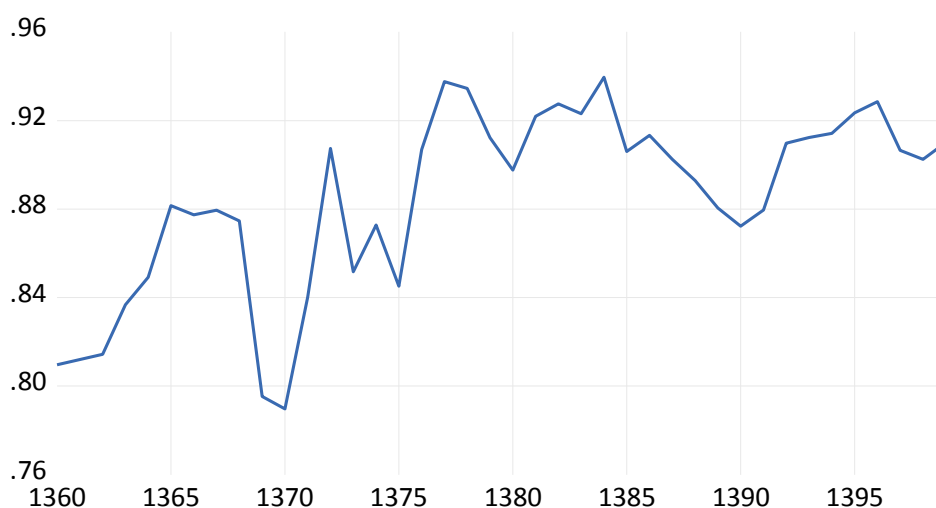
همچنین به دلیل استفاده از داده‌های سری زمانی، جهت بررسی ایستایی، از آزمون‌های دیکی فولر تعمیم یافته (ADF^{11}) و فیلیپس-پرون (PP^{12}) استفاده شده است.

نتایج و بحث

در این بخش، نتایج حاصل از برآورد مدل معادلات همزمان که برای تحلیل اثر بحران آب بر تولید کشاورزی و امنیت غذایی طراحی شده بود، ارائه و تحلیل می‌شود.

نمودار (۱) روند تغییرات شاخص امنیت غذایی را طی سال‌های ۱۴۰۰-۱۳۶۰ برای کشور ایران نشان می‌دهد. مطابق این نمودار، روند کلی شاخص امنیت غذایی طی دوره ۱۴۰۰-۱۳۶۰ صعودی می‌باشد. اگرچه در برخی سال‌ها (۱۳۶۸-۱۳۷۰ و ۱۳۸۸-۱۳۹۰) به علت بروز برخی شوک‌های اقتصادی و غیراقتصادی مانند جنگ تحمیلی یا سال‌های ابتدایی اجرای سیاست هدفمندی یارانه‌ها با نوسان همراه بوده است.

AHFSI



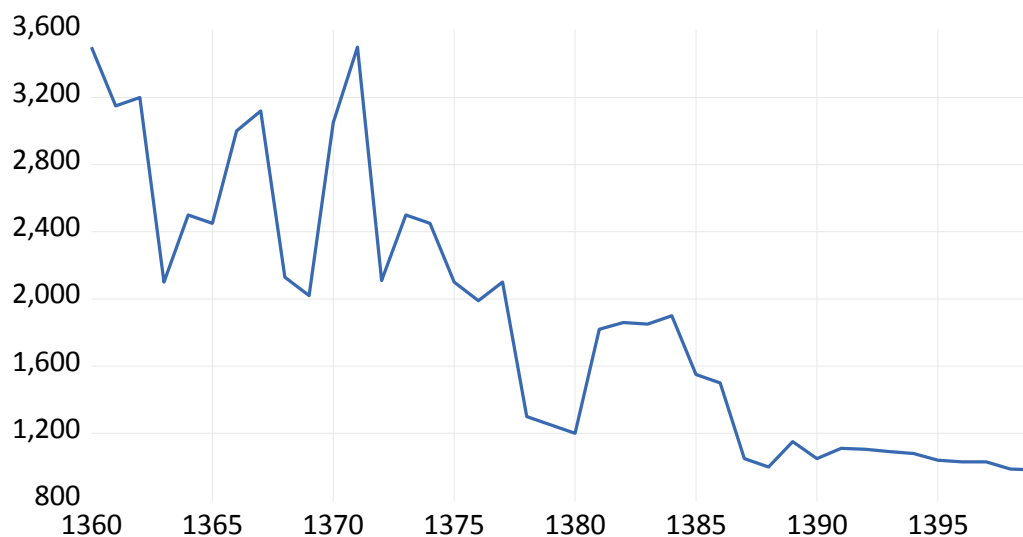
نمودار (۱): روند شاخص امنیت غذایی

سرانه آب تجدیدپذیر شاخصی برای نمایان شدن وضعیت بحران آبی در هر کشوری است. متأسفانه بروز خشکسالی از یک سو و برداشت بی‌رویه از منابع آب‌های سطحی و زیرزمینی طی سال‌های اخیر از سوی دیگر، موجب مواجهه کشور با بحران کم آبی شده است. نمودار (۲) روند تغییرات سرانه آب تجدیدپذیر را طی سال‌های ۱۴۰۰-۱۳۶۰ برای کشور ایران نشان می‌دهد. مطابق نمودار و بر اساس شاخص فالکن مارک، سال‌های ۱۳۷۷-۱۳۶۰، ۱۳۸۴-۱۳۸۱ مقادیر سرانه آب تجدیدپذیر بالاتر از ۱۷۰۰ مترمکعب بوده و طی این سال‌ها تنش آبی وجود نداشته است. سال‌های ۱۳۸۰-۱۳۷۸ و ۱۳۹۷-۱۳۸۵ مقادیر سرانه آب تجدیدپذیر بین ۱۷۰۰-۱۰۰۰ مترمکعب بوده و طی این سال‌ها تنش آبی وجود داشته است. طی سال‌های ۱۳۹۸ و ۱۳۹۹ مقادیر سرانه آب تجدیدپذیر کمتر از ۱۰۰۰ مترمکعب بوده و طی این سال‌ها با کمبود یا بحران آبی مواجه بوده‌ایم.

