Industrial Management Perspective

Print ISSN: 2251-9874, Online ISSN: 2645-4165
Volume 11, Serial Number 42, Summer 2021, Pages 145-176 (Original Article)
DOI: 10.52547/JIMP.11.2.145

A Two-Stage Model for Rice Cultivation Preparation Considering Dynamic Uncertainty: A Case Study in Iran

Hossein Ebrahimi Mahmoudi[*], Mir Saman Pishvaei[**], Ebrahim Teymouri[***]

Abstrac

As one of the essential commodities in the agricultural sector, rural farmers generally cultivate rice based on experience in agricultural fields. This method of cultivation has led to a waste of natural resources. In this study, the aim is to find suitable areas and determine the pattern of rice cultivation using a two-phase methodology. In the first phase, GIS integration and the best-worst method have been used to classify suitable areas for rice cultivation in Iran. The first phase's result is considered an input to the second phase, i.e., the optimization model to determine the pattern of rice cultivation. A multi-stage stochastic optimization approach has been used in the second phase to consider the weather uncertainty in all periods. Climatic conditions in each period are modeled in three scenarios. The application of the proposed model has been investigated in a case study in Iran. As a result, it has been observed that most of the suitable areas for rice cultivation are located in the north and western parts of Iran. Also, the suitable cultivation pattern for most rice farmers is the high-yield cultivation using the transplanting method.

Keywords: Land Preparation; Rice Cultivation Pattern; GIS; Multi-Stage Stochastic Programming; Best-Worst Method.

Received: Agu. 19, 2020; Accepted: May. 5, 2021.
* Master student, Iran University of Science and Technology
** Associate Professor, Iran University of Science and Technology (Corresponsible Author).
Email: pishvaee@iust.ac.ir
*** Associate Professor, Iran University of Science and Technology.

چشم‌انداز مدیریت صنعتی

شاپای چاپی: ۹۸۷۴-۲۲۵۱، شاپای الکترونیکی: ۴۱۶۵-۲۶۴۵

سال یازدهم، شماره ۴۲، تابستان ۱۴۰۰، ص‌ص ۱۴۵ – ۱۷۶ (**نوع مقاله: پژوهشی**)

DOI: 10.52547/JIMP.11.2.145

یک مدل برنامه‌ریزی دومرحله‌ای برای آمایش کشت برنج تحت شرایط عدم‌قطعیت پویا (مورد مطالعه: ایران)

حسین ابراهیمی محمودی*، میرسامان پیشوایی، ابراهیم تیموری*****

چکیده

برنج به‌عنوان یکی از کالاهای اساسی در بخش کشاورزی عموماً توسط کشاورزان روستایی بر اساس تجربه در مزارع کشاورزی کشت می‌شود. کشت سنتی این محصول به هدررفت منابع طبیعی، مانند ذخایر آب، منجر شده است. هدف پژوهش حاضر یافتن پهنه‌های مناسب و تعیین الگوی کشت برنج با استفاده از یک روش دومرحله‌ای است. در قسمت اول برای دسته‌بندی پهنه‌های مناسب برای کشت برنج در ایران از ادغام سیستم اطلاعات جغرافیایی با روش بهترین ـ بدترین استفاده شد. مرحله اول به‌عنوان ورودی به مرحله دوم، یعنی مدل بهینه‌سازی برای تعیین الگوی کشت برنج در نظر گرفته می‌شود. برای درنظرگرفتن شرایط آب‌وهوایی در همه دوره‌ها از رویکرد بهینه‌سازی تصادفی چندمرحله‌ای استفاده شد. شرایط آب‌وهوایی در هر دوره در سه سناریو موردبررسی قرار گرفت. کاربرد مدل در مطالعه موردی کشور ایران بررسی شد. نتایج نشان می‌دهد که بیشتر پهنه‌های مناسب برای کشت برنج در شمال کشور و قسمتی از غرب ایران قرار گرفته است و الگوی کشت مناسب برای بیشتر کشاورزان، کشت برنج پرمحصول و به روش نشایی است.

کلیدواژه‌ها: آمایش سرزمین؛ الگوی کشت برنج؛ سیستم اطلاعات جغرافیایی؛ برنامه‌ریزی تصادفی چندمرحله‌ای؛ روش بهترین ـ بدترین.

۱. مقدمه

تاریخ دریافت مقاله: ۱۳۹۹/۰۵/۲۹، تاریخ پذیرش مقاله: ۱۴۰۰/۰۲/۱۵.

* دانشجوی کارشناسی ارشد، دانشگاه علم و صنعت ایران.

** دانشیار، دانشگاه علم و صنعت ایران (نویسنده مسئول).

Email: pishvaee@iust.ac.ir

*** دانشیار، دانشگاه علم و صنعت ایران.

افزایش جمعیت سبب نگرانی جدی جوامع بشری در تأمین مواد غذایی بر پایه کشاورزی شده است [۱۴، ۳۲]؛ همچنین به علت ویژگی‌های خاص محصولات کشاورزی، مانند تغییر در تقاضا، آب‌وهوا و قیمت کشت، مطالعه کشت و تولید محصولات کشاورزی در سال‌های اخیر بیش‌ازپیش موردتوجه پژوهشگران قرار گرفته است. از نظر چرخه عمر، محصولات کشاورزی به دو دسته محصولات زراعی و محصولات باغی تقسیم‌بندی می‌شوند. محصولات زراعی شامل آن دسته از محصولات کشاورزی می‌شود که زمان کاشت آن‌ها تا پایان عمر کمتر از یک سال باشد. محصولات باغی دارای چرخه عمر طولانی‌تری هستند و می‌توانند در دوره‌های متوالی بدون کشت مجدد استفاده شوند [۱۴، ۳۲]. کشور ایران با توجه به شرایط آب‌وهوایی و شرایط محیطی مختلط از ظرفیت خوبی برای تولید محصولات کشاورزی برخوردار است.

برنج یکی از محصولات غذای پیشرو در جهان است و بعد از گندم به‌عنوان مهم‌ترین ماده غذایی شناخته می‌شود [۴]. محصول استراتژیک برنج نه به‌عنوان یک محصول، بلکه به‌عنوان زیرمجموعه‌ای از اقتصاد بخش کشاورزی شناخته شده است. برنج یک محصول مهم برای کشورهای درحال‌توسعه از جمله ایران است و نقشی مهمی در امنیت غذایی و اشتغال و درآمد روستاییان دارد. طبق گزارش فائو[۱] چین، هند و اندونزی بالاترین میزان تولید برنج را در جهان دارند. هند نه‌تنها دارای میزان تولید بسیار زیادی بوده، بلکه یکی از بزرگ‌ترین مصرف‌کنندگان برنج در جهان است. آمار ارائه‌شده توسط سایت www.statista.com از سال ۲۰۰۸ تا ۲۰۲۰ نشان می‌دهد که حجم تولید جهانی برنج در طول زمان افزایش یافته است؛ بااین‌حال در سال‌های اخیر با افزایش جمعیت، رشد قابل‌توجهی در تولید برنج مشاهده نشده است. یکی از عوامل اصلی شناخته‌شده توسعه پایدار کشاورزی به‌کارگرفتن اراضی بر طبق ظرفیت تولید آن‌ها برای مناسب‌ترین نوع بهره‌وری است که به‌اصطلاح به آن «ارزیابی تناسب اراضی»[۲] گفته می‌شود [۱۱]. در سال ۱۹۹۶ «سازمان غذا و کشاورزی»، آمایش زمین را به‌عنوان ارزیابی نظام‌مند زمین و ظرفیت آب از زمین و شرایط اقتصادی و اجتماعی در جهت اتخاذ بهترین گزینه بهره‌وری از زمین تعریف کرد [۱۲]. یکی از مهم‌ترین ابزارهای تصمیم‌گیری و تحلیل برای آمایش زمین، سیستم اطلاعات جغرافیایی است. سیستم اطلاعات جغرافیایی[۳] (GIS) مجموعه‌ای قدرتمند از ابزارهایی است که می‌تواند متغیرهای تولید محلی (دما، رطوبت، نوع خاک، زهکشی خاک، EC و PH خاک) و وزن نسبی آن‌ها را با توجه به اهمیت آن‌ها در دستیابی به تولید بهینه با استفاده از تصمیم‌گیری چندمعیاره[۴] (MCDM) به‌دست آورد [۳۷].

---

۱. FAO
۲. Land Suitability Evaluation
۳. Geographic Information System
۴. Multi Criteria Decision Making

با توجه به امکانات قدرتمند بهینه‌سازی ریاضی و GIS در این پژوهش یک چارچوب دومرحله‌ای برای کشت محصولات کشاورزی پیشنهاد شده است. در مرحله‌ای نخست، GIS با یک روش تجزیه‌وتحلیل تصمیم‌گیری چندمعیاره برای تعیین پهنه‌های کشاورزی ادغام می‌شود. ادغام روش تصمیم‌گیری بهترین ـ بدترین[۱] (BWM) با GIS، شاخصی برای انتخاب پهنه‌های مناسب برای کشت فراهم کرده و به تصمیم‌گیران کمک می‌کند تا برنامه‌ریزی مناسبی برای کشت برنج انجام دهند. در مرحله‌ای دوم، یک مدل برنامه‌ریزی خطی برای مشخص‌کردن الگوی کشت برنج در هر پهنه توسعه داده شده است. تغییرات آب‌وهوایی تأثیرات زیادی در بخش کشاورزی ایجاد می‌کند. این نوسانات به تغییر در پارامترها هر دوره منجر شده و موجب کاهش عملکرد محصول می‌شود [۲۰، ۲۴]؛ درنتیجه عملکرد محصولات کشاورزی متأثر از این شرایط حالت پویا پیدا می‌کند. بر این اساس، یک مدل برنامه‌ریزی تصادفی چندمرحله‌ای برای برخورد با عدم‌قطعیت شرایط محیطی مبتنی بر مدل خطی ارائه‌شده بسط داده شده است که قادر است در هر دوره تصمیم‌های کشت را بر اساس تغییرات آب‌وهوایی و میزان آب تنظیم کند.

ادامه مقاله حاضر به شرح زیر سازمان‌دهی شده است: در بخش ۲، مبانی نظری و پیشینه پژوهش توضیح داده شده است. در بخش ۳، مدل پیشنهادی دومرحله‌ای ارائه می‌شود. تحلیل داده‌ها و یافته‌های پژوهش به همراه تحلیل حساسیت در بخش ۴، ارائه خواهد شد. بخش ۵ به نتیجه‌گیری و پیشنهادهایی برای پژوهش‌های آتی اختصاص دارد.

۲. مبانی نظری و پیشینه پژوهش

در این قسمت به‌منظور آشنایی بیشتر با پژوهش‌های انجام‌شده در حوزه آمایش و الگوی کشت محصولات کشاورزی، تعدادی از پژوهش‌های مهم مرتبط در سال‌های اخیر مرور شده و مورد تحلیل قرار گرفته‌اند.

مطالعات زیادی برای انتخاب پهنه‌های مناسب برای محصولات مختلف با استفاده از تصمیم‌گیری چندمعیاره[۲] (MCDM) و سیستم اطلاعات جغرافیایی[۳] (GIS) انجام شده است. از دهه ۱۹۸۰ روش‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره برای ارزیابی مناسب‌بودن زمین مورداستفاده قرار گرفته‌اند [۱، ۶، ۱۹، ۲۲، ۳۶]. در ارتباط با تناسب اراضی، ترکیب فرایند تحلیل سلسله‌مراتبی[۴] (AHP) و GIS برای کشت برنج در مطالعات زیادی مورداستفاده قرار گرفته است [۱۳، ۲۱، ۲۸]؛ همچنین مطالعات زیادی مبتنی بر GIS برای ارزیابی تناسب زمین برای کشت محصولات کشاورزی مختلف، از جمله تنباکو و برنج صورت گرفته است [۴۱، ۷، ۹، ۱۳، ۲۳]. علاقه

۱. Best-worse method
۲. Multi Criteria decision making
۳. Geographic Information System
۴. Analytic hierarchy process

پژوهشگران به ادغام GIS با تصمیم‌گیری چندمعیاره به‌طور پیوسته افزایش یافته و روش‌های مبتنی بر ترکیب این دو تکنیک اکنون به یک روش شناخته‌شده در مبانی نظری آمایش سرزمین و مکان‌یابی تبدیل شده است [۳۱، ۳۴، ۴۰]. سلیم[۱] و همکاران (۲۰۱۸)، پژوهشی برای انتخاب پهنه‌های مناسب برای کشت آووکادو با استفاده از GIS و تصمیم‌گیری چندمعیاره در آنتالیای ترکیه انجام دادند [۳۳]. رضا و همکاران (۲۰۱۸)، پژوهشی به‌منظور تعیین مکان‌های بالقوه برای کشت برنج از طریق ارزیابی چندمعیاره با استفاده از سیستم اطلاعات جغرافیایی ارائه دادند. ددوئلو و دنگیز[۲] (۲۰۱۹)، برای شاخص مناسب‌بودن زمین برای کشت گندم از رویکرد سیستم ترکیبی AHP و GIS استفاده کردند [۸]. سید محمدی و همکاران (۲۰۱۹)، مدلی با استفاده AHP و GIS برای ارزیابی و انتخاب زمین‌های مناسب کشاورزی تدوین کردند [۳۵].

