اقتصاد کشاورزی و توسعه، سال ۲۹، شمارهٔ ۱۱۳، بهار ۱۴۰۰

DOI: 10.30490/AEAD.2021.273056.1034

مقاله پژوهشی

به‌کارگیری نظریهٔ عدم حتمیت در بهینه‌سازی الگوی کشت منطقهٔ گهرباران ساری

فاطمه کشیری کلائی[۱]، سیدعلی حسینی یکانی[۲]، سیدمجتبی مجاوریان[۳]

تاریخ دریافت: ۱۳۹۷/۵/۲۱ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۷/۹/۲۴

چکیده

گزینش محصولات مناسب برای کشت در محیط توأم با عدم حتمیت از جمله مباحث مهم مدیریتی در بخش کشاورزی است. هنگام رویارویی با عدم حتمیت، استفاده از قضاوت‌ها و برآوردهای ذهنی اشخاص در حوزه مربوط، به‌جای داده‌های تاریخی، یگانه راهکار به‌شمار

۱- استادیار گروه اقتصاد کشاورزی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری، ساری، ایران.
(fkashiri03@gmail.com)

۲- نویسندهٔ مسئول و دانشیار گروه اقتصاد کشاورزی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری، ساری، ایران.
(hosseiniyekani@gmail.com)

۳- دانشیار گروه اقتصاد کشاورزی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری، ساری، ایران.
(mmojaverian@yahoo.com)

می‌رود. مبتنی بر شواهد موجود، کمی‌سازی قضاوت‌های ذهنی در قالب نظریه احتمال و برنامه‌ریزی ریسکی صحیح نیست و باید در قالب نظریه دیگری با عنوان «نظریه عدم حتمیت» و روش برنامه‌ریزی غیرحتمی انجام پذیرد. با درک این شرایط، از آنجا که بخش کشاورزی همواره با متغیرهای غیرحتمی از جمله قیمت محصولات و شرایط آب‌وهوایی مانند بارش باران مواجه است، در مطالعه حاضر، با استفاده از برنامه‌ریزی غیرحتمی، الگوی بهینه بهره‌برداری از محصولات زراعی منتخب در بخش گهرباران شهرستان ساری در شرایط عدم حتمیت بارش باران و قیمت محصولات تعیین شد. به‌منظور استخراج توزیع عدم حتمیت متغیرهای یادشده مبتنی بر قضاوت‌های ذهنی کشاورزان، ۴۲ کشاورز به‌طور تصادفی از طریق نمونه‌گیری خوشه‌ای، در سال ۱۳۹۶ مورد پرسشگری قرار گرفتند. در ادامه، با محاسبه یک رابطه تبعی بین بارندگی و عملکرد محصولات، توزیع عدم حتمیت عملکرد نیز استخراج شد و بدین ترتیب، سود انتظاری مبتنی بر قضایای نظریه عدم حتمیت محاسبه شد. به‌منظور محاسبه و حداقل‌سازی عدم حتمیت الگو نیز از شاخص ارزش در معرض خطر دنباله‌دار استفاده شد. بر پایهٔ نتایج به‌دست‌آمده، در شرایطی که کشاورزان عدم حتمیت زیادی را برای قیمت‌ها و بارندگی پیش‌بینی کنند، برای مقابله با عدم حتمیت و دستیابی به یک سود انتظاری مشخص، بهتر است به کشت برنج طارم و گوجه‌فرنگی روی آورند و از کشت برنج شیرودی و هندوانه صرف نظر کنند.

کلیدواژه‌ها: *عدم حتمیت، قیمت، بارندگی، عملکرد، الگوی کشت، گهرباران (بخش).*
طبقه‌بندی JEL: D81, C61

مقدمه

تولید بخش کشاورزی متأثر از عوامل غیرقابل کنترل مانند شرایط آب‌وهوایی و نااطمینانی‌های بازار است (Hardaker et al., 1997). وجود این نااطمینانی‌ها و از سوی دیگر، روند فزاینده جمعیت و

در نتیجه، افزایش تقاضای مواد غذایی لزوم مدیریت در این بخش را مورد تأکید بیشتری قرار می‌دهد (Zamani et al., 2014). در این راستا، با توجه به محدودیت منابع تولید در بخش کشاورزی، تصمیم‌گیری در مورد انتخاب الگوی کشت یکی از مهم‌ترین راهکارهای مدیریتی به‌شمار می‌رود (Hosseini Yekani and Kashiri Kolaei, 2017)، به‌ویژه اینکه در ایران، از آنجا که کشاورزان، به‌دلیل رفتار سنتی، ملاحظات اقتصادی را در تصمیم‌گیری‌های خود کمتر لحاظ می‌کنند، لازم است برای تعیین الگوی کشت مناسب، تصمیمات آنها بر مبنای نظریه‌های اقتصادی و در قالب اهداف مشخص مدل‌سازی شود. در این راستا، مطالعات مختلف در زمینه تعیین الگوی کشت بهینه در قالب الگوهای برنامه‌ریزی ریاضی صورت گرفته است. ولی بسیاری از این مدل‌های برنامه‌ریزی ریاضی با این فرض بنا شده‌اند که تصمیم‌ها در یک شرایط توأم با قطعیت[1] اتخاذ می‌شوند و تمام پارامترهای مدل از قبل شناخته‌شده‌اند. این درحالی است که در دنیای واقعی، تصمیمات با عدم قطعیت[2] همراه است (Officer and Anderson, 1968).