¹¹Augmented Dickey-Fuller Test (ADF)

¹²Phillips-Perron Test (PP)

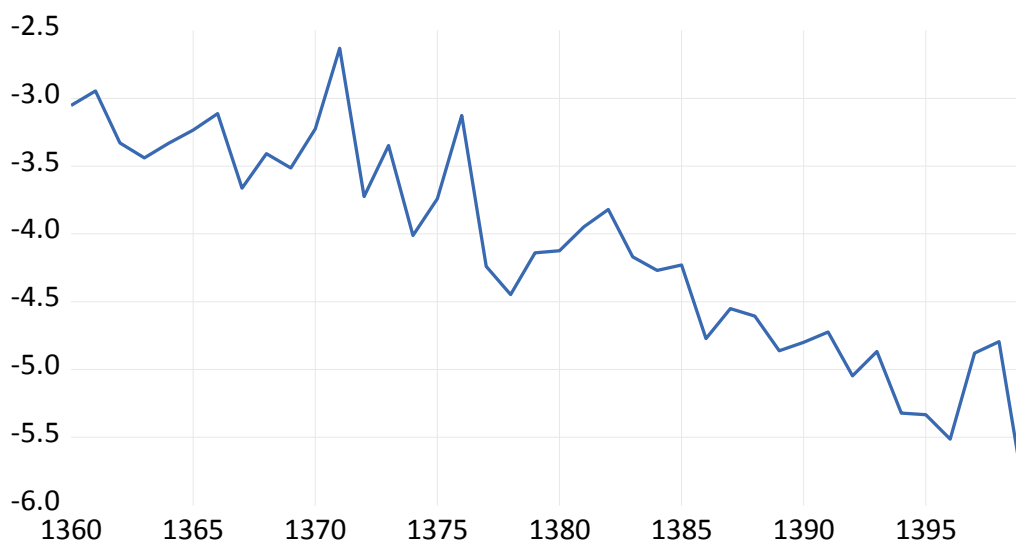
WS



نمودار ۲: روند بحران آب

در این مطالعه به منظور برآورد شاخص تغییرات اقلیم از شاخص بارات استفاده شده است. مطابق با این شاخص، اقلیم با ضریب کوچک تر از ۰/۵ بیابانی، بین ۰/۵ و یک اقلیم نیمه خشک، بین یک تا ۲ اقلیم نیمه مرطوب و بالاتر از ۲ اقلیم مرطوب جنگلی می باشد. نمودار (۳) روند تغییرات اقلیم را طی سال های ۱۳۶۰-۱۴۰۰ برای کشور ایران نشان می دهد. با توجه تقسیم بندی بارات، طی سال های ۱۳۶۰-۱۴۰۰ اقلیم ایران بین یک و ۰/۵ می باشد که نشان دهنده آن است که ایران طی این دوره جز اقلیم نیمه خشک محسوب می شود.

CC



نمودار ۳: روند تغییرات اقلیم

آزمون‌های ایستایی

پیش از برآورد مدل معادلات همزمان، ابتدا آزمون‌های ایستایی برای کلیه متغیرهای مدل انجام شد. در این راستا از آزمون دیکی فولر تعمیم یافته و فیلیپس-پرون جهت بررسی وجود ریشه واحد در سری‌های زمانی استفاده گردید. مطابق نتایج جدول شماره (۱)، بر اساس آزمون دیکی فولر تعمیم یافته، متغیرهای شاخص امنیت غذایی، بحران آب، سیاست‌های مدیریتی و مصرف انرژی در بخش کشاورزی در سطح ایستا می‌باشند و درجه انباشتگی آنها صفر است. متغیرهای تغییرات اقلیم، تولیدات کشاورزی، شاخص قیمت مواد غذایی، نیروی کار در بخش کشاورزی و سرمایه در بخش کشاورزی در سطح ایستا نبوده و با یک بار تفاضل گیری ایستا شده‌اند و درجه انباشتگی آنها یک می‌باشد. همچنین متغیر واردات کشاورزی در سطح ایستا نبوده و با دو بار تفاضل گیری ایستا شده و درجه انباشتگی آن دو می‌باشد. بر اساس آزمون فیلیپس-پرون متغیرهای تغییرات اقلیم، واردات کشاورزی، سیاست‌های مدیریتی و مصرف انرژی در بخش کشاورزی در سطح ایستا می‌باشند و درجه انباشتگی آنها صفر است. متغیرهای شاخص امنیت غذایی، بحران آب، تولید کشاورزی، شاخص قیمت مواد غذایی، نیروی کار در بخش کشاورزی و سرمایه در بخش کشاورزی در سطح ایستا نبوده و با یک بار تفاضل گیری ایستا شده‌اند. با توجه به ایستاسازی کلیه متغیرها، استفاده از مدل حداقل مربعات سه مرحله ای با داده‌های تفاضل گیری شده امکان‌پذیر گردید.