دغدغه اصلی در پژوهش حاضر تعیین پهنه‌های مناسب برای کشت برنج و تعیین الگوی کشت مناسب هر پهنه است. این پژوهش با درنظرگرفتن تمایلات ذی‌نفعان مختلف در پی آن است که آمایش مناسب کشت برنج در ایران را ارائه دهد. هر ساله کشاورزان به علت عدم برنامه‌ریزی مناسب در کشت برنج بسیاری از محصولات خود و منافع حاصل از آن‌ها را از دست می‌دهند. این پژوهش ابتدا به‌دنبال یافتن پهنه‌های مناسب برای کشت برنج با توجه شرایط خاک‌شناسی، محیطی، اقلیمی و آب‌وهوایی است؛ سپس برای هر پهنه الگوی کشت مناسب برنج را با توجه به شرایط عدم‌قطعیت آب‌وهوایی در فصل برداشت تعیین می‌کند. در جدول ۱، پژوهش حاضر با برخی پژوهش‌های موجود در مبانی نظری مقایسه شده است.

جدول ۱. مقایسه پژوهش‌های انجام‌شده در زمینه آمایش و الگوی کشت محصولات کشاورزی

پژوهشگر/ سال	محصول	MCDM	GIS	LP	عدم‌قطعیت	الگوی کشت
سلیم و همکاران، (۲۰۱۸) [۳۳]	آووکادو	✓	✓			
ژانگ و همکاران، (۲۰۱۵) [۴۱]	تنباکو		✓	✓		
نیکو، (۲۰۱۲) [۲۸]	برنج	✓	✓	✓		
ددوئلو و دنگیز، (۲۰۱۹) [۸]	گندم	✓	✓			
رابینسون و همکاران، (۲۰۱۰) [۳۲]	محصولات کشاورزی	✓		✓		
ژانگ و همکاران، (۲۰۱۰) [۴۲]	محصولات زراعی			✓	✓	

۱. Selim
۲. Dedeoğlu & Dengiz

پژوهشگر/ سال	محصول	MCDM	GIS	LP	عدم‌قطعیت	الگوی کشت
بابازاده و همکاران، (۲۰۱۵) [۳]	جاتروفا	✓		✓		
عباسی و همکاران، (۲۰۲۰) [۲۶]	جاتروفا	✓	✓		✓	
کاشانیان و همکاران، (۲۰۲۰) [۱۷]	محصولات کشاورزی	✓	✓		✓	✓
پژوهش حاضر	برنج	✓	✓	✓	✓	✓

۳. روش‌شناسی پژوهش

روش‌شناسی دومرحله‌ای پیشنهادی

تعریف مسئله. برنج یکی از اصلی‌ترین مواد غذایی در ایران محسوب می‌شود. تولید برنج در ایران نه یک انتخاب، بلکه یک ضرورت مهم و انکارناپذیر است و باید با درنظرگرفتن تمام جنبه‌های فنی و اقتصادی تولید آن از جمله بحران آب و تغییرات اقلیمی، موردبررسی قرار گیرد. کشت برنج در ایران عموماً توسط کشاورزان خُرد صورت می‌گیرد و هر کشاورز در رابطه با منابع در دسترس خود تصمیم‌گیری می‌کند. این تصمیم‌ها به هدررفت محصول برنج در هنگام برداشت منجر می‌شود و زیان‌های مالی بسیاری به کشاورزان و البته منابع ملّی وارد می‌کند. کشاورزان تصمیم‌گیران نهایی در مزارع هستند و معمولاً با قیمت‌ها و عملکردهای متغیری مواجه هستند؛ بنابراین لازم است برای بهره‌برداری مناسب اقتصادی و تولیدی از مزارع کشاورزی، نوع و روش مناسب برای کشت با توجه به شرایط اقلیمی هر منطقه اتخاذ شود. تغییر الگوی کشت کشاورزان یکی از راهکارهای مناسب برای کاهش خسارات ناشی از تغییرات آب‌وهوایی است. تغییر الگو از روش کشت نشایی به دیم در مناطقی که باراش سالیانه و آب دردسترس کمتری دارند، باعث افزایش بهره‌وری زمین‌های کشاورزی می‌شود؛ درنتیجه تعیین الگوی کشت مناسب برنج با درنظرگرفتن منابع دردسترس و ریسک‌های موجود لازم و ضروری است. بدون یافتن پهنه‌های مناسب برای کشت برنج، تعیین الگوی کشت برنج کاربرد مناسبی نخواهد داشت؛ درنتیجه بررسی یکپارچه آمایش کشت برنج که به یافتن پهنه‌های مناسب کشت برنج منجر می‌شود، با تعیین الگو کشت برنج یک ضرورت انکارناپذیر است.

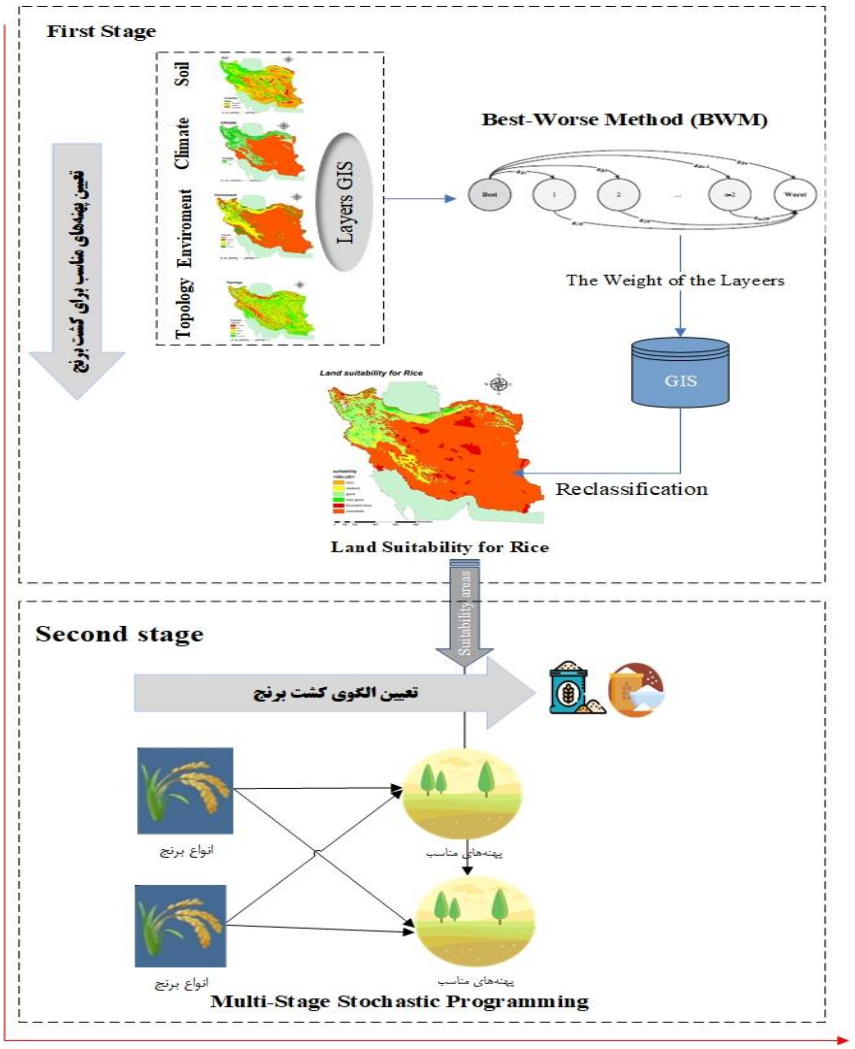
با توجه به توضیحات بالا، ابتدا باید پهنه‌های (زمین‌های) مناسب برای کشت برنج با توجه به شرایط مناسب کشت مشخص شود که این شرایط شامل موارد زیر می‌شود: ۱. شرایط خاک‌شناسی: مناسب‌ترین خاک برای کشت برنج، خاک رسی با لایه غیرقابل نفوذ در عمق ۵۰ تا ۱۵۰ سانتی‌متری و همراه با مقدار زیادی مواد آلی است؛ ۲. شرایط اقلیمی: گیاه برنج در طول

دوره رشد به آب فراوان نیاز دارد که حدود ۱۰۰۰۰ تا ۱۲۰۰۰ مترمکعب در هکتار است؛ بنابراین باید در مناطقی با بارندگی کافی، کشت شود؛ ۳. شرایط محیطی: کشت برنج هر میزان به منابع طبیعی آبی از جمله رودخانه‌ها، مسیل‌ها و دریاچه‌ها نزدیک‌تر باشد، بازدهی بیشتری خواهد داشت؛ ۴. شرایط آب‌وهوایی: میانگین دمای موردنیاز برنج هنگام رشد باید بین ۲۰ تا ۹۹ درجه سانتی‌گراد باشد و مناسب‌ترین میزان رطوبت برای گل‌دهی گیاه برنج۱۰ تا ۹۰ درصد است. زمین‌های دارای این شرایط به‌عنوان پهنه‌های مناسب برای کشت برنج شناخته می‌شوند.

تولید محصولات کشاورزی از جمله برنج، وابستگی زیادی به تغییرات محیطی و حوادث طبیعی مانند سیل، سرمازدگی و آفات دارد. این موارد ریسک‌های ریسک‌های را به کشت برنج و منافع کشاورزان وارد می‌کند. غیرقابل‌کنترل‌بودن این عوامل سبب شده است، پیش‌بینی تأثیر این موارد بر تولید و تصمیم‌گیری در سطح مزرعه بسیار مشکل شود [۲۰]. یکی از عوامل طبیعی تأثیرگذار بر روش الگوی کشت، شرایط اقلیمی است که در اثر تغییرات ایجادشده در پارامترهای هواشناسی مانند بارندگی و دما به‌وجود می‌آید. عنصر اقلیمی بارش در ایران نسبت به سایر پارامترها همچون تابش نور دارای بیشترین نواسانات است. این عامل بیشترین تأثیر را در هنگام برداشت برنج دارد. این نوسانات اگر به‌صورت وزش باد و ریزش باران و تگرگ در زمان گل‌دهی باشد، بسیار زیان‌بار است. بارندگی در هنگام برداشت برنج هم عملیات مربوط به خشک‌شدن برنج را به تأخیر می‌اندازد و هم عملکرد محصول را به‌شدت کاهش می‌دهند؛ درنتیجه درنظر گرفتن شرایط آب‌وهوایی در فصل برداشت یکی از عوامل مهم در میزان برداشت برنج است.