در بخش کشاورزی، کشاورزان علاوه بر اینکه مشابه با تولیدکنندگان دیگر بخش‌های اقتصادی از عدم قطعیت ناشی از شرایط متغیر بازار، فناوری‌های تولید و... تأثیر می‌پذیرند، به‌دلیل مواجه بودن با نهاده‌های غیرقابل کنترل همچون شرایط آب‌وهوایی، آفات و بیماری‌ها، با عدم قطعیت بیشتری روبه‌رو می‌شوند (Dillon and Hrdaker, 1993). با درک اهمیت این نکته، پژوهش‌های متعدد در راستای تعیین الگوی بهینه کشت در شرایط توأم با عدم قطعیت صورت پذیرفته، اما در تمامی این مطالعات، کل عدم قطعیت موجود معادل مخاطره (ریسک)[3] الگوی کشت در نظر گرفته شده است. این در حالی است که بخش عمده عدم قطعیت‌ها در بخش کشاورزی ناشی از عدم حتمیت[4] حاکم بر متغیرهای تصمیم است. نایت (Knight, 1921) از اولین کسانی بود که عدم قطعیت را به دو بخش ریسک و عدم حتمیت تقسیم کرد. تمایز

1. certainty
2. non-certainty
3. risk
4. uncertainty

معیارهای یادشده مبتنی بر نحوه آگاهی افراد از احتمال وقوع هر کدام از رویدادهاست. ریسک به وضعیتی اطلاق می‌شود که در آن، همه پیامدهای ممکن مشخص بوده و احتمال وقوع هر کدام از آنها نیز معلوم است. در این شرایط، معمولاً از داده‌های تاریخی برای استخراج توزیع احتمال وقایع استفاده می‌شود. اما شواهد زیادی وجود دارد که بسیاری از پدیده‌های روزمره و به‌ویژه متغیرهای مؤثر بر تصمیم‌سازی‌های مدیریت کشاورزی مخاطره‌آمیز (ریسکی) نیستند؛ به دیگر سخن، فرض «در اختیار داشتن توزیع دقیق احتمال وقوع بسیاری از متغیرهای غیرقطعی همچون عملکرد محصولات کشاورزی یا حتی قیمت این محصولات»، بر مبنای داده‌های تاریخی، صحیح نیست.

به همین دلیل، در اغلب پژوهش‌ها، به‌جای استخراج تابع توزیع احتمال واقعی (عینی)[1] که مبتنی بر سنجش فراوانی[2] متغیر تصادفی است، اقدام به تعیین یک تابع توزیع احتمال مبتنی بر دانش یا تجربه یا درجه باور[3] یک فرد یا مجموعه‌ای از افراد می‌شود که بدان تابع توزیع احتمال ذهنی[4] گفته می‌شود. در چنین شرایطی، احتمالات ذهنی تنها اطلاعات موجود از احتمال وقوع متغیر تصادفی مورد نظر به‌شمار می‌روند و مسلماً این اطلاعات و به‌دنبال آن، تابع توزیع احتمال استخراج‌شده از فردی به فرد دیگر متفاوت خواهد بود (Kay, 2012). بنا به تعریف، این متغیر تصادفی یک متغیر ریسکی نیست و طبیعتاً متغیری توأم با عدم حتمیت است.

بسیاری از محققان، با پذیرش احتمال ذهنی (باور ذهنی)، تمایز ریسک و عدم حتمیت نایتی را تقریباً بی‌معنی فرض کرده و از این‌رو، آنها را به‌جای هم استفاده کرده‌اند (Moschini and Hennessy, 2001). اما واضح است که به‌علت تفاوت‌های ذاتی موجود بین ریسک و عدم حتمیت، معادل دانستن آنها و استفاده از روش‌های همسان برای اندازه‌گیری آنها درست نیست (Holly and Hughes Hallett, 1991). در تمامی پژوهش‌های پیشین،

1. objective probability
2. frequency
3. belief degree
4. subjective probability

چه در خصوص متغیرهای ریسکی و چه در ارتباط با متغیرهای توأم با عدم حتمیت، از قواعد نظریه احتمال[1] یا نظریه فازی[2] برای اندازه‌گیری میزان عدم قطعیت موجود استفاده شده است. اما به باور لیو (Liu, 2007)، مقدار عدم حتمیت، در قالب نظریه‌های تصادفی و فازی قابل سنجش نیست و از این‌رو، مدل‌سازی عدم حتمیت باید به‌صورت مجزا در قالب نظریه دیگری با عنوان «نظریه عدم حتمیت[3]» صورت گیرد.