جدول ۱: آزمون‌های ریشه واحد

متغیر	سطح	تفاضل مرتبه اول		تفاضل مرتبه دوم		درجه انباشتگی
		مقدار آماره	سطح معناداری	مقدار آماره	سطح معناداری	
lnAHFSI	ADF	-۲/۶۱۹	۰/۰۹۷	-	-	I(0)
	PP	-۲/۳۸۹	۰/۱۵۱	-۹/۴۸۹	۰/۰۰۰	I(1)
lnW	ADF	-۳/۵۰۶	۰/۰۵۳	-	-	I(0)
	PP	۰/۰۲۴	۰/۹۵۵	-۶/۷۱۱	۰/۰۰۰	I(1)
lnCC	ADF	-۱/۳۹۶	۰/۸۴۵	-۶/۳۴۸	۰/۰۰۰	I(1)
	PP	-۳/۴۵۱	۰/۰۵۹	-	-	I(0)
lnY	ADF	-۳/۰۲۷	۰/۱۳۷	-۶/۷۷۵	۰/۰۰۰	I(1)
	PP	-۲/۲۸۲	۰/۱۸۲	-۷/۷۶۰	۰/۰۰۰	I(1)
lnP	ADF	-۱/۸۲۳	۰/۶۷۲	-۵/۰۵۲	۰/۰۰۱	I(1)
	PP	-۴/۰۶۵	۰/۹۹۹	-۲/۷۹۹	۰/۰۶۷	I(1)
LnI	ADF	۴/۶۳۶	۰/۹۹۹	۳/۹۷۰	۰/۹۹۹	I(2)
	PP	-۱/۶۴۳	۰/۰۹۴	-	-	I(0)
lnM	ADF	-۶/۲۲۱	۰/۰۰۰	-	-	I(0)
	PP	-۶/۴۲۱	۰/۰۰۰	-	-	I(0)
lnK	ADF	-۰/۲۳۴	۰/۹۲۵	-۳/۱۷۸	۰/۰۲۹	I(1)
	PP	۰/۱۸۴	۰/۹۶۸	-۳/۰۵۹	۰/۰۳۸	I(1)
lnL	ADF	-۲/۰۲۳	۰/۲۷۵	-۵/۵۵۲	۰/۰۰۰	I(1)
	PP	-۱/۹۹۷	۰/۲۸۶	-۵/۵۸۶	۰/۰۰۰	I(1)
lnE	ADF	-۳/۱۱۳	۰/۰۳۳	-	-	I(0)
	PP	-۳/۱۱۳	۰/۰۳۳	-	-	I(0)

مأخذ: یافته های تحقیق

۳۹۲
۳۹۳
۳۹۴
۳۹۵
۳۹۶
۳۹۷
۳۹۸
۳۹۹
۴۰۰
۴۰۱
۴۰۲
۴۰۳

۴۰۴

آزمون همزمانی سیستم معادلات همزمان

در سیستم معادلات همزمان، برخی از متغیرها ممکن است به صورت همزمان به عنوان متغیر مستقل در یک معادله و متغیر وابسته در معادلات دیگر ظاهر شوند. در چنین شرایطی فرض کلاسیک برونزایی متغیرها نقض شده و استفاده از روش حداقل مربعات معمولی منجر به تورش برآوردها می‌گردد. به منظور جلوگیری از این مشکل باید آزمون همزمانی انجام شود. اگر همزمانی تایید شود، باید از روش‌های جایگزین مانند حداقل مربعات دو مرحله‌ای یا سه مرحله‌ای استفاده شود. در این مطالعه برای بررسی همزمانی از آزمون هاسمن استفاده شده است. با توجه به سطح معنی‌داری متغیر جملات پسماند در معادلات مدل، مشخص شد که جملات پسماند شاخص امنیت غذایی بر بحران آب تأثیرگذار بوده و با آن در ارتباط است. بنابراین همزمانی بین معادلات شاخص امنیت غذایی و بحران آب تأیید می‌شود. همچنین توجه به سطح معنی‌داری متغیر جملات پسماند شاخص امنیت غذایی بر تولیدات کشاورزی، می‌توان نتیجه گرفت که این متغیر تأثیرگذار بوده و با آن در ارتباط است. بنابراین همزمانی بین معادلات شاخص امنیت غذایی و تولید کشاورزی تأیید می‌شود.

جدول ۲: نتایج آزمون هاسمن مربوط به معادله بحران آب

متغیر	ضریب	خطای استاندارد	آماره t	سطح معنی‌داری
تغییرات اقلیم	۰/۲۷۰	۰/۱۰۲	۲/۶۴۰	۰/۰۱۲
سیاست‌های مدیریتی	-۰/۱۰۵	۰/۱۶۴	-۰/۶۳۸	۰/۵۲۷
تولید کشاورزی	۰/۳۸۶	۰/۰۹۰	۴/۲۵۵	۰/۰۰۰
عرض از مبدأ	۱۸/۲۲۷	۴/۵۴۳	۴/۰۱۱	۰/۰۰۰
جملات پسماند	-۰/۲۰۶	۰/۰۲۸	-۷/۱۸۱	۰/۰۰۰

مأخذ: یافته‌های تحقیق

بنابر نتایج آزمون همزمانی هاسمن، معادلات موجود در مدل این مطالعه بایستی به صورت همزمان برآورد شوند. جهت برآورد مدل می‌توان از دو روش حداقل مربعات دو مرحله‌ای (2SLS) و حداقل مربعات سه مرحله‌ای (3SLS) استفاده کرد. به منظور انتخاب بهترین روش باید از آزمون دیانگالیته استفاده نمود (۱۵). برای انجام این آزمون اعضای خارج قطر اصلی به توان ۲ رسانده و با یکدیگر جمع شده در تعداد مشاهدات ضرب گردید و نتیجه حاصل با مقدار بحرانی جدول کای اسکور χ^2 مقایسه شد. عدد به دست آمده (۵/۲۱۶) بزرگتر از مقدار بحرانی جدول کای اسکور χ^2 بود. نتایج جدول ۳ نشان می‌دهد که بین جملات اخلاص در معادلات ساختاری همبستگی وجود دارد. بنابراین نتایج مربوط به برآورد مدل از روش سیستمی نسبت به روش تک معادله‌ای بهتر می‌باشد و بایستی از روش 3SLS استفاده شود.

جدول ۳: نتایج آزمون دیانگالیته

	U_1	U_2	U_3
U_1	۱	-۰/۱۷۸	۰/۱۸۲
U_2	-۰/۱۷۸	۱	-۰/۰۲۰
U_3	۰/۱۸۲	-۰/۰۲۰	۱

مأخذ: یافته‌های تحقیق

برآورد مدل بر اساس روش 3SLS

جدول (۴)، نتایج برآورد مدل شاخص امنیت غذایی را به روش 3SLS نشان می‌دهد. متغیرهای بحران آب و شاخص قیمت مواد غذایی بر شاخص امنیت غذایی اثری منفی و معناداری دارد. ضرایب برآورد شده برای متغیرهای شاخص بحران آب و شاخص قیمت مواد غذایی به ترتیب برابر با -۰/۱۳۴ و -۰/۰۴۴ می‌باشند که از لحاظ آماری معنادار است. بدین معنا که با افزایش بروز بحران آب (افزایش شاخص بحران آب یا کاهش سرانه آب تجدیدپذیر) و یا افزایش قیمت مواد غذایی به میزان یک درصد، شاخص امنیت غذایی به ترتیب به میزان ۰/۱۳۴ و ۰/۰۴۴ درصد کاهش می‌یابد. بدیهی است که افزایش قیمت مواد غذایی دسترسی خانوارها به غذا را کاهش داده و امنیت غذایی را تهدید