روش‌شناسی دومرحله‌ای پیشنهادی. برای حل مسئله بالا در این پژوهش یک روش دومرحله‌ای توسعه داده شده که قادر است به‌طور یکپارچه دو مسئله مهم زنجیره تأمین برنج، یعنی شناسایی پهنه‌های مناسب و الگوی کشت برنج را بررسی کند و به‌خوبی ارتباط بین هر مرحله با مرحله بعد را نشان دهد. ورودی مرحله دوم از خروجی مرحله قبل تأثیر می‌گیرد تا نتایج دو مرحله به هم وابسته شوند؛ درنتیجه نتایج به‌دست‌آمده به واقعیت نزدیک‌تر خواهد بود. مزیت بعدی این روش‌شناسی این است که سعی شده است منافع ذی‌نفعان زنجیره تأمین برنج در مراحل مختلف لحاظ شود. در مرحله نخست، مسئله از دیدگاه «وزارت جهاد کشاورزی» حل می‌شود تا از حداکثر منابع دردسترس به‌صورت کارایی استفاده شود. در مرحله‌ای نخست با استفاده از سیستم اطلاعات جغرافیایی لایه‌های اولیه شناسایی می‌شود؛ سپس با روش تصمیم‌گیری بهترین ـ بدترین هر لایه آن وزن‌دار می‌شود تا درنهایت با هم ترکیب شوند و پهنه‌های مناسب کشت برنج به‌دست آید. مرحله دوم، تعیین الگوی کشت برنج است و از نگاه کشاورزان حل شده است. در این مرحله مدل با انتخاب نوع و روش کشت مناسب برنج به دنبال حداکثرسازی سود کشاورزان است. برای درنظرگرفتن شرایط آب‌وهوایی از برنامه‌ریزی تصادفی

چندمرحله‌ای استفاده شده است تا بتواند ریسک‌های متوالی در دوره‌های آتی را در نظر بگیرد. روش‌شناسی دومرحله‌ای پیشنهادی پژوهش در شکل ۱، مشاهده می‌شود. خروجی هر مرحله مشخص است و میزان وابستگی هر مرحله نسب به یکدیگر را نشان می‌دهد. با توجه به شکل ۱، در مرحله‌ای نخست پهنه‌های مناسب به‌دست می‌آید و به‌عنوان ورودی مرحله‌ای دوم، یعنی الگوی کشت، استفاده می‌شود. در این مرحله بعد از تعیین الگوی کشت برنج، میزان برنج تولیدشده در هر پهنه مشخص می‌شود تا میزان سودآوری کشاورزان مشخص شود.



شکل ۱. روش‌شناسی دومرحله‌ای پیشنهادی پژوهش

شناسایی پهنه‌های مناسب. بررسی تناسب اراضی برای یک کاربری خاص به اطلاعات جغرافیایی و پارامترهای زمین‌شناسی از منطقه‌ی موردمطالعه نیاز دارد. این اطلاعات بر بستر نقشه‌ها قابل‌ارائه، ارزیابی و نتیجه‌گیری هستند. برای این کار از روش تجزیه‌وتحلیل تناسب اراضی استفاده می‌شود. هر منطقه به واحدهایی از مشاهدات چندضلعی یا شطرنجی تقسیم می‌شود و هر یک از این واحدها دارای اطلاعات زمین‌شناسی منحصربه‌فرد هستند [۲۴]. تناسب زمین شامل ارزیابی و طبقه‌بندی واحدهای حوزه‌ی موردمطالعه برای یک فعالیت خاص است. برای مثال، تناسب و پایداری کشاورزی به توانایی یک زمین برای تولید مواد غذایی به‌طور نامحدود اشاره می‌کند؛ بدون توجه به آسیب‌های جبران‌ناپذیری که ممکن است به سلامت اکوسیستم وارد شود [۲]. سیستم اطلاعات جغرافیایی نقش مهم و اساسی در ایجاد سیاست و فرآیند برنامه‌ریزی آمایش ایفا می‌کند. این نقش مهم از طریق حل‌کردن مشکلات تصمیم‌گیری فضایی، الگوهای هوش فضایی و تحلیل‌های پیچیده جغرافیایی ادا می‌شود [۲۴، ۲۷]. بر این اساس مجموعه‌ای از معیارهای موردنیاز برای کشت برنج که بر اساس اطلاعات کمّی و کیفی برگرفته از مشاوره‌های تخصصی، مصاحبه با خبرگان و پژوهش‌های گذشته به‌دست آمده، در این پژوهش استفاده شده است. این معیارها به چهار گروه اصلی ۱. خاک‌شناسی (جنس خاک و فرسایش خاک) ۲. اقلیمی (دما، باران، رطوبت) ۳. محیطی (رودخانه‌ها، کاربری زمین، پوشش گیاهی) و ۴. توپولوژی (ارتفاع، شیب، جهت شیب) تقسیم می‌شوند. برای به‌دست‌آوردن وزن هر یک از لایه‌ها و جمع‌بندی آن‌ها به یک لایه ترکیبی نهایی، روش بهترین ـ بدترین به‌کار رفته است.

نیازهای خاک‌شناسی: برنج در خاک‌های مختلف (فقیر تا غنی) که آب موردنیاز گیاه تأمین باشد به‌عمل می‌آید؛ البته مقدار آب مصرفی در خاک‌های سبک بیش از خاک‌های سنگین است. مناسب‌ترین خاک برای کشت برنج، خاک رسی با لایه غیرقابل‌نفوذ در عمق ۵۰ تا ۱۵۰ سانتی‌متری و همراه با مقدار زیادی مواد آلی است. برنج اصولاً نسبت به شوری خاک و شوری آب مقاوم است. در صورتی که آب کافی برای شستشوی نمک خاک وجود داشته باشد، می‌توان از برنج برای اصلاح خاک‌های شور استفاده کرد؛ درنتیجه بیشتر مناطق ایران مناسب کشت برنج هستند.

نیازهای اقلیمی: گیاه برنج در طول دوره رشد به آب فراوان نیاز دارد که در حدود ۳۰۰۰۰ مترمکعب در هکتار است؛ بنابراین باید در مناطقی با میزان بارندگی کافی کشت شود. در مناطقی که بارندگی آن‌ها در حدود ۱۰۰۰ میلی‌متر باشد، کشت برنج امکان‌پذیر است و محصول خوبی به دست می‌آید. چنانچه بارندگی از این مقدار کمتر باشد، رشد برنج دچار اختلال خواهد شد. وجود سرما نیز باعث توقف رشد برنج می‌شود و تولید محصول را پایین می‌آورد. متوسط دمای موردنیاز برنج حدود ۳۳ درجه سانتی‌گراد است که این مقدار در مورد ارقام زودرس کمتر و در مورد ارقام

دیررس بیشتر است و ممکن است به ۴۰ درجه سانتی‌گراد و یا حتی بیشتر نیز برسد. میانگین دمای محیط کشت برنج باید بین ۲۲ تا ۳۰ درجه سانتی‌گراد باشد. هرگاه دمای محیط از ۱۳ درجه سانتی‌گراد کمتر شود، برنج با سرما روبه‌رو می‌شود؛ همچنین هرگاه دمای محیط از ۴۰ درجه سانتی‌گراد بیشتر شود، باعث اختلال در رشد ریشه خواهد شد و گیاه را از بین می‌برد. لازم به ذکر است که رطوبت هوا نیز اگر بیش از اندازه طبیعی، یعنی بالاتر از ۸۰ درصد باشد، تلقیح به‌خوبی انجام نمی‌شود و دانه تشکیل نخواهد شد؛ به‌عبارت‌دیگر برنج پوک شده و درنتیجه میزان تولید محصول به میزان زیادی پایین خواهد بود. به‌طورکلی رطوبت در محیط کشت برنج نباید کمتر از ۴۰ درصد و بیش از ۹۰ درصد باشد. برنج گیاهی است ویژه کاشت در مناطق باتلاقی و بنابراین محیط کشت برنج همیشه باید به‌صورت غرقاب باشد.

نیازهای محیطی: کشت دیم و نشایی هر چه به منابع طبیعی آبی از جمله رودخانه‌ها، مسیل‌ها و دریاچه‌ها نزدیک‌تر باشد، بازدهی بیشتری خواهد داشت. وضعیت موجود مناطق در تصمیم‌گیری بسیار تاثیرگذار است. به‌عنوان مثال، اگر زمینی از نظر آب‌وهوا و خاک برای کشاورزی بسیار مناسب تشخیص داده شود، اما جزو مناطق شهری باشد به علت غیرممکن‌بودن جابه‌جایی یک شهر عملاً این گزینه حذف می‌شود. جدول ۲، کاربری زمین دسته‌بندی و امتیازدهی شده است. این لایه از اطلاعات «سازمان جنگل‌ها و مراتع کل کشور» استخراج شده است. بر اساس تنوع پوشش گیاهی اراضی به ۷ طبقه دسته‌بندی و امتیازدهی شده است. در جدول ۳، امتیازات بالاتر به معنای تناسب بیشتر برای کشاورزی است.

جدول ۲. امتیازدهی از نظر کاربری زمین

کشاورزی آبی، کشاورزی دیم، زمین‌های آبی	زمین‌های بایر، باغ‌های بدون ثمر، باغ‌های مثمر، جنگل‌های کم‌تراکم، مسیل‌ها	جنگل‌های با تراکم متوسط، زمین‌های سنگی	سواحل، جنگل‌های متراکم	مناطق شهری، صخره‌ها، شوره‌زارها، فرودگاه
۹	۷	۵	۳	۰

جدول ۳. امتیازدهی بر اساس پوشش گیاهی

اراضی کشاورزی آبی	اراضی دیم و دیم‌زارها	مراتع مرغوب و استپی	مراتع متوسط کوهستانی	جنگل بلوط و پسته	مراتع کوهستانی و سنگی	پوشش گیاهی شور و تپه شنی	کویر و دریاچه
۹	۷	۵	۴	۳	۲	۱	۰

نیازهای توپولوژی: به‌طورکلی با بیشترشدن ارتفاع، دما کاهش می‌یابد و بارندگی بیشتر می‌شود [۳۹]. ارتفاع از سطح دریا در رشد برنج تأثیر زیادی ندارد و این گیاه را می‌توان تا ارتفاع ۱۴۰۰ متری از سطح دریا نیز کشت کرد. شیب اراضی زیرکشت یکی از مهم‌ترین عوامل رویش و ثمردهی محصولات زراعی به‌شمار می‌رود. شیب زیاد باعث افزایش فرسایش خاک و کاهش جذب آب‌های سطحی توسط خاک می‌شود. لایه شیب از داده‌های ارتفاع در محیط نرم‌افزار ARC-GIS استخراج شده است. تابش نور مستقیم خورشید و گرمای آن تأثیر مستقیمی بر رشد و نمو گیاه دارد. از سوی دیگر وزش بادهای شدید موجب شکسته‌شدن ساقه برنج و کاهش محصول برداشتی می‌شود.

روش بهترین ـ بدترین. سیستم اطلاعات جغرافیایی اطلاعات پارامترها و معیارهای مؤثر در بررسی تناسب اراضی در قالب لایه‌های مختلف در اختیار قرار می‌دهد. برای رسیدن به نتیجه نهایی، با توجه به اینکه معیارهای مؤثر در مطلوبیت یک پهنه از یک معیار بیشتر است باید از روش‌های مناسب برای ترکیب آن‌ها استفاده کرد. تصمیم‌گیری چندمعیاره یکی از زمینه‌های پژوهشی در رابطه با تصمیم‌گیری در مدیریت علم است و به شکل گسترده توسط پژوهشگران در حال توسعه است. ارزیابی و انتخاب بهترین گزینه با توجه به دیدگاه تصمیم‌گیرندگان از مهم‌ترین اهداف تصمیم‌گیری چندمعیاره محسوب می‌شود. فرآیند تحلیل سلسله‌مراتبی به‌عنوان یک روش شناخته‌شده در این شاخه از علم، ابتدا مسئله موضوع موردنظر را به یک ساختار سلسله مراتبی تبدیل می‌کند که در آن عناصر تشکیل‌دهنده این ساختار از اجزای تصمیم تلقی می‌شوند. در فرایند AHP، وزن (امتیاز) هر معیار از مقایسه دوبه‌دوی معیارها حاصل می‌شود و ارزش (امتیازات) از مقایسه دوبه‌دوی معیارهای مجاور یکدیگر به‌دست می‌آید. زمانی که تعداد معیارها افزایش می‌یابد، محاسبه وزن‌ها بسیار پیچیده خواهد شد و نیازمند محاسبات زیاد برای به‌دست-آوردن وزن‌ها می‌شود. روش بهترین ـ بدترین (BWM) یک روش تجزیه‌وتحلیل تصمیم‌گیری چندمعیاره است که از داده‌های مقایسه‌ای کمتری برای به‌دست‌آوردن وزن‌های معیارها در مقایسه با سایر روش‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره، به‌خصوص AHP، استفاده می‌کند و ضریب همبستگی متناسب با روش AHP با توجه به محاسبات کمتر ارائه می‌کند [۳۰]. BWM یک روش تجزیه و تحلیل تصمیم‌گیری است که برای به‌دست‌آوردن وزن معیارها از آن استفاده می‌شود و از مقایسه بهترین و بدترین معیار با معیارهای دیگر به‌دست می‌آید که شامل پنج مرحله به‌صورت زیر است [۳۰]:

گام ۱: تعیین مجموعه شاخص‌های تصمیم‌گیری: در این گام، مجموعه شاخص‌ها به‌صورت (C1، C2، ...، Cn) تعریف می‌شود؛