بر مبنای توضیحات پیش‌گفته، لازم است که در تعیین الگوی کشت بهینه با لحاظ عدم قطعیت، اقدام به مدل‌سازی و سپس، حداقل‌سازی عدم حتمیت شود. این بهینه‌یابی مسلماً مشروط به دستیابی به سطحی استاندارد از بازدهی و با توجه به میزان منابع و نهاده‌های در دسترس انجام می‌شود. از جمله نهاده‌های مهم و محدودکننده در تولید محصولات کشاورزی نهاده آب است که مقدار آن وابستگی فراوان به بارندگی نیز دارد. با توجه به نوسان‌های نامنظم آب‌وهوایی، می‌توان گفت که بارندگی از جمله عوامل غیرحتمی مهم در فرآیند تصمیم‌سازی کشاورزی است. به همین دلیل، در پژوهش حاضر، عدم حتمیت بارندگی در کنار عدم حتمیت قیمت محصولات زراعی مورد توجه قرار گرفته است. همچنین، با توجه به رابطهٔ احتمالی عملکرد محصول با بارندگی، می‌توان عدم حتمیت عملکرد محصولات را نیز محاسبه کرد. در نهایت، با توجه توضیحات پیشین، در پژوهش حاضر، نظر به جایگاه ویژه استان مازندران در تولید محصولات کشاورزی ایران، با فرض توأم با عدم حتمیت بودن متغیرهای قیمت محصولات، بارندگی و عملکرد محصولات کشاورزی، از طریق به‌کارگیری برنامه‌ریزی غیرحتمی با هدف حداقل‌سازی عدم حتمیت، الگوی کشت بهینه منطقه گهرباران ساری تعیین شد.

منطقه گهرباران، طبق جدیدترین تقسیمات کشوری، به دو ناحیه گهرباران شمالی به مرکزیت طبقده با یازده روستا و گهرباران جنوبی به مرکزیت ماکران با نُه روستای زیر پوشش

1. probability theory
2. fuzzy theory
3. uncertainty theory

تقسیم شده است. محصولات زراعی عمدهٔ این منطقه شامل برنج، گندم و محصولات جالیزی از جمله هندوانه، خربزه، خیار و گوجه‌فرنگی است (MAJ (2016).

بر اساس بررسی‌های انجام‌گرفته، تاکنون مشاهده نشده است که مدل‌سازی عدم حتمیت بر مبنای درجه باور و در قالب نظریه عدم حتمیت لیو، به‌صورت کاربردی در پژوهش‌های داخل کشور صورت گرفته باشد. اما از آنجا که هدف مطالعه حاضر مدل‌سازی عدم حتمیت در بهینه-سازی الگوی کشت در شرایط عدم حتمیت قیمت و بارندگی (و در نتیجه، عدم حتمیت عملکرد) است، به مطالعاتی که در زمینه لحاظ عدم قطعیت در این متغیرها پرداخته‌اند، اشاره می‌شود. برای نمونه، ترکمانی (Torkamani, 2006)، با اندازه‌گیری و تداخل باورهای شخصی کشاورزان در مورد رویدادهای غیرحتمی در تحلیل تصمیم‌گیری مزرعه، به استخراج توزیع احتمال شخصی در مورد قیمت‌ها و عملکرد محصولات پرداخت و نتایج را در برآورد درآمد خالص محصولات مزرعه متداخل کرد. در این مطالعه، با وجود استفاده از قضاوت‌های شخصی افراد در مورد قیمت و عملکرد محصولات، محاسبه درآمد خالص انتظاری، همچون سایر مطالعات مشابه، مبتنی بر نظریه احتمال بود. در مطالعه‌ای دیگر، حسینی و همکاران (Hosseini et al. 2016)، با استفاده از برنامه‌ریزی ریاضی مثبت[1] در قالب سناریوهای مختلف افزایش و کاهش قیمت و عملکرد محصولات زراعی مورد مطالعه، به بررسی اثر عدم قطعیت قیمت و عملکرد بر الگوی کشت بهینه در شهرستان نکا پرداختند و بدین نتیجه رسیدند که در تمام سناریوها، سطح کشت هندوانه و جو کاهش محسوس یافته، در حالی که سهم کشت برنج دانه‌بلند مرغوب، برنج رتون، گندم و یونجه از ثبات بیشتری برخوردار بوده است. همچنین، حسینی یکانی و کشیری کلائی (Hosseini Yekani and Kashiri Kolaei, 2017)، در بررسی اثر نوسان قیمت محصولات کشاورزی بر الگوی بهینه بهره‌برداری از اراضی زراعی استان مازندران، از روش برنامه‌ریزی ریاضی مثبت ریسکی[2] استفاده کردند و بدین نتیجه