می‌کند. همچنین متغیر تولید کشاورزی بر شاخص امنیت غذایی اثری مثبت و معناداری دارد. ضریب برآورد شده برابر با ۰/۱۵۸ می‌باشد و از لحاظ آماری معنادار است. بدین معنا که با افزایش سطح تولیدات کشاورزی به میزان یک درصد (با توجه به فرم لگاریتمی مدل)، شاخص امنیت غذایی به میزان ۰/۱۵۸ درصد افزایش می‌یابد. ضریب برآورد شده برای واردات محصولات کشاورزی مثبت و برابر ۰/۰۰۸۶ می‌باشد اما این ضریب از نظر آماری معنی دار نیست. عدم معناداری ضریب واردات کشاورزی لزوماً به معنای بی‌اهمیت بودن آن نیست. این موضوع می‌تواند ناشی از سهم محدود واردات به شکل فعلی در تامین امنیت غذایی باشد. شاخص امنیت غذایی تحت تاثیر عوامل بسیاری مانند تولید داخلی، درآمد خانوارها، دسترسی اقتصادی به غذا، زیرساخت های توزیع و سیاست‌های دولتی است. بدین ترتیب تولید کشاورزی بیشترین تاثیر را بر شاخص امنیت غذایی داشته و پس از آن بحران آبی و شاخص قیمت مواد غذایی در رتبه‌های بعدی قرار می‌گیرند.

جدول ۴: برآورد مدل امنیت غذایی

متغیر	ضریب	خطای استاندارد	آماره t	سطح معنی داری
عرض از مبدأ	-۰/۹۹۲	۱/۱۲۵	-۰/۸۸۱	۰/۳۸۰
بحران آب	-۰/۱۳۴	۰/۰۶۲	-۲/۱۶۰	۰/۰۳۳
تولید کشاورزی	۰/۱۵۸	۰/۰۸۲	۱/۹۱۷	۰/۰۵۸
شاخص قیمت مواد غذایی	-۰/۰۴۴	۰/۰۲۶	-۱/۷۱۸	۰/۰۸۸
واردات کشاورزی	۰/۰۰۸۶	۰/۰۴۲	۰/۲۰۳	۰/۸۳۸

مآخذ: یافته های تحقیق

معادله بحران آب به منظور تحلیل اثر متغیرهایی مانند تولید کشاورزی، تغییرات اقلیمی و سیاست‌های مدیریتی تخمین زده شد و نتایج آن در جدول (۵) آورده شده است. در این مطالعه از شاخص فالکن مارک که بحران آب را بر اساس مقدار سرانه منابع آب تجدیدپذیر در کشور تعریف کرده، استفاده شده است. متغیر تغییرات اقلیم و تولید کشاورزی بر شاخص بحران آب اثری مثبت و معناداری دارد. ضریب برآورد شده برای این متغیرها به ترتیب برابر با ۰/۲۷۵- و ۰/۳۶۱ می‌باشد که در سطح ۹۵ درصد معنادار هستند. بدین معنا که با کاهش شاخص تغییرات اقلیمی و رشد تولید کشاورزی، شاخص بحران آبی به ترتیب به میزان ۰/۲۷۵ و ۰/۳۶۱ درصد افزایش می‌یابد. به بیان دیگر، افزایش تولید کشاورزی و به دنبال آن افزایش مصرف بی‌رویه از منابع آب زیرزمینی، به طور مستقیم باعث کاهش مقدار سرانه منابع آب تجدیدپذیر کشور و تشدید بحران آبی می‌شود. این نتیجه منطقی است زیرا بخش کشاورزی بزرگترین مصرف کننده منابع آبی در ایران است و هر گونه افزایش تولید، تقاضای بیشتری برای آب ایجاد می‌کند. همچنین اثر تغییرات اقلیمی از طریق کاهش بارندگی، افزایش دما و شدت گیری پدیده هایی نظیر خشکسالی، منابع آبی تجدیدپذیر را کاهش می‌دهد.

متغیر سیاست های مدیریتی دولت در ارتباط با سیستم‌های آبیاری بر شاخص بحران آب اثر منفی و معناداری دارد. ضریب برآورد شده برابر با ۰/۰۷۰- می‌باشد که در سطح ۹۹ درصد معنادار می‌باشد. بدین معنا که توسعه سیاست های کارآمد مدیریت منابع آبی (مانند بهینه سازی الگوی آبیاری و مصرف آب در کشاورزی) و افزایش سرمایه‌گذاری در زیرساخت های آبیاری در سطح کشور می‌تواند بحران آب را کاهش دهد.

جدول ۵: برآورد مدل بحران آب

متغیر	ضریب	خطای استاندارد	آماره t	سطح معنی داری
عرض از مبدأ	۱۷/۹۸۶	۳/۶۰۵	۴/۹۸۸	۰/۰۰۰
تغییرات اقلیم	-۰/۲۷۵	۰/۰۹۰	-۳/۰۳۴	۰/۰۰۳
سیاست های مدیریتی	-۰/۰۷۰	۰/۰۲۶	-۲/۶۸۴	۰/۰۰۵
تولید کشاورزی	۰/۳۶۱	۰/۰۷۹	۴/۵۶۵	۰/۰۰۰

مآخذ: یافته های تحقیق

جدول (۶)، نتایج برآورد مدل تولید کشاورزی را به روش 3SLS نشان می‌دهد. متغیرهای سرمایه، نیروی کار و مصرف انرژی بخش کشاورزی بر تولید کشاورزی اثری مثبت و معناداری دارد. بدیهی است افزایش استفاده از نهاده‌ها تاثیر مثبتی بر تولید دارد. ضریب برآورد شده برای متغیرهای سرمایه بخش کشاورزی، نیروی کار و مصرف انرژی در بخش کشاورزی به ترتیب برابر با ۰/۳۹۶، ۰/۲۶۰۱، ۰/۱۸۴ می‌باشد که در سطح ۹۵ درصد معنادار هستند. بدین معنا که با افزایش سرمایه، نیروی کار بخش کشاورزی و مصرف انرژی در این بخش به میزان یک درصد،