گام ۲: مشخص‌کردن بهترین (دارای بیشترین مطلوب‌ترین) و بدترین (دارای کمترین مطلوبیت) شاخص؛
گام ۳: مشخص‌کردن ارجحیت بهترین شاخص نسبت به سایر شاخص‌ها با اعداد ۱ تا ۹ بردار؛
گام ۴: مشخص‌کردن ارجحیت همه شاخص‌ها نسبت به بدترین شاخص با اعداد ۱ تا ۹؛
گام ۵: یافتن مقادیر بهینه وزن‌ها ($W_1, W_2, \dots, W_n$): برای تعیین وزن بهینه هر یک از شاخص‌ها، زوج‌های $\frac{W_B}{W_j} = a_{Bj}$ و $\frac{W_j}{W_W} = a_{jW}$ تشکیل می‌شود؛ سپس برای برآورده‌کردن این شرایط در همه معیارها باید راه‌حلی پیدا شود تا عبارات $\left|\frac{W_B}{W_j} - a_{Bj}\right|$ و $\left|\frac{W_B}{W_j} - a_{Bj}\right|$ حداقل شوند، با توجه غیرمنفی‌بودن وزن‌ها می‌توان به‌صورت رابطه زیر فرموله کرد:

$$Min\ max j\ \left[\left|\frac{W_B}{W_j} - a_{Bj}\right|, \left|\frac{W_B}{W_j} - a_{Bj}\right|\right]$$ رابطه (۱)

$$\sum_j W_j = 1$$ رابطه (۲)

$$W_j \geq 0 \quad for\ all\ j$$ رابطه (۳)

همچنین می‌توان مدل بالا را به مدل زیر تبدیل کرد؛

$$Min\ \varepsilon$$ رابطه (۴)

$$\left|\frac{W_B}{W_j} - a_{Bj}\right| \leq \varepsilon\ for\ all\ j$$ رابطه (۵)

$$\left|\frac{W_j}{W_W} - a_{jW}\right| \leq \varepsilon\ for\ all\ j$$ رابطه (۶)

$$\sum_j W_j = 1$$ رابطه (۷)

$$W_j \geq 0 \quad for\ all\ j$$ رابطه (۸)

البته مدل خطی تابع بالا که به‌صورت زیر ارائه شده، تاکنون نظر پژوهشگران را در حوزه های مختلف به خود جلب کرده است و کاربرد آن روزبه‌روز بیشتر می‌شود [۱۶، ۲۵]. در این پژوهش وزن‌های شاخص‌ها با استفاده از مدل زیر به‌دست می‌آید.

$$Min\ \varepsilon$$ رابطه (۹)

$$\left|W_B - a_{Bj} W_j\right| \leq \varepsilon \ \ for\ all\ j$$ رابطه (۱۰)

$$\left|W_j - a_{jW}\ W_W\right| \leq \varepsilon \ \ for\ all\ j$$ رابطه (۱۱)

$$\sum_j W_j = 1$$ رابطه (۱۲)

$$W_j \geq 0 \quad for\ all\ j$$ رابطه (۱۳)

با حل مدل بالا مقدار ε محاسبه می‌شود و وزن‌های بهینه به‌دست می‌آید. شاخص سازگاری با استفاده از ε به‌دست‌آمده محاسبه می‌شود که مقدار ε بهینه بزرگ‌تر نشان‌دهنده نرخ سازگاری بالاتری است و می‌توان با استفاده از شاخص سازگاری جدول ۴ و معادله ۱۴، نرخ سازگاری را محاسبه کرد.

جدول ۴. شاخص سازگاری با استفاده روش BWM

a_{BW}	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸	۹
شاخص سازگاری	۰	۰/۴۴	۱/۰	۱/۶۳	۲/۳	۳/۰۰	۳/۷۳	۴/۴۷	۵/۲۳

$$\text{نرخ سازگاری} = \frac{\varepsilon}{\text{شاخص سازگاری}}$$ (۱۴)

تعیین الگوی کشت برنج. بخش کشاورزی به علت وابستگی زیاد به منابع طبیعی و شرایط آب‌وهوایی، تأثیرات بسیاری را در اثر تغییر در دما، بارش و آب دردسترس کشاورزان، پذیرا است؛ ازاین‌رو تغییرات اقلیمی چه در کوتاه‌مدت (دوره برداشت محصول) و چه در درازمدت، نقش تعیین‌کننده‌ای در میزان تولید و پایداری آن دارد. این بخش به علت ارتباط با محیط، بیشترین تأثیر را از تغییر اقلیم می‌پذیرد؛ به‌گونه‌ای که بارش‌های ناگهانی در فصل برداشت برنج موجب کاهش برداشت محصول و به‌تأخیرافتادن محصول برنج خشک‌شده می‌شود؛ درنتیجه بهره‌وری تولید محصول تحت تأثیر تغییرات اقلیم و اتفاقات آب‌وهوایی تغییر می‌یابد. برای تعیین الگوی کشت برنج باید از مدلی استفاده شود که بتواند ریسک‌های متوالی که در بازه‌های زمانی به‌وجود می‌آید را در نظر بگیرد. مخاطرات آب‌وهوایی در طول رشد و زمان برداشت محصول قابل پیش‌بینی قطعی نیست. در چنین شرایطی تصمیم‌گیرنده باید الگوی کشت خود را متناسب با شرایط آب‌وهوایی تنظیم کند؛ بنابراین مدل‌های برنامه‌ریزی تصادفی متوالی (SPR)[۱] یک

۱. Stochastic Programming with Recourse

تصمیم‌گیری تطبیقی با ثبات تصمیم‌گیری‌های قبل است؛ به‌صورتی که کشاورز هیچ‌گاه نمی‌تواند تصمیم‌های قبلی خود را مانند کشت محصول تغییر بدهد. مورد دیگر برنامه‌ریزی تصادفی متوالی به تصمیم‌گیرنده کمک می‌کند تا تصمیم خود را با توجه به خطرات آینده اتخاذ کند.

برنامه‌ریزی تصادفی چندمرحله‌ای. دانتزینگ و اینفانگر[۱] (۱۹۹۳) مدل برنامه‌ریزی تصادفی چندمرحله‌ای برنامه‌ریزی خطی را به‌صورت زیر تعریف کرده‌اند [۷].

رابطه (۱۵)
$$\min Z = C_1X_1 + E(C_2X_2^{\omega 2} + \ldots + E(C_{T-1}X_{T-1}^{\omega T-1} + E(C_TX_T^{\omega T \ldots \omega 2}))\ldots)$$

Subject to:

رابطه (۱۶)
$$C_1X_1 = b_1$$

رابطه (۱۷)
$$C_2X_2^{\omega 2} - C_1X_1 = b_2^{\omega 2}$$

رابطه (۱۸)
$$\begin{matrix} . & . \\ . & . \\ . & . \end{matrix}$$

رابطه (۱۹)
$$A_TX_T^{\omega T \ldots \omega 2} - B_{T-1}^{\omega T}X_{T-1}^{\omega T-1 \ldots \omega 2} + \ldots = b_T^{\omega T}$$

رابطه (۲۰)
$$X_1, X_2^{\omega 2}, \ldots, X_{T-1}^{\omega T-1}, X_T^{\omega T \ldots \omega 2} \geq 0$$

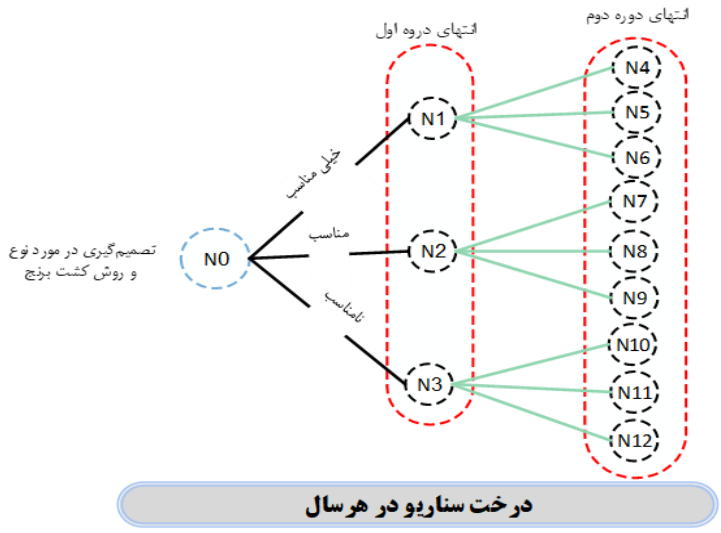
رابطه (۲۱)
$$\omega_T \in \Omega_1,\ t=2,\ldots,T$$

درواقع این روش حالت کلی‌تر مسئله برنامه‌ریزی تصادفی دومرحله‌ای است. در ابتدا تصمیم‌گیری (t=0) تصمیم x_0 اتخاذ می‌شود. این تصمیم هزینه قطعی $C_0^TX_0$ را به همراه داشته و درضمن باید در محدودیت $A_{00}X_0 = b_0$ صدق کند. در دوره دوم داده‌های تصادفی $(A_{10}, A_{11}, C_1, b_1)$ مشاهده می‌شوند که خود به مشاهده تصادفی W_1 وابسته هستند؛ سپس بر مبنای این اطلاعات X_1 اتخاذ می‌شود. این تصمیم به هزینه $C_1^TX_1$ منجر شده و باید در محدودیت $A_{10}X_0 + A_{11}X_1 = b_0$ نیز صدق کند. این رویه تا دوره T-1 ادامه می‌یابد؛ درحالی‌که T پایان دوره برنامه‌ریزی است. در ابتدای دوره T داده تصادفی $(A_{TT_1}, A_{TT}, C_T, b_T)$ که وابسته به پیشامد تصادفی W_T است، مشاهده می‌شود. بر مبنای این نگاه، در لحظه (دوره) t=0 تصمیمات $X_1, \ldots, X_T$ متغیر تصادفی هستند که باید خود را با فرآیند تصادفی انطباق دهند.

در ایران تعیین الگوی کشت برنج نیازمند رعایت الزامات و درنظرگرفتن مفروضاتی به شرح زیر است: در هر سال امکان کشت برنج کم‌محصول (برنج هاشمی، طارم و طارم عسگری که از

۱. Dantzig & Infabger

معروف‌ترین آن‌ها هستند) حداکثر در دو مرحله وجود دارد که در مرحله‌ای دوم از دو اصطلاح کشت مجدد (یعنی مجدداً زمین مانند مرحله اول آماده می‌شود و کشت به‌صورتی نشایی صورت می‌گیرد) و رویش مجدد (یعنی بعد از برداشت برنج، زمین کشاورزی مجدد آبیاری شده و سموم و کود مناسب استفاده می‌شود تا ساقه برنج مجدداً رشد کند و محصول بدهد) استفاده می‌شود. اگر در مرحله‌ی اول برنج پرمحصول (مانند شیرودی، ندا و فجر) کشت شود، امکان برداشت در مرحله‌ای دوم وجود ندارد. کیفیت هر نوع از برنج‌ها متفاوت است؛ درنتیجه قیمت هر نوع برنج نیز متفاوت است. برنج به دو روش نشایی و دیم کشت می‌شود. در هر یک از پهنه‌های مشخص‌شده نوع و روش کشت برنج با توجه به میزان آب دردسترس (میزان بارش سالیانه) در هر پهنه مشخص می‌شود. با توجه به تفاوت سلیقه بین اقشار جامعه باید برای هر نوع برنج یک میزان حداقلی از کشت لحاظ شود. برای درنظرگرفتن شرایط آب‌وهوایی از سه سناریو استفاده شده است و در هر دوره یکی از این سناریوها رخ می‌دهد و تصمیم‌های دوره بعد مبتنی بر سناریو رخ داده، گرفته می‌شود. شرایط رخدادن در مرحله‌ای دوم سناریوها با توجه به شرایط بارش در هنگام برداشت است که شامل ۱. شرایط آب‌وهوایی نامناسب (اگر در هنگام برداشت بارش‌ها کمتر از میانگین فصلی باشد)، ۲. شرایط آب‌وهوایی مناسب (اگر در هنگام برداشت بارش‌ها متناسب با میانگین فصلی باشد) و ۳. شرایط آب‌وهوایی خیلی مناسب (اگر در هنگام برداشت بارش‌ها بیشتر از میانگین باشد) است. درخت سناریو در شکل ۲، مشاهده می‌شود.



شکل ۲. درخت سناریو تعیین الگوی کشت برنج

مفروضات:

ـ هر سال از دو دوره تشکیل شده است؛

ـ میزان کشت برنج در هر پهنه به میزان آب دردسترس بستگی دارد؛

ـ در دوره اول از یک سرمایه اولیه برای هزینه‌های کشت برنج استفاده می‌شود؛

ـ در هر یک از دوره‌ها امکان سرمایه‌گذاری مجدد یا ذخیره سود وجود دارد؛

ـ شرایط آب‌وهوایی در مدل به‌صورت سه سناریوی خیلی مناسب، مناسب و نامناسب در نظر گرفته شده است؛

ـ در هر پهنه امکان کشت برنج به دو صورت دیم و نشایی وجود دارد؛

ـ نوع برنج کشت‌شده در هر پهنه به دو صورت کم‌محصول و پرمحصول بوده و قیمت فروش هرکدام متفاوت است؛

ـ هزینه‌ها در ابتدای هر دوره و درآمد در انتهای دوره در نظر گرفته شده است.

ـ در هر دوره باید از هر نوع برنج مقدار حداقلی کشت شود.

اندیس‌ها

i : اندیس نوع برنج $i = 1 \dots N$

j : اندیس روش کشت $j = 1 \dots \mathrm{J}$

r : اندیس پهنه‌های مناسب کشت $r = 1 \dots \mathrm{R}$

s : اندیس سناریو $s = 1 \dots S$

n : اندیس گره $n = n_0 \dots n_n$

مجموعه‌ها

N : گره‌های موجود $N = \{n_0 . n_1 . \dots . n_n\}$

$\acute{S}$: گره‌های پایانی $\acute{S} = \{n_{T+1} . n_{T+2} . \dots . n_{\acute{n}}\}$

$\acute{T}$: گره‌های میانی $\acute{T} = \{n_1 . n_2 . \dots . n_{\acute{T}}\}$

پارامترها

A_r : میزان هکتار مناسب برای کشت برنج در هر پهنه r

α_i : حداقل درصد برای کشت هر نوع برنج i

$Water_{rn}$: میزان آب در دسترس در پهنه r در گره n

Wv_{ij}^{rn} : میزان آب موردنیاز برای کشت برنج نوع i به روش j در هر پهنه r در گره n

V_{rn} : میزان آب موردنیاز برای کشت مجدد برنج در هر پهنه r در گره n

M_{rn} : میزان آب موردنیاز برای رویش مجدد برنج در هر پهنه r در گره n

P_{ij}^{rn} : میزان برنج برداشت‌شده نوع i به روش j در هر پهنه r در گره n در هر هکتار

F_{irn} : میزان برنج برداشت‌شده در هر پهنه r به‌صورت کشت مجدد در گره n

G_{irn} : میزان برنج برداشت‌شده در هر پهنه r به‌صورت رویش مجدد در گره n

Cg_{ij}^{rn} : میزان هزینه سموم موردنیاز برای کشت برنج نوع i به روش j در هر پهنه r در گره n در هر هکتار

Cr_{i}^{rn} : میزان هزینه سموم موردنیاز برای کشت برنج نوع i به‌صورت کشت مجدد در هر پهنه r در گره n در هر هکتار

Ca_{i}^{rn} : میزان هزینه سموم موردنیاز برای کشت برنج نوع i به‌صورت رویش مجدد در هر پهنه r در گره n در هر هکتار

Fg_{ij}^{rn} : میزان هزینه آب موردنیاز برای کشت برنج نوع i به روش j در هر پهنه r در گره n در هر هکتار

Fr_{i}^{rn} : میزان هزینه آب موردنیاز برای کشت برنج نوع i به‌صورت کشت مجدد در هر پهنه r در گره n در هر هکتار

Fa_{i}^{rn} : میزان هزینه آب موردنیاز برای کشت برنج نوع i به‌صورت رویش مجدد در هر پهنه r در گره n در هر هکتار

Gg_{ij}^{rn} : میزان هزینه‌های عملیاتی برای کشت برنج نوع i به روش j در هر پهنه r در گره n در هر هکتار

Gr_{i}^{rn} : میزان هزینه‌های عملیاتی برای کشت برنج نوع i به‌صورت کشت مجدد در هر پهنه r در گره n در هر هکتار

Ga_{i}^{rn} : میزان هزینه‌های عملیاتی برای کشت برنج نوع i به‌صورت رویش مجدد در هر پهنه r در گره n در هر هکتار

Pg_{ij}^{rn} : قیمت هر تُن محصول برنج نوع i به روش j در هر پهنه r در گره n

Pr_{i}^{rn} : قیمت هر تُن محصول برنج نوع i به‌صورت کشت مجدد در هر پهنه r در گره n

Pa_{i}^{rn} : قیمت هر تُن محصول برنج نوع i به‌صورت رویش مجدد در هر پهنه r در گره n

P_n : احتمال رخداد گره n

q_1 : مقدار پاداش برای سود به‌دست‌آمده در انتهای دوره زمانی

q_1 : مقدار جریمه برای ضرر به‌دست‌آمده در آنتهای دوره زمانی

متغیرهای تصمیم‌گیری

X_{ij}^{rn} : میزان برنج کشت‌شده نوع i به روش j در پهنه r در گره n

Y_{ir}^{n} : میزان برنج نوع i به‌صورت کشت مجدد در پهنه r در گره n

H_{ir}^{n} : میزان برنج نوع i به‌صورت رویش مجدد در پهنه r در گره n

W_n^+ : میزان سود در انتهای دوره زمانی در گره n

W_n^- : میزان ضرر در انتهای دوره زمانی در گره n

W_n : میزان سود اضافی یا سرمایه‌گذاری مجدد در گره‌های میانی n

W_0 : میزان هزینه انجام شده در دوره اول

تابع هدف. تابع هدف مدل به دنبال حداکثرسازی سود کشاورزان است و از امید ریاضی مجموع میزان سود یا ضرر ایجادشده در پایان دوره محاسبه می‌شود.

$$\max Z = \sum_{\mathrm{n}\in S} P_n \ (q_1 W_{\mathrm{n}}^{+} - q_2 W_{\mathrm{n}}^{-}) \qquad \text{رابطه (۲۲)}$$

محدودیت‌ها. میزان هزینه اعمال‌شده در دوره اول را مشخص می‌کند و از مجموع هزینه‌های سموم، آبیاری و برداشت به‌دست می‌آید که در رابطه ۲۳، نشان داده شده است.

$$\sum_{i.j.r} Fg_{ij}^{rn0} X_{ijr}^{n0} + \sum_{i.j.r} Cg_{ij}^{rn0} X_{ijr}^{n0} + \sum_{i.j.r} Gg_{ij}^{rn0} X_{ijr}^{n0} = W_0 \qquad \text{رابطه (۲۳)}$$

رابطه ۲۴، میزان سود باقی‌مانده یا سرمایه‌گذاری مجدد را در دوره‌های میانی محاسبه می‌کند که از تفاضل میزان سود ایجادشده در انتهای دوره قبل و هزینه‌های اعمال‌شده در ابتدا دوره محاسبه می‌شود.

$$\begin{aligned}\sum_{i.j.r} P_{ij}^{rn} X_{ijr}^{a(n)} Pg_{ij}^{rn} &= \sum_{i.r} Fr_i^{rn} Y_{ir}^{n} + \sum_{i.r} Cr_i^{rn} Y_{ir}^{n} + \sum_{i.r} Gr_i^{rn} Y_{ir}^{n} \\ &+ \sum_{i.r} Fa_i^{rn} H_{ir}^{n} + \sum_{i.r} Ca_i^{rn} H_{ir}^{n} \\ &+ \sum_{i.r} Ga_i^{rn} H_{ir}^{n} + W_n \end{aligned} \quad \begin{matrix}\forall n \\ \in \acute{T}\end{matrix} \qquad \text{رابطه (۲۴)}$$

میزان سود یا ضرر اعمال‌شده در پایان دوره زمانی از مجموع میزان سود باقی‌مانده در دوره پایانی و مجموع میزان سود باقی‌مانده یا سرمایه‌گذاری مجدد انجام شده در دوره دوم و میزان هزینه اعمال‌شده در دوره ابتدایی محاسبه می‌شود که در معادله ۲۵، نشان داده شده است.

$$\sum_{i.r} F_{irn} Y_{ir}^{a(n)} Pr_i^{rn} + \sum_{i.j.r} G_{irn} H_{ir}^{a(n)} Pa_i^{rn} + \sum_{\forall n \in \acute{T}} W_n - W_0 = W_n^+ - W_n^- \qquad \forall n \in \acute{S}$$ رابطه (۲۵)

امکان کشت برنج در پهنه‌های به‌دست‌آمده در دوره اول سال زراعی حداکثر به میزان مساحت آن پهنه امکان‌پذیر است و در معادلات ۲۶، نشان داده شده است.

$$\sum_{i.j} X_{ij}^{rn0} \le A_r \qquad \forall r$$ رابطه (۲۶)

امکان کشت برنج در دوره دوم سال زراعی به‌صورت معمول امکان‌پذیر نیست و امکان کشت به‌صورت کشت مجدد و رویش مجدد فقط در صورتی در هر پهنه امکان‌پذیر است که در دوره اول در آن پهنه کشت به‌صورت معمول صورت گرفته باشد؛ چون برنج نوع دوم به علت طولانی‌تربودن دوره رشد محصول، زمان برای کشت مجدد و رویش مجدد از دست خواهد رفت و امکان کشت مجدد یا رویش مجدد، فقط در دوره‌های دوم هر سال امکان‌پذیر است. توضیحات بالا در معاملات ۲۷ و ۲۸، تعیین شده است.

$$\sum_{i.j.n>n0} X_{ij}^{rn} = 0 \qquad \forall r$$ رابطه (۲۷)

$$\sum_{j} X_{ij}^{ra(n)} \ge Y_{irn} + H_{irn} \qquad \forall i = 1, r.n$$ رابطه (۲۸)

مجموع برنج کشت‌شده در هر سال از هر نوع برنج باید بیشتر یا مساوی میزان حداقل مشخص‌شده باشد؛ چراکه انواع برنج دارای کیفیت‌های مختلفی هستند و همه مردم قدرت خرید برنج درجه ۱ را ندارند. بر این اساس عدالت بین همه افراد جامعه برقرار شود. این محدودیت به‌صورت معادله ۲۹، نشان داده شده است.

$$\sum_{j.r.n} P_{ij}^{rn} X_{ij}^{ra(n)} + \sum_{r.n} Y_{ira(n)} F_{irn} + \sum_{r.n} H_{ira(n)} G_{irn} \ge \alpha_i \left(\sum_{j.r.n} P_{ij}^{rn} X_{ij}^{ra(n)} + \sum_{r.n} Y_{ira(n)} F_{irn} + \sum_{r.n} H_{ira(n)} G_{irn} \right) \qquad \forall i$$ رابطه (۲۹)

در هر سال به اندازه آب دردسترس آن پهنه برنج می‌تواند کشت شود که به‌صورت رابطه ۳۰، نشان داده می‌شود.

$$\sum_{i.j} X_{ij}^{rn} W v_{ij}^{rn} + \sum_{i} H_{irn} M_{rn} + \sum_{i} Y_{irn} V_{rn} \leq Water_{rn} A_r \qquad \forall\, r.n \qquad \text{رابطه (۳۰)}$$

حدود متغیرهای تصمیم‌گیری در معادله ۳۱، نشان داده شده است.

$$X_{ij}^{rn} . Y_{irn} . H_{irn} \geq 0 \qquad \forall\, r.i.j.n \qquad \text{رابطه (۳۱)}$$

۴. تحلیل داده‌ها و یافته‌های پژوهش

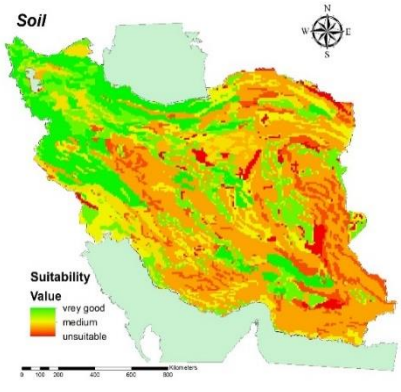
کشور ایران به‌عنوان یکی از کشورهای مصرف‌کننده برنج در خاورمیانه شناخته شده است و برنج به‌عنوان غذای اصلی مردم و یک کالای اساسی در تأمین امنیت غذایی کشور حائز اهمیت است. انگیزه‌های مختلفی برای توسعه برنج در ایران وجود دارد که عبارت‌اند از: ۱. دردسترس‌بودن آب‌وهوایی مناسب برای کشت برنج؛ ۲. مساحت وسیع که هر ساله توسط کشاورزان برنج کشت می‌شود؛ ۳. وابستگی زیاد امنیت غذایی ایران به برنج. در پژوهش حاضر با استفاده از داده‌ها و مفروضات بیان‌شده، زمین‌های مناسب کشاورزی برنج بررسی شده‌اند و سپس در هر کدام از زمین‌های کشاورزی، الگوی کشت بهینه برنج با استفاده از مدل بهینه‌سازی تصادفی چندمرحله‌ای تعیین می‌شود. درنهایت عملکرد مدل پیشنهادی دومرحله‌ای بررسی شده است. با توجه به شکل ۱، لایه نهایی از ۴ لایه اساسی شامل ۱. خاک‌شناسی (جنس خاک و فرسایش خاک)، ۲. اقلیمی (دما، باران، رطوبت)، ۳. محیطی (رودخانه‌ها، کاربری زمین، پوشش گیاهی) و ۴. توپولوژی (ارتفاع، شیب، جهت شیب) تشکیل شده است. هر کدام از لایه‌های اساسی از ترکیب چند زیرلایه به‌دست می‌آید. برای به‌دست‌آوردن نسبت هر یک از زیر معیارها و معیارهای اصلی پرسشنامه با توجه به روش بهترین ـ بدترین طراحی و به کمک خبرگان تکمیل شد. برای محاسبه وزن‌ها و نرخ سازگاری نیز از نرم‌افزار گمز استفاده شده است که نتایج آن در جدول ۵، مشاهده می‌شود.