تولید کشاورزی به میزان ۰/۳۹۶، ۲/۶۰۱، ۰/۱۸۴ درصد افزایش می‌یابد. همچنین نتایج نشان داد که متغیر بحران آب بر تولید کشاورزی اثری منفی و معناداری دارد. پر واضح است که، کاهش دسترسی به منابع آبی مستقیماً تولید کشاورزی را کاهش می‌دهد. ضریب برآورد شده برابر با ۰/۴۰۴- می‌باشد که در سطح ۹۹ درصد معنادار است. بدین معنا که با بروز بحران آبی در سطح کشور، سطح تولید کشاورزی به میزان ۰/۴۰۴ درصد کاهش می‌یابد.

جدول ۶: برآورد مدل تولید کشاورزی

متغیر	ضریب	خطای استاندارد	آماره t	سطح معنی‌داری
عرض از مبدأ	-۲۴/۳۳۴	۶/۱۸۶	-۳/۹۳۱	۰/۰۰۰
سرمایه	۰/۳۹۶	۰/۰۷۲	۵/۴۷۵	۰/۰۰۰
نیروی کار	۲/۶۰۱	۰/۴۶۶	۵/۵۸۱	۰/۰۰۰
انرژی	۰/۱۸۴	۰/۰۶۲	۲/۹۳۷	۰/۰۰۴
بحران آب	-۰/۴۰۴	۰/۰۹۹	-۴/۰۴۵	۰/۰۰۰

مأخذ: یافته‌های تحقیق

با توجه به یافته‌های این مطالعه، در ادامه به بررسی و تحلیل تأثیرات سیستماتیک متغیرهای مدل می‌پردازیم. بحران آب به طور مستقیم و غیر مستقیم تمامی بخش‌ها را تحت تأثیر قرار می‌دهد. کاهش منابع آبی علاوه بر کاهش تولید کشاورزی، امنیت غذایی کشور را نیز به خطر می‌اندازد. از طرف دیگر افزایش تولید کشاورزی نه تنها به صورت مستقیم امنیت غذایی را بهبود می‌بخشد، بلکه به عنوان یک واسطه بین بحران آب و امنیت غذایی عمل می‌کند. بدین معنی که اگر افزایش تولید در بخش کشاورزی همراه با سرمایه‌گذاری در فناوری‌های بهره‌ور آب و مدیریت مصرف بهینه آب در بخش کشاورزی نباشد، تأثیر پایداری بر بهبود وضعیت امنیت غذایی نخواهد داشت. بر این اساس، اولویت اصلی باید بر مدیریت منابع آبی و توسعه فناوری‌های کاهش مصرف آب در کشاورزی باشد. بر این اساس، اتخاذ سیاست‌های حمایتی برای کاهش مصرف آب در تولید محصولات کشاورزی با نیاز آبی بالا ضروری می‌نماید. به عبارت دیگر، توسعه سرمایه‌گذاری در بخش کشاورزی، به ویژه در فناوری‌های نوین آبیاری و انرژی، علاوه بر افزایش تولید، فشار بر منابع آبی را کاهش می‌دهد. علاوه بر این سیاست‌گذاری برای کنترل قیمت مواد غذایی، می‌تواند امنیت غذایی کشور را بهبود بخشد. بنابراین به دلیل تعامل پیچیده بین بحران آب، تولید کشاورزی و امنیت غذایی، طراحی سیاست‌های جامع و هماهنگ در تمامی این بخش‌ها ضروری است.

نتیجه‌گیری و ارائه پیشنهادها

این پژوهش با استفاده از یک مدل معادلات همزمان به بررسی روابط پیچیده بین متغیرهای بحران آب، تولید کشاورزی و امنیت غذایی پرداخت. بر اساس نتایج برآورد مدل معادلات همزمان به روش 3SLS، بحران آب با ضریب ۰/۱۳۴- تأثیر منفی و معنی‌داری بر امنیت غذایی داشته است، که نشان دهنده آسیب‌پذیری امنیت غذایی نسبت به تنش‌های آبی در کشور است. همچنین تولید کشاورزی اثر مثبت و نسبتاً قوی بر امنیت غذایی داشته (۰/۱۵۸)، به طوریکه افزایش تولید مستقیماً موجب بهبود شرایط امنیت غذایی شده است. از سوی دیگر شاخص قیمت مواد غذایی تأثیر منفی بر امنیت غذایی (۰/۰۴-) داشته که حاکی از نقش پررنگ تورم در کاهش دسترسی اقتصادی خانوارها به غذای کافی است. تأثیر واردات مواد غذایی نیز مثبت اما بسیار ضعیف بوده (۰/۰۰۸۶) که نشان می‌دهد اگرچه واردات تا حدی نقش جبرانی ایفا می‌کند، اما در میزان و شکل فعلی، به تنهایی قادر به ثبت امنیت غذایی نیست. بر اساس این نتایج پیشنهاداتی به شرح ذیل ارائه می‌گردد:

- ۱- توسعه راهکارهای سازگار با کم آبی در تولید کشاورزی: با توجه به اثر منفی بحران آب بر امنیت غذایی، توصیه می‌شود سیاست‌های حفظ و بهینه‌سازی منابع آبی (مانند آبیاری قطره‌ای، اصلاح الگوی کشت و استفاده از پساب تصفیه شده) با اولویت مناطق بحرانی اجرا شود.
- ۲- افزایش بهره‌وری تولید داخلی کشاورزی: نقش مثبت تولید کشاورزی در ارتقای امنیت غذایی نشان می‌دهد که باید از طریق حمایت از فناوری‌های نوین، تسهیلات کشاورزی و کاهش ریسک‌های تولید، اقدام به تقویت تولید کشاورزی داخلی نمود.
- ۳- کنترل و تثبیت قیمت مواد غذایی اساسی: با توجه به اثر منفی شاخص قیمت، اتخاذ سیاست‌های حمایتی مانند یارانه‌های هدفمند، ذخایر استراتژیک و نظارت بر زنجیره تامین محصولات اساسی می‌تواند از افزایش قیمت بی‌رویه جلوگیری کرده و امنیت غذایی را حفظ کند.
- ۴- هدفمند کردن واردات مواد غذایی در شرایط بحران: اگرچه اثر واردات بر امنیت غذایی در این مطالعه ضعیف بوده، اما در شرایط کمبود شدید داخلی، می‌تواند نقش مکمل داشته باشد. لذا حمایت از واردات محصولات کشاورزی با مصرف آب مجازی بالا، حمایت از تولید و صادرات

محصولات کشاورزی بر اساس مزیت نسبی مصرف آب مجازی و توجه به آب مجازی در تفاهم و تعاملات منطقه‌ای و بین‌المللی به منظور تقویت امنیت غذایی و کمک به بنیه آبی کشور (حمایت از کشت فراسرزیمینی) پیشنهاد می‌شود.

بر اساس نتایج حاصل از برآورد مدل تولید کشاورزی، نیروی کار بیشترین اثر مثبت را بر تولید کشاورزی با ضریب $2/6$ دارد که نشان دهنده نقش بسیار مهم اشتغال و حضور نیروی انسانی در فرایند تولید کشاورزی است. سرمایه نیز اثر مثبت و قابل توجهی ($0/396$) دارد، به طوریکه افزایش سرمایه‌گذاری در بخش کشاورزی منجر به رشد تولید می‌گردد. متغیر انرژی نیز تاثیر مثبتی بر تولید داشته است ($0/184$) که نشان می‌دهد دسترسی به منابع انرژی نظیر سوخت، برق و نهاده‌های انرژی بر، می‌تواند به بهبود عملکرد تولید کمک کند. اما بحران آب با ضریب منفی ($-0/404$) نشان دهنده اثر بازدارنده آن بر تولید کشاورزی است. این میزان تاثیر منفی نسبت به سایر عوامل، نشان دهنده آسیب پذیری شدید تولید کشاورزی کشور در برابر تنش‌های آبی است. بر اساس این نتایج، پیشنهادات زیر ارائه می‌گردد:

- ۱- تقویت سرمایه‌گذاری در بخش کشاورزی: با توجه به اثر مثبت سرمایه بر تولید، لازم است سیاست‌های تشویقی برای سرمایه‌گذاران و کشاورزان (مانند وام‌های کم بهره، تسهیلات مکانیزاسیون، حمایت از طرح‌های گلخانه‌ای و کشت‌های اقتصادی) افزایش یابد.
- ۲- توسعه آموزش و اشتغال پایدار در کشاورزی: نقش بسیار مهم نیروی کار نشان می‌دهد که ایجاد فرصت‌های شغلی پایدار و آموزش مهارت‌های نوین کشاورزی می‌تواند موجب جهش در تولید شود.
- ۳- افزایش دسترسی به انرژی پاک و پایدار در کشاورزی: توسعه زیرساخت‌های انرژی در مناطق روستایی و تجهیز واحدهای کشاورزی به منابع انرژی تجدیدپذیر مانند پنل‌های خورشیدی، می‌تواند تولید را افزایش داده و هزینه‌ها را کاهش دهد.
- ۴- مدیریت بحران آب برای جلوگیری از کاهش تولید: با توجه به اثر منفی بحران آب، لازم است سیاست‌های جامع مدیریت منابع آبی از جمله افزایش راندمان آبیاری، ذخیره‌سازی رواناب‌ها، بازچرخانی آب و آموزش بهره‌برداران در مدیریت مصرف اجرایی گردد.

نتایج حاصل از برآورد معادله بحران آب نشان می‌دهد که تولید کشاورزی با ضریب مثبت و نسبتاً قوی $0/361$ تاثیر مستقیم بر تشدید بحران آب دارد. این موضوع نشان می‌دهد که گسترش فعالیت‌های کشاورزی به ویژه در شرایط فعلی بهره‌برداری ناپایدار از منابع آب، عامل موثری در افزایش تنش آبی کشور است. همچنین تغییرات اقلیمی تاثیر منفی و معناداری بر وضعیت منابع آب داشته ($-0/275$) به طوریکه کاهش بارندگی، افزایش دما و افزایش تبخیر و تعرق، به عنوان مولفه‌های اقلیمی، به کاهش دسترسی به منابع آب دامن زده‌اند. از سوی دیگر افزایش سیاست‌های مدیریتی با ضریب $-0/07$ موجب کاهش بحران آب می‌شود. بر اساس نتایج فوق پیشنهادهایی به شرح ذیل ارائه می‌گردد:

- ۱- مدیریت تقاضای آب در کشاورزی: با توجه به اثر مثبت تولید کشاورزی بر بحران آب، ضروری است تا الگوی کشت به سمت محصولات کم‌مصرف و مقاوم به خشکی سوق داده شود و مکانیزم‌هایی چون تعرفه‌گذاری مصرف آب و سهمیه‌بندی هدفمند در نظر گرفته شود.
- ۲- سازگاری با تغییرات اقلیم: برنامه‌ریزی برای تطبیق نظام کشاورزی با شرایط اقلیمی جدید شامل تقویت زیرساخت‌های ذخیره آب، توسعه بیمه کشاورزی، و اصلاح تقویم زراعی، نقش مهمی در کاهش اثرات تغییر اقلیم بر منابع آب دارد.
- ۳- تقویت سیاست‌های مدیریتی منابع آب: پیشنهاد می‌شود اقدامات لازم در جهت تقویت سیاست‌های مدیریتی منابع آب مانند سرمایه‌گذاری در تجهیز سیستم‌های آبیاری پیشرفته و مدیریت مصرف بی‌رویه آب در بخش کشاورزی، نه تنها از جنبه فنی بلکه از منظر حکمرانی، مشارکت ذینفعان و نظارت موثر انجام شود. اجرای مدیریت مشارکتی منابع آب و ارتقاء شفافیت در تخصیص منابع آبی می‌تواند اثربخشی آن را افزایش دهد.