جدول ۵. وزن‌های معیارهای اصلی و زیر معیارها

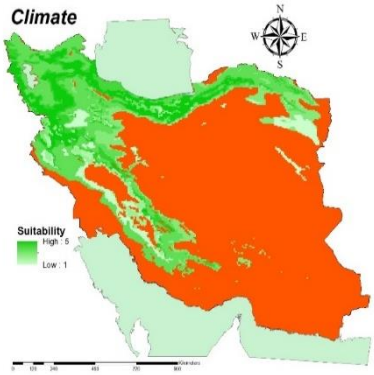
معیار اصلی	وزن	ضریب همبستگی	زیر معیار	وزن	ضریب همبستگی
خاک‌شناسی	۰/۱۸۵	۰/۰۱۱	جنس خاک	۰/۶۳	۰
			فرسایش خاک	۰/۳۷	
آب‌وهوا	۰/۴۰۵		دما	۰/۳۲۷	۰/۰۶۴
			باران	۰/۴۸۱	
			رطوبت	۰/۱۹۲	
محیطی	۰/۳۰۸		رودخانه‌ها	۰/۲۲۱	۰/۰۰۲
			کاربری زمین	۰/۴۴۱	
			پوشش گیاهی	۰/۳۳۸	
توپولوژی	۰/۱۰۲		ارتفاع	۰/۲۲۶	۰/۰۰۰۹
			شیب	۰/۴۵۲	
			جهت شیب	۰/۳۲۲	

یافتن پهنه‌ها با استفاده از GIS. یافتن مکان‌های مناسب بر اساس این روش به این ترتیب صورت گرفت که بعد از جمع‌آوری لایه‌های موردنیاز کشور ایران از منابع موجود داخلی و خارجی، با توجه به زیرمعیارها، در نرم‌افزار ARCGIS لایه‌ها ساخته شد؛ سپس برای هر لایه (زیرمعیار) فاصله‌ها تعیین شد. بعد از اینکه لایه‌ها دسته‌بندی[1] شدند و فاصله اقلیدسی اندازه گیـری شـد، سطح‌بندی مطلوبیت صورت گرفت و وزن‌های نهایی محاسبه‌شده در لایه‌های متناظرشان ضرب و درنهایت باهم جمع شدند. لایه نهایی بعد از دسته‌بندی از نظر مناسب‌بودن برای کشت برنج به شش طبقـه‌بندی، بسیار مناسب، مناسب، متوسط، ضعیف، فقیر و غیرقابل-استفاده تقسیم‌بندی شدند. دسته‌بندی‌های خیلی مناسب، مناسب و متوسط به‌عنوان ورودی مدل دوم انتخاب شدند و الگوی کشت برنج در مرحله دو برای آن‌ها تعیین شد. لایه نهایی به‌دست‌آمده از هر یک از معیارهای خاک‌شناسی، آب‌وهوا، محیطی و توپولوژی در شکل‌های ۳ تا ۶، ارائه شده است. درنهایت با ترکیب این چهار لایه، لایه نهایی به‌دست آمد. با توجه به شکل نهایی به‌دست‌آمده مشاهده می‌شود که بیشتر مناطق مناسب برای کشت برنج در شمال کشور قرار دارند و در استان‌های مازندران و گیلان متمرکز شده‌اند. در برخی از نواحی غرب ایران نیز امکان کشت برنج وجود دارد.

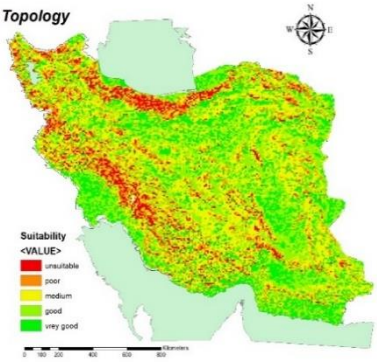
[1] raster



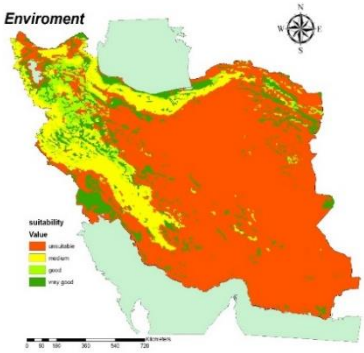
شکل ۳. زمین‌های مناسب از نظر خاک‌شناسی



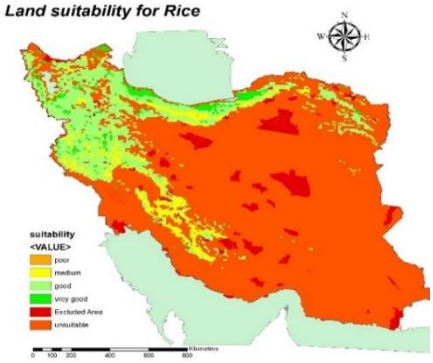
شکل ۴. زمین‌های مناسب از نظر آب و هوایی



شکل ۵. زمین‌های مناسب از نظر اقلیمی



شکل ۶. زمین‌های مناسب از نظر محیطی



شکل ۷. نقش نهایی پهنه‌های مناسب در منطقه موردمطالعه

حال باید برای مناطق به‌دست‌آمده برای کشت برنج، الگوی مناسب مشخص شود؛ به‌گونه‌ای که بهترین نوع و روش کشت برنج برای هر پهنه تعیین شود. برنج به‌صورت کلی به دو نوع کم محصول و برنج پرمحصول تقسیم می‌شود که می‌تواند به دو صورت نشایی و مستقیم کشت شود. پارامترهای مهم مانند قیمت فروش محصول، میزان برداشت برنج در هکتار و هزینه‌های موجود برای کشت برنج از تجربه‌های میدانی و خبرگان به‌دست آمده است. برای به‌دست‌آوردن میزان آب دردسترس از میانگین بارش ماهانه در هر استان استفاده شده است. درنهایت میزان آب موردنیاز برای کشت برنج با توجه تجربه‌های میدانی به‌صورت تقریبی در نظر گرفته شد. با حل مدل مرحله‌ای دوم در نرم‌افزار گمز نتایج شکل ۸، به‌دست آمد.

در شکل‌های ۸ و ۹، الگوی کشت پیشنهادی پژوهش با الگوی کشت که در حال حاضر توسط کشاورزان کشت می‌شود، مقایسه شده است. در بیشتر مناطق نوع برنج پیشنهادی برای کشت، برنج پرمحصول است؛ درحالی‌که در حال حاضر در تمام استان‌ها کشاورزان هر دو نوع برنج کم‌محصول و پرمحصول را با توجه به شرایط شخصی کشت می‌کنند؛ زیرا بیشتر کشاورزان دارای زمین کشاورزی بسیار اندکی می‌باشند و کیفیت برنج کم‌محصول بسیار بالا است. آن‌ها این نوع برنج را برای مصارف شخصی انتخاب می‌کنند و کمتر مسائل اقتصادی را در نظر می‌گیرند. مقایسه بعدی انجام شده روش کشت انتخابی است. روش کشت در بیشتر مناطق به‌صورت نشایی است؛ درحالی‌که در الگوی کشت پیشنهادی در بعضی از مناطق روش کشت دیم اضافه شده است تا منابع آب زیرزمینی موجود قابل‌مدیریت باشد. یکی از نکات بسیار مهم در تصمیم‌گیری کشت برنج در دوره دوم است. در الگوی کشت پیشنهادشده، کشاورزان زمانی که نوع برنج کم‌محصول را انتخاب می‌کنند، حتماً باید در دوره دوم یکی از دو روش کشت مجدد یا رویش مجدد را انتخاب کنند؛ در غیراین‌صورت برای کشاورزان کشت برنج کم‌محصول به اندازه کشت برنج پرمحصول صرفه اقتصادی ندارد؛ بنابراین در مناطق غرب و جنوب ایران که منابع آب محدود است و امکان کشت برنج در دوره دوم وجود ندارد، کشت برنج پرمحصول از نظر اقتصادی به‌صرفه‌تر است. با این حال در شمال کشور که از نظر منابع آب محدودیت ندارد، در دوره دوم، کشت مجدد یا رویش مجدد صورت نمی‌پذیرد؛ چراکه کشت برنج در دوره دوم هزینه زیادی دارد و ریسک ازبین‌رفتن محصول نیز بسیار بالا است. درصورتی‌که کشاورزان قصد کشاورزی در دوره دوم را داشته باشند، بیشتر تمایل دارند به‌صورت رویش مجدد این کار را انجام دهند. چون کشت مجدد نیاز به شخم‌زدن مجدد زمین کشاورزی دارد، تکرار این روش برای چند سال موجب ازبین‌رفتن زمین کشاورزی و سخت‌شدن کشت برنج در دوره اول می‌شود. درحالی‌که با توجه به اینکه کشت مجدد، محصول بیشتری با کیفیت بالاتری نسبت به رویش مجدد دارد و برای کشاورز سود بیشتری حاصل می‌شود.

شکل ۸. الگوی کشت پیشنهادی برای هر یک از استان‌ها

شکل ۹. الگوی کشت انتخاب‌شده کشاورزان در هر یک از استان‌ها

تحلیل حساسیت. در این بخش تغییرات در مقادیر پارامترهای مهم مدل برای نشان‌دادن اثرات این پارامتر در الگوی کشت برنج بررسی و تحلیل شده است. این تحلیل باعث ایجاد بینش در مورد اهمیت این پارامترها و کمک به مدیران برای درک نتایج تغییرات مقادیر فعلی هر پارامتر می‌شود. برای نشان‌دادن اینکه چگونه این پارامترها بر راه‌حل تأثیر می‌گذارند، ابتدا در میزان آب دردسترس تغییراتی داده شده است. دومین موضوع مهم، حالت‌های کشت است؛ سپس هزینه‌های عملیاتی بررسی و تحلیل می‌شود. در ادامه هر یک از این تحلیل‌ها ارائه و نتایج آن توضیح داده شده است.

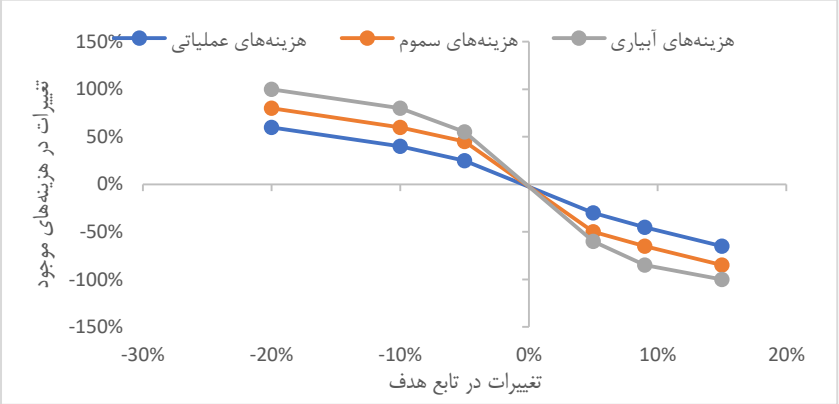
میزان آب دردسترس بیشترین تأثیر را بر الگوی کشت می‌گذارد. زمانی که میزان آب دردسترس به نصف کاهش داده شود، کشت برنج از روش نشایی به روش دیم تغییر پیدا می‌کند تا بتواند با حداقل‌کردن آب مصرفی، مناطق بیشتری تحت کشت برنج قرار گیرد. کاهش آب در دسترس موجب کاهش سود می‌شود؛ چراکه بعضی از مناطق مناسب برای کشت برنج به علت کمبود آب کشت نمی‌شود. حال اگر آب دردسترس افزایش یابد و برای کشت برنج هیچ‌گونه محدودیتی از نظر میزان آب دردسترس وجود نداشته باشد، نتایج شکل ۱۰، حاصل می‌شود. در تمام پهنه‌ها برنج به روش نشایی کشت می‌شود و کشاورزان تمایل بیشتری به کشت برنج نوع اول دارند. نکته‌ای که باید به آن دقت کرد این است که در هر یک از پهنه‌ها فقط یک نوع برنج کشت می‌شود تا هم برنامه‌ریزی مناسب‌تری انجام شود و هم با توجه به یکسان‌بودن نوع برنج کشت‌شده در تمام زمین‌های آن پهنه هزینه سموم کاهش می‌یابد و زمان برداشت در کلیه زمین‌ها در یک زمان‌بندی مشخص صورت می‌گیرد تا برنامه‌ریزی برای کشت مجدد یا رویش مجدد راحت‌تر انجام شود.

شکل ۱۰. تأثیر میزان آب دردسترس بر روی الگوی کشت برنج

یکی از مزیت‌های مهم کشت برنج کم‌محصول، امکان کشت مجدد یا روش کشت مجدد برنج در دوره دوم است. زمانی که این ویژگی برای دوره دوم حذف شود، کشاورزان برای کشت این نوع برنج تمایل کمتری دارند. در همین راستا تغییرات در احتمال رخداد هر یک از سناریوها می‌تواند به نتایج جالبی ختم شود. هنگامی که احتمال سناریوی سوم، یعنی شرایط آب‌وهوایی نامناسب، افزایش می‌یابد کشاورزان تمایل کمتری به کشت به روش کشت مجدد در مرحله دوم دارند و حتی انتخاب کشاورزان در مرحله‌ای دوم از کشت مجدد به سمت رویش مجدد تغییر پیدا می‌کند. در کشت مجدد میزان برداشت برنج به میزان زیادی کاهش می‌یابد؛ چون میزان برداشت بسیار به شرایط آب‌وهوایی حساس است. درنتیجه کشاورزان زمانی تمایل به کشت مجدد در دوره دوم دارند که احتمال رخداد سناریوهای اول و دوم بیشتر از سناریو سوم باشد تا به اطمینان بیشتری روی به کشت مجدد در دوره دوم نمایند.

هزینه‌های عملیاتی جزو پارامترهای تأثیرگذار بر سوددهی کشت برنج هستند. هزینه‌های عملیاتی در مقایسه با هزینه‌های دیگر تأثیر بیشتری بر تابع هدف دارد؛ یعنی با افزایش

هزینه‌های عملیاتی، کاهش بیشتری در سود کل، نسبت به تغییرات در هزینه‌های سموم و آبیاری حاصل می‌شود. این کاهش‌ها در روش کشت نشایی بیشتر از روش کشت دیم مشاهده شده است؛ چراکه بیشتر هزینه‌های عملیاتی در مرحله نشای برنج به کشاورزان متحمل می‌شود و تفاوت اساسی بین دو روش نشایی و دیم دقیقاً در مرحله کشت برنج است؛ به‌صورتی که در روش دیم دیگر نیاز به خزانه‌گیری و نشای برنج وجود ندارد. کشت برنج به روش دیم همانند کشت گندم از طریق سیستم‌های مکانیزه در یک مرحله صورت می‌گیرد و موجب کاهش در هزینه‌های عملیاتی می‌شود. تأثیرات نوسانات در هزینه‌های موجود کشت برنج در روش نشایی در شکل ۱۱، مشاهده می‌شود. همان‌طور که پیش‌بینی می‌شد، هزینه‌های عملیاتی بیشترین تأثیر را در سودآوری کشاورزان دارند؛ درنتیجه کشاورزان می‌توانند با مدیریت در هزینه‌های عملیاتی سودآوری خود را افزایش دهند.



شکل ۱۰: تأثیر تغییرات هزینه‌های کشت برنج در سودآوری کشاورزان

اعتبارسنجی مدل الگوی کشت برنج. در این بخش عملکرد مدل برنامه‌ریزی تصادفی ارائه‌شده در بخش الگوی کشت برنج ارزیابی می‌شود. در این الگو شرایط آب‌وهوایی غیرقطعی در نظر گرفته شده و با سه سناریو نشان داده شده است. به این منظور، دو شاخص EVPI و VSS مورداستفاده قرار می‌گیرند. این روش اعتبارسنجی که مختص مسائل برنامه‌ریزی تصادفی است از پژوهش کاشانیان و همکاران (۲۰۲۰)، برگرفته شده است [۱۷].

شاخص EVPI به‌صورت ارزش انتظاری اطلاعات کامل تعریف می‌شود و ارزش آینده آن را به‌طور قطعی اندازه‌گیری می‌کند. این شاخص مبین اهمیت پرداختن به عدم‌قطعیت اطلاعات است و نشان می‌دهد تا چه اندازه کمبود و نقصان اطلاعات تأثیرگذار است. کوچک‌بودن EVPI نشان می‌دهد که به‌دست‌آوردن اطلاعات درباره آینده، تأثیر زیادی نخواهد داشت و بزرگ‌بودن

آن می‌تواند دال بر این حقیقت باشد که نادیده‌گرفتن اهمیت تکمیل اطلاعات برایمان گران تمام خواهد شد. این شاخص از رابطه ۳۲، محاسبه می‌شود.

$$EVPI = Z_{WS} - Z_{HN}$$ رابطه (۳۲)

در رابطه ۳۲، Z_{HN} به‌صورت مقدار به‌دست‌آمده از حل مسئله برنامه‌ریزی تصادفی چندمرحله‌ای به‌ازای تمام سناریوها (روش اینجا و اکنون[۱]) و Z_{WS} به‌صورت مقدار به‌دست‌آمده از حل مسئله برنامه‌ریزی تصادفی برای هر سناریو و در انتها محاسبه میانگین مقادیر توابع هدف به‌دست‌آمده (روش صبر و مشاهده[۲]) تعریف می‌شود.

شاخص VSS به‌صورت ارزش حل تصادفی تعریف شده و مقدار ارزشی در اثر به‌کارگیری روش برنامه‌ریزی تصادفی حاصل‌شده را نشان می‌دهد. این شاخص نشان می‌دهد که با به‌کارگیری جواب برنامه‌ریزی تصادفی به‌جای جواب برنامه‌ریزی قطعی، نظیر مقدار متوسط، چه مقدار می‌توان صرفه‌جویی کرد. این شاخص از رابطه ۳۳، محاسبه می‌شود:

$$VSS = Z_{HN} - Z_{EEV}$$ رابطه (۳۳)

شاخص‌های EVPI و VSS به‌ترتیب در جدول ۶ ارائه شده‌اند.

جدول ۶. مقادیر EVPI و VSS

اندازه‌گیری‌ها	سود
(۱) Z_{WS}	۶/۶۱۴۴۲۶ ×۱۰^۱۲
(۲) Z_{HN}	۶/۴۸۶۹۲ ×۱۰^۱۲
(۳) Z_{EEV}	۶/۳۹۴۳۹ ×۱۰^۱۲
(۴) $EVPI = Z_{WS} - Z_{HN}$	۱/۲۷۵۰۵ ×۱۰^۱۱
(۵) $VSS = Z_{HN} - Z_{EEV}$	۹/۲۵۳ ×۱۰^۱۰

با توجه به جدول بالا، مقدار EVPI نشان‌دهنده اهمیت وجود اطلاعات کامل است؛ همچنین مقدار به‌دست‌آمده برای VSS نیز عدد بزرگی است که نشان می‌دهد در صورت به‌کارگیری برنامه‌ریزی تصادفی چه مقدار تابع هدف بهبود می‌یابد. با توجه به مقدار به‌دست‌آمده برای VSS استفاده از برنامه‌ریزی تصادفی برای این مدل توجیه می‌شود.

۱. Here and Now
۲. Wait and See

۵. نتیجه‌گیری و پیشنهادها

این پژوهش یک چارچوب جدید برای طراحی و برنامه‌ریزی کشت برنج مبتنی بر دو مرحله در شرایط عدم‌قطعیت پیشنهاد می‌کند. در هر مرحله، مدل دیدگاه یکی از ذی‌نفعان اصلی را در نظر می‌گیرد. چارچوب پیشنهادی شامل یک روش‌شناسی دومرحله‌ای است که در مرحله اول فیلتر مکانی با استفاده از GIS انجام شده است. در این مرحله، مدل به تمایلات «وزارت جهاد کشاورزی» با هدف یافتن پهنه‌های مناسب برای کشت برنج، به‌گونه‌ای که کمتر هدر رفت در منابع طبیعی موجود ایجاد شود، توجه می‌کند. برای به‌دست‌آوردن این پهنه‌ها به ویژگی‌هایی نیاز است که در پهنه‌های مستعد موردبررسی قرار گیرد. برای ادغام پهنه‌ها از روش BWM استفاده شده است. دستاورد عمده این مرحله بهبود استفاده درست از منابع و اراضی موجود است. در مرحله دوم از برنامه‌ریزی تصادفی چندمرحله‌ای برای به‌دست‌آوردن الگوی کشت برنج استفاده شده است. در این مرحله مشخص می‌شود که در هر پهنه از هر نوع برنج به هر روش چه میزان برنج باید کشت شود که این الگوی کشت با درنظرگرفتن شرایط آب‌وهوایی مبتنی بر سه سناریوی خیلی مناسب، مناسب و نامناسب به‌دست آمده است. در این مرحله، ذی‌نفعان کشاورزان هستند و مدل به دنبال حداکثرسازی سود کشاورزان است.

مطالعه موردی در ایران، کاربرد چارچوب دومرحله‌ای پیشنهادشده را بررسی کرده است. نتایج نشان می‌دهد که مرحله اول روش‌شناسی قادر است مکان‌های مناسب برای کشت برنج را با رفع مشکلات شایع مدل‌های تخصیص برای مناطق وسیع جغرافیایی و با حذف سریع پهنه‌های نامناسب زمین شناسایی کند؛ همچنین رویکرد برنامه‌ریزی تصادفی چندمرحله‌ای به‌طور قابل‌توجهی ایمنی و استحکام راه‌حل‌ها را بهبود می‌بخشد. نتایج نشان داد که در مرحله اول بیشتر مناطق مناسب برای کشت برنج در نقاط شمالی و قسمتی از غرب ایران قرار دارند. «وزارت جهاد کشاورزی» باید به دنبال سیاست‌گذاری‌ها و تعیین محصول جایگزین برای استان‌هایی مانند سیستان و بلوچستان باشد که نباید هیچ نوع برنجی در آن‌ها کشت شود. این در حالی است که با توجه به آمار «جهاد کشاورزی» در حال حاضر در این استان کشت برنج صورت می‌پذیرد. «وزارت جهاد کشاورزی» با این راهکار می‌تواند به‌خوبی از منابع طبیعی مراقبت کند؛ چون یکی از منابع بسیار موردنیاز برای کشت برنج آب است. اکنون کشور در نواحی جنوبی با کمبود بسیار شدید آب مواجه بوده و حتی در بعضی از روستاها این موضوع به بحرانی جدی تبدیل شده است. در مرحله دوم نتایج مدل نشان داد در مناطق کم‌آب که امکان کشت در مرحله‌ای دوم وجود ندارد، کشاورزان بیشتر تمایل به کشت برنج پرمحصول دارند؛ چراکه از نظر سودآوری در دوره اول عملکرد بهتری نسبت به برنج کم‌محصول دارد؛ اما کشت برنج کم محصول دو مزیت مهم دارد: ۱. از نظر کیفیت بهتر از برنج پرمحصول است و کشاورزان، به‌خصوص در شمال کشور، برای مصرف شخصی تمایل بیشتری به کشت این نوع برنج دارند؛

۲. امکان کشت برنج در دوره دوم به روش کشت مجدد یا رویش مجدد وجود دارد و محصول برداشت‌شده در این دوره از کیفیت خیلی بالای برخوردار است. با درنظرگرفتن شرایط آب‌وهوایی در مدل به کشاورزان در تصمیم‌گیری کمک شده است تا بهتر بتوانند ریسک‌های ایجادشده در تغییرات آب‌وهوا در هنگام برداشت را پوشش دهند و بر مبنای آن تصمیم‌گیری کنند. کشت برنج در دوره دوم به روش کشت مجدد به علت کوتاه‌بودن زمان برداشت و نزدیک‌بودن به فصل سرما دارای ریسک بالایی است و حتی در بعضی از شرایط موجب نابودی محصول می‌شود؛ بنابراین زمانی که احتمال رخداد شرایط آب‌وهوایی نامناسب افزایش یابد، تمایل کشاورزان به کشت برنج در دوره دوم به روش کشت مجدد کاهش می‌یابد. نتایج الگوی کشت در پهنه‌های جنوبی مانند خوزستان نشان داد که به علت کمبود آب، کشاورزان در این مناطق برای اینکه بتوانند از حداکثر زمین‌های کشاورزی برای کشت برنج استفاده کنند باید به کشت دیم (خشکه‌کاری) روی بیاورند. کشاورزان برای حفظ بهره‌روی زمین‌های خود باید در دوره اول کشت برنج را انجام دهند تا بتوانند زمین‌های کشاورزی خود را در سال‌های آینده نیز زیر کشت برنج ببرند.