در نهایت این پژوهش نشان داد که بحران آب تنها یک مسئله زیست محیطی نیست بلکه به شدت با جنبه‌های اقتصادی و اجتماعی از جمله تولید کشاورزی و امنیت غذایی در ارتباط است. این ارتباطات تاکید می‌کند که بدون توجه به پایداری منابع طبیعی و بهبود بهره‌وری کشاورزی، دستیابی به امنیت غذایی برای جمعیت رو به رشد امکان‌پذیر نخواهد بود. بنابراین، سیاست‌گذاری باید به صورت همزمان و هماهنگ به مسائل مرتبط با آب، کشاورزی و غذا رسیدگی کنند تا از پایداری این سه بخش حیاتی اطمینان حاصل شود. یافته‌های مطالعه حاضر با مطالعاتی همچون؛ بوتسکا و همکاران (24)، آجور (25)، زارعی (26)، آمولگی و همکاران (27)، لیو (28) و سان (29) همسو می‌باشد. اسمیت و همکاران (2004) در مطالعه‌ای تحت عنوان ارزیابی سهم آبیاری در کاهش فقر و پایداری معیشت به این نتیجه رسید که بهبود مدیریت آب کشاورزی باعث بالا رفتن تولید کل کشاورزی و در نهایت افزایش درآمد کشاورزان می‌شود. علاوه بر این، نه تنها میزان تولید را افزایش می‌دهد، بلکه باعث کاهش نوسان تولید در فصول مختلف و پایداری در تولید و در نهایت افزایش امنیت غذایی و کاهش فقر نیز می‌شود (30).

۵۲۹ هیکی و همکاران (۲۰۱۲) در مطالعه‌ای تحت عنوان چالش‌ها و فرصت‌های افزایش امنیت غذایی در کنیا به این نتیجه رسیدند که وضعیت
 ۵۳۰ امنیت غذایی کشور، به در دسترس بودن آب، مدیریت آب، قوانین تخصیص آب، دسترسی به فناوری و ثبات سیاسی وابسته است (۳۱).
 ۵۳۱ مشتاق و همکاران (۲۰۱۳) در پژوهش خود به این نتیجه رسیدند که در شرایط تغییر اقلیم و مواجهه با کمبود آب، دسترسی به مواد غذایی از
 ۵۳۲ طریق کاهش درآمد کشاورزان و کاهش تولید به علت افزایش هزینه‌های تولید تحت تأثیر قرار می‌گیرد و امنیت غذایی را با خطر جدی مواجه
 ۵۳۳ می‌کند (۳۲).
 ۵۳۴ بارنی و نیلور (۲۰۱۲) در پژوهشی با عنوان تحلیل سیستم‌های آبیاری قطره‌ای به عنوان یک استراتژی برای افزایش امنیت غذایی در مناطق
 ۵۳۵ روستایی ساحل سودانو در غرب آفریقا به این نتیجه رسیدند که استفاده از فناوریهای مدیریت آب مانند آبیاری قطره‌ای به طور قابل توجهی
 ۵۳۶ منجر به افزایش درآمد خانوار و مصرف مواد غذایی خانوارهای روستایی شده است و به واسطه افزایش تولید و قدرت خرید این خانوارها زمینه
 ۵۳۷ بهبود امنیت غذایی را در همه ابعاد امنیت غذایی (موجود بودن، دسترسی، استفاده و پایداری) فراهم نموده است (۳۳).
 ۵۳۸
 ۵۳۹

منابع

- ۵۴۰ 1. Zarei A, Rezaee F, Mohammadi M. An analysis of the economic and social impacts of drought in rural
 ۵۴۱ areas of Bijar County (Chang Almas district). *Geography and Human Relations*. 2021;4(2): 319-
 ۵۴۲ 335.
- ۵۴۳ 2. Kiani M, Madani M, Elmi M. Examining the attention to Bakhtegan lake drought and its role in
 ۵۴۴ environmental behavior and individualism among the people of Estahban County. *Environment*
 ۵۴۵ *and Development*. 2017;8(15): 41-50 .
- ۵۴۶ 3. Beydokhti IJ, Faghfour Maghrebi M, Jaefarzadeh MR. Iranian Hydraulic Association Cellular Automata
 ۵۴۷ Model for Simulating Surface Runoff . *Journal of Hydraulics*. 2022; 17(3):121.
 ۵۴۸ [<https://doi.org/10.30482/jhyd.2022.326587.1582>]
- ۵۴۹ 4. Moosaei M, Hosseinzadeh M, Moradi M. Valuation of Underground Waters in Agricultural
 ۵۵۰ Stakeholders The study of rice farmers of Ramhormoz city, Khuzestan province. *Water Resources*
 ۵۵۱ *Engineering Journal*. 2024;61(17):23-30 .
- ۵۵۲ 5. Ahmadi S. The water crisis in the country: economic and security impacts. *Economic Strategy*. 2021.
- ۵۵۳ 6. Arrow K, Debreu G. Existence of Equilibrium for a competitive economy. *Econometrica*. 1954;
 ۵۵۴ 22(3):256-290.
- ۵۵۵ 7. Beattie BR., Taylor CR, Watts MJ . The economics of production.. Krieger Pub. 2009;;299.
- ۵۵۶ 8. Ghafari Z, Moradi E, Hashemi M, Sardar A. Optimal allocation of water resources in the agricultural
 ۵۵۷ sector between selected crops in rural area in Sistan. *Rural Development Strategies*. 2022;
 ۵۵۸ 9(3):393-410
- ۵۵۹ 9. Cansino-Loeza B, Munguía-López AC, Ponce-Ortega JM .A water-energy-food security nexus
 ۵۶۰ framework based on optimal resource allocation. *Environ-Sci Policy*. 2022; 133(1):1–16 .
- ۵۶۱ 10. Hao L ,Yu J ,Wang P ,Han C, Gojenko B ,Qu B, et al .A comprehensive assessment indicator of the
 ۵۶۲ water-energy-food nexus system based on the material consumption relationship. *J Hydrol (Amst)*.
 ۵۶۳ 2024; 633(1):130-997.
- ۵۶۴ 11. Kang S, Hao X, Du T, Tong L, Su X, Lu H, Li X, et al. Improving agricultural water productivity to
 ۵۶۵ ensure food security in China under change environment: from research to practice. *Agricultural*
 ۵۶۶ *water management*. 2017; 179: 5-17. [<https://doi.org/10.1016/j.agwat.2016.05.007>]
- ۵۶۷ 12. Qureshi AS. Improving food security and livelihood resilience through groundwater management in
 ۵۶۸ Pakistan. *Global advanced research journal of agricultural science*. 2015;4(10):687-710.
- ۵۶۹ 13. Mudima K. Socio-economic impact of smallholder irrigation development in Zimbabwe: a case study
 ۵۷۰ of five successful irrigation schemes. Book chapter (Conference paper): [Private irrigation in sub-](#)
 ۵۷۱ [Saharan Africa. Proceedings, 22-26 October 2001, Accra, Ghana](#), 2002; (4):21-30.