مدل پیشنهادی دومرحله‌ای قابلیت بسیار بالایی برای توسعه از جهات گوناگون دارد. مدل پیشنهادی این پژوهش برای محصولات مشابه، همانند گندم، بسیار مناسب بوده و قابل‌توسعه است. در این پژوهش زنجیره تأمین برنج تا مرحله برداشت برنج در نظر گرفته شده است. بخش‌های بعدی زنجیره شامل برداشت برنج و خرید از کشاورز در نظر گرفته نشده است. با توجه به اینکه برنج جزو کالاهای اساسی کشور ایران است، قیمت و مدت‌زمان رسیدن به دست مصرف‌کننده اهمیت بالایی دارد و کمبود برنج در کشور به ضررهای جبران‌ناپذیری منجر می‌شود؛ بنابراین موضوعی که باید در طراحی زنجیره تأمین برنج در نظر گرفته شود، میزان واردات برنج به کشور است؛ به‌گونه‌ای که کشاورزان کمترین ضرر را متحمل شوند. از دیگر موارد مهم در کشاورزی وقوع بحران‌های مختلف (مثل آفات، سیل و غیره) است که می‌تواند موجب فاجعه در این بخش شود؛ به‌خصوص که محصول کشاورزی موردنظر تأثیر زیادی در امنیت غذایی کشور ایران دارد. با درنظرگرفتن اختلال در مدل برنامه‌ریزی ریاضی می‌توان از این‌گونه بحران‌ها که زیان‌های بزرگی را رقم می‌زنند، جلوگیری کرد. این موارد می‌توانند از جمله فرصت‌های پژوهشی برای پژوهشگران در آینده باشد.

منابع

1. Antoine, J., Fischer, G., & Makowski, M. (1997). Multiple criteria land use analysis. *Applied Mathematics and Computation*, *83(2–3)*, 195–215.
2. Asadi, A., Kalantari, K., & Choobchian, S. (2012). Structural analysis of factors affecting agricultural sustainability in Qazvin Province, Iran. *Journal of Agricultural Science and Technology*, *15(1)*, 11–22.
3. Babazadeh, R., Razmi, J., Pishvaee, M.S., & Rabbani, M. (2015). A non-radial DEA model for location optimization of Jatropha curcas L. cultivation. *Ind. Crops Prod*. *69*, 197–203.
4. Bagamba, F., Bashaasha, B., Claessens, L., Antle, J., & Economics, R. (2012). Assessing climate change impacts and adaptation strategies for smallholder agricultural systems in Uganda. *Assessing Climate Change Impacts and Adaptation Strategies for Smallholder Agricultural Systems in Uganda*, *20(2)*, 303–316.
5. Ceballos-Silva, A., & López-Blanco, J. (2003). Delineation of suitable areas for crops using a Multi-Criteria Evaluation approach and land use/cover mapping: A case study in Central Mexico. *Agricultural Systems*, *77(2)*, 117–136.
6. Collins, M. G., Steiner, F. R., & Rushman, M. J. (2001). Land-use suitability analysis in the United States: Historical development and promising technological achievements. *Environmental Management*, *28(5)*, 611–621.
7. Dantzig, G. B., & Infanger, G. (1993). Approaches to Stochastic Programming with Application to Electric Power Systems. In *Optimization in Planning and Operation of Electric Power Systems* (pp. 125–138).
8. Dedeoğlu, M., & Dengiz, O. (2019). Generating of land suitability index for wheat with hybrid system aproach using AHP and GIS. *Computers and Electronics in Agriculture*, volume *167*,*105062*.
9. Dengiz, O. (2013). Land suitability assessment for rice cultivation based on GIS modeling. *Turkish Journal of Agriculture and Forestry*, *37(3)*, 326–334.
10. Dengiz, O., Özyazici, M. A., & Sağlam, M. (2013). Multi-criteria assessment and geostatistical approach for determination of rice growing suitability sites in Gokirmak catchment. *Paddy and Water Environment*, *13(1)*, 1–10.
11. FAO. (1976). A framework for land evaluation. Rome: Food and Agricultural Organization of the United Nations. In *FAO soils bulletin n.32*. https://doi.org/M-51
12. FAO. (1996). *Guidelines for Land-use Planning - Food and Agriculture Organization of the United Nations.* Retrieved from
13. Getachew Tesfaye Ayehu, S. A. (2015a). Land Suitability Analysis for Rice Production: A GIS Based Multi-Criteria Decision Approach. *American Journal of Geographic Information System*, *4(3)*, 95–104.
14. Gregory, P. J., & George, T. S. (2011). Feeding nine billion: The challenge to sustainable crop production. *Journal of Experimental Botany*, *62*(15), 5233–5239.
15. Hossain, M. S., Chowdhury, S. R., Das, N. G., & Rahaman, M. M. (2007). Multi-criteria evaluation approach to GIS-based land-suitability classification for tilapia farming in Bangladesh. *Aquaculture International*, *15(6)*, 425–443.
16. Jafarnezhad, A., Kazemi, A., & Aarab, A. (2016). Location with Geographic Information System and maximum weight coverage model. *Journal of Industrial Management erspective*, *10(39)*, 143-170 (In Persian)

17. Kashanian, M., Pishvaee, M. S., & Sahebi, H. (2020). Sustainable biomass portfolio sourcing plan using multi-stage stochastic programming. *Energy*, *204*, 117923.
18. Kihoro, J., Bosco, N. J., & Murage, H. (2013). Suitability analysis for rice growing sites using a multicriteria evaluation and GIS approach in great Mwea region, Kenya. *SpringerPlus*, 2(1), 1–9.
19. Kiker, G. A., Bridges, T. S., Varghese, A., Seager, P. T. P., & Linkov, I. (2005, April 1). Application of multicriteria decision analysis in environmental decision making. *Integrated Environmental Assessment and Management*, *1*, 95–108.
20. King, R. P., & Robison, L. J. (1984). Risk efficiency models. In *Risk Management in Agriculture* (pp. 68–75).
21. Konan-Waidhet, A., Dibi, B., Kouadio, Z., & Savane, I. (2015). Modeling of Suitable Areas for Rainfed Rice Growing Using Multicriteria Approach in Geographic Information System: Case of Denguele (North West of Côte d'Ivoire). *British Journal of Applied Science & Technology*, *6(1)*, 95–104.
22. Kunwar, P., Kachhwaha, T. S., Kumar, A., Agrawal, A. K., Singh, A. N., & Mendiratta, N. (2010). Use of high-resolution IKONOS data and GIS technique for transformation of landuse/landcover for sustainable development. *Current Science*, *98(2)*, 204–212.
23. Maddahi, Z., Jalalian, A., Zarkesh, M. M. K., & Honarjo, N. (2017). Land suitability analysis for rice cultivation using a GIS-based fuzzy multi-criteria decision making approach: Central part of amol district, Iran. *Soil and Water Research*, *12(1)*, 29–38.
24. Malczewski, J. (2004, July 1). GIS-based land-use suitability analysis: A critical overview. *Progress in Planning*, *62*, 3–65.
25. Mohaghar, A., & Ariyai, S. (2017). Location Selection of Solar Power Plants, Wind and Distributed Generation and Degisn of Electrical Distribution Network. *Journal of Industrial Management Perspective*, *10(39)*, 143-170 (In Persian)
26. Mostafa Abbasi, A., Pishvaee, M.S., & Bairamzadeh, S. (2020). Land suitability assessment for Paulownia cultivation using combined GIS and Z-number DEA: A case study. *Computers and Electronics in Agriculture*, *176*, 56-66
27. Nielsen, S., & Möller, B. (2013). GIS based analysis of future district heating potential in Denmark. *Energy*, *57*, 458–468.
28. Nyeko, M. (2012). GIS and Multi-Criteria Decision Analysis for Land Use Resource Planning. *Journal of Geographic Information System*, *04(04)*, 341–348.
29. Raza, S. M. H., Mahmood, S. A., Khan, A. A., & Liesenberg, V. (2018). Delineation of Potential Sites for Rice Cultivation Through Multi-Criteria Evaluation (MCE) Using Remote Sensing and GIS. *International Journal of Plant Production*, 12:1-11
30. Rezaei, J. (2015). Best-worst multi-criteria decision-making method. *Omega (United Kingdom)*, *53*, 49–57.
31. Ristić, V., Maksin, M., Nenković-Riznić, M., & Basarić, J. (2018). Land-use evaluation for sustainable construction in a protected area: A case of Sara mountain national park. *Journal of Environmental Management*, *206*, 430–445.
32. Robinson, S., Toulmin, C., Muir, J. F., Godfray, H. C. J., Pretty, J., Haddad, L., … Crute, I. R. (2010). Food Security: The Challenge of Feeding 9 Billion People. *Science*, *327(5967)*, 812–818
33. Selim, S., Koc-San, D., Selim, C., & San, B. T. (2018). Site selection for

avocado cultivation using GIS and multi-criteria decision analyses: Case study of Antalya, Turkey. *Computers and Electronics in Agriculture*, *154*, 450–459.
34. Seyedmohammadi, J., Sarmadian, F., Jafarzadeh, A. A., Ghorbani, M. A., & Shahbazi, F. (2018). Application of SAW, TOPSIS and fuzzy TOPSIS models in cultivation priority planning for maize, rapeseed and soybean crops. *Geoderma*, *310*, 178–190.
35. Seyedmohammadi, J., Sarmadian, F., Jafarzadeh, A. A., & McDowell, R. W. (2019). Development of a model using matter element, AHP and GIS techniques to assess the suitability of land for agriculture. *Geoderma*, *352*, 80–95.
36. Shahbazi, F., Sahebi, H., & Makui, A. (2020). Location Selection of Solar Power Plants, Wind and Distributed Generation and Degisn of Electrical Distribution Network.
, *10(39)*, 143-170 (In Persian)
37. Sharifi, M. A., Boerboom, L., Shamsudin, K. B., & Veeramuthu, L. (2006). Spatial Multiple Criteria Decision Analysis in Integrated Planning for Public Transport and Land Use Development Study in Klang Valley , Malaysia. ISPRS Technical Commission II Symposium, (July), 85–94. Retrieved from
38. Surmaini, Runtunuwu, L. (2010). *Upaya Sektor Pertanian Dalam Menghadapi*. *(98)*, 1–7.
39. Thompson, J. A., Bell, J. C., & Butler, C. A. (2001). Digital elevation model resolution: Effects on terrain attribute calculation and quantitative soil-landscape modeling. *Geoderma*, *100(1–2)*, 67–89.
40. Xu, E., & Zhang, H. (2013). Spatially-explicit sensitivity analysis for land suitability evaluation. *Applied Geography*, *45*, 1–9.
41. Zhang, J., Su, Y., Wu, J., & Liang, H. (2015). GIS based land suitability assessment for tobacco production using AHP and fuzzy set in Shandong province of China. *Computers and Electronics in Agriculture*, *114*, 202–211.
42. Zeng, X., Kang, S., Li, F., Zhang, L., Guo, P., 2010. Fuzzy multi-objective linear programming applying to crop area planning. Agric. *Water Manag*., *98*, 134–142.