- ۵۷۲
۵۷۳
۵۷۴
۵۷۵
14. Hanjra MA, Ferede T, Gutta DG. Reducing poverty in sub-Saharan Africa through investments in water and other priorities. *Agricultural water management*.2009;96(7):1062-1070.[<https://doi.org/10.1016/j.agwat.2009.03.001>]
- ۵۷۶
۵۷۷
۵۷۸
۵۷۹
۵۸۰
۵۸۱
۵۸۲
15. Gujarati DN. *Basic econometrics*. 4th ed. New York: McGraw-Hill.2004.
 16. FAO. *The state of the world's land and water resources for food and agriculture. Managing systems at risk*. Rome: Food and agriculture organization of the United Nations. 2021.
 17. Mohamadjani E, Yazdani N. Analysis of water crisis situation in the country and the requirements for its management. *Ravand*.2014; 21(65,66):117-144.
 18. Islami R ,Rahimi A .Policymaking and Water Crisis in Iran.*Quarterly Journal of the Macro and Strategic Policies*.2019; 30:410–35 .
- ۵۸۳
۵۸۴
۵۸۵
۵۸۶
۵۸۷
۵۸۸
19. Rouzkhosh M, Haghighatfard N, Varshosaz K, Orak N, Dashti S. Changes in Climate Indices (Ivanov, Barat, and Emberger) Due to Greenhouse Gas Emissions From Gas Flares in Ahvaz Oil Field (2008-2018).). *Archives of Hygiene Sciences*. 2022; 11(2):163-174. [<http://dx.doi.org/10.32598/AHS.11.2.349>]
 20. Debertin DL. *Agricultural Production Economics*, Second Edition. Book/ Chapter.2012. [[10.22004/ag.econ.158319](https://doi.org/10.22004/ag.econ.158319)]
- ۵۸۹
۵۹۰
۵۹۱
۵۹۲
۵۹۳
۵۹۴
۵۹۵
۵۹۶
۵۹۷
۵۹۸
۵۹۹
21. Esfandiari S, Sepahvand E, Mehrabi H. Examining the impact of agricultural mechanization on the food security of rural households in Iran.*Iranian Journal of Agricultural Economic and Development Research*. 2019; 47(3):609-618.
 22. Funk CC, Brown ME. Declining global per capita agricultural production and warming oceans threaten food security. *Food Security*. 2009;1:271-289.
 23. Akbari N, Zaremehrjerdi Y. Evaluation of the role of agricultural policies on food security in Iran. *Agricultural economics and development*. 2011;19(74):47-74.
 24. Bouteska A ,Sharif T ,Bhuiyan F ,Abedin MZ . Impacts of the changing climate on agricultural productivity and food security :Evidence from Ethiopia *J Clean Prod*. 2024;10:449.
 25. Ajjur SB, Al-Ghamdi SG .Towards sustainable energy ,water and food security in Qatar under climate change and anthropogenic stresses.*Energy Reports*.2022; 1(8):514–8 .
- ۶۰۰
۶۰۱
۶۰۲
۶۰۳
۶۰۴
۶۰۵
۶۰۶
۶۰۷
۶۰۸
۶۰۹
۶۱۰
26. Zarei M .The water-energy-food nexus :A holistic approach for resource security in Iran ,Iraq ,and Turkey.*Water-Energy Nexus* .2020; 1(3):81–94 .
 27. Amolegbe KB ,Upton J ,Bageant E ,Blom S .Food price volatility and household food security : Evidence from Nigeria. *Food Policy* .2021; 1(102):102-160 .
 28. Liu Y ,Zhou Y . Reflections on China's food security and land use policy under rapid urbanization . *Land use policy* .2021; 109(1):105-699 .
 29. Sun C ,Hao S .Research on the competitive and synergistic evolution of the water-energy-food system in China *J Clean Prod* .2022; 10(365):132-743.
 30. Smith JD, Cappa CD, Wilson KR, Messer BM, Cohen RC, Saykally RJ. Energetics of Hydrogen Bond Network Rearrangements in Liquid Water. *SCIENCE*. 2004;306(5697):851-853.[[DOI: 10.1126/science.1102560](https://doi.org/10.1126/science.1102560)]
- ۶۱۱
۶۱۲
۶۱۳
۶۱۴
۶۱۵
31. Hickey GM, Pelletier B, Brownhill L, Kamau GM, Maina IM. Challenges and opportunities for enhancing food security in Kenya. *Food Security*. 2012; 4: 333–340.
 32. Mushtaq S, Maraseni TM, Smith KR. Climate change and water security: Estimating the greenhouse gas costs of achieving water security through investments in modern irrigation technology. *Agricultural Systems*. 2013;117:78-89.[<https://doi.org/10.1016/j.agsy.2012.12.009>]

- ٦١٦ 33. Burney JA, Naylor RL. Smallholder Irrigation as a Poverty Alleviation Tool in Sub-Saharan Africa.
٦١٧ World development. 2012;40(1):110-123.[<https://doi.org/10.1016/j.worlddev.2011.05.007>]