1. Positive Mathematical Programming (PMP)
2. Risk-based Positive Mathematical Programming (RPMP)

رسیدند که افزایش ریسک قیمتی منجر به کاهش سطح کشت محصولاتی نظیر پیاز آبی، کلزای دیم و سیب‌زمینی آبی می‌شود، در حالی که محصولات کم‌ریسک‌تر مانند سویای دیم، گندم دیم و جو آبی جایگاه بیشتری در الگوی کشت می‌یابند.

از جمله مطالعاتی که از نظریه عدم حتمیت در بهینه‌سازی استفاده کرده‌اند، می‌توان به مطالعه هوانگ (Huang, 2011) اشاره کرد، که به ارائه الگویی برای انتخاب پرتفوی[1] بهینه بر مبنای درجه باور کارشناسان پیرامون نرخ‌های بازدهی اوراق پرداخت و نشان داد که درن ظرگرفتن بازدهی‌های تصادفی به‌جای بازدهی‌های غیرحتمی منجر به نتایج متضاد می‌شود. در مطالعه‌ای دیگر، گائو و همکاران (Guo et al., 2016)، با استفاده از مدل برنامه‌ریزی آرمانی مبتنی بر شانس[2]، به کابردی‌سازی نظریه عدم حتمیت برای مقابله با عدم حتمیت عرضه آب در مسئله تخصیص بهینه آب بین مصارف گوناگون پرداختند و در نهایت، با یک مثال عددی، اعتبار مدل پیشنهادی خود را تأیید کردند.

از مطالعات دیگر در زمینه برنامه‌ریزی ریاضی غیرحتمی بر مبنای نظریه عدم حتمیت لیو (Liu, 2007)، می‌توان به مطالعات هوانگ و دی (Huang and Di, 2016) در زمینه انتخاب پرتفوی غیرحتمی، ورسینکوف و همکاران (Veresnikov et al., 2017) با عنوان برنامه‌ریزی غیرحتمی در طراحی مقدماتی سیستم‌های فنی با پارامترهای غیرحتمی، وانگ و نینگ (Wang and Ning, 2018) در زمینه کاربرد برنامه‌ریزی غیرحتمی با محدودیت شانس برای انتخاب پروژه‌ها و همچنین، ژای و بای (Zhai and Bai, 2018) در انتخاب پرتفوی غیرحتمی اشاره کرد. شایان یادآوری است که در مطالعات خارجی، به‌سرعت نظریه عدم حتمیت در مسائل بهینه‌سازی به‌کار برده شده است؛ اما در این مطالعات، به‌علت عدم استفاده از متغیر ضربی، که تفاوت اساسی نظریه عدم حتمیت و نظریه احتمال است و نیز به‌دلیل ارائه مثال‌های عددی و نه تجربی، کاربرد اصلی نظریه عدم حتمیت بازگو نشده است. همچنین، بر اساس

۱- پرتفوی (portfolio) به مجموعه‌ای از دارایی‌ها گفته می‌شود.

2. dependent-chance goal programming

اطلاعات موجود، تاکنون برای گزینش ترکیب بهینه محصولات کشاورزی مبتنی بر نظریه عدم حتمیت به روش حداقل‌سازی عدم قطعیت از طریق مدل‌سازی و سنجش عدم حتمیت بازده برنامه‌ای محصولات، هیچ‌گونه مطالعهٔ داخلی یا خارجی مشابه مطالعهٔ حاضر انجام نشده است.

روش تحقیق

هدف مطالعه حاضر به‌کارگیری نظریه عدم حتمیت به‌جای نظریه احتمال در کمی‌سازی باورهای ذهنی افراد در مورد متغیرهای غیرحتمی نظیر قیمت محصولات کشاورزی و بارندگی به‌منظور تعیین الگوی کشت بهینه در منطقه گهرباران شهرستان ساری است. از آنجا که یکی از نوآوری‌های تحقیق حاضر، نسبت به مطالعات مشابه پیشین، به‌کارگیری نظریه عدم حتمیت برای سنجش میزان عدم قطعیت پارامترهای نادقیق الگوهای برنامه‌ریزی ریاضی است، ابتدا لازم است که به معرفی نظریه عدم حتمیت پرداخته شود.

بر مبنای گفته‌های پیشین، در شرایط وجود عدم حتمیت، یگانه راه موجود برای تعیین درجه عدم قطعیت استفاده از درجه باور به وقوع پیامدهای مختلف حاصل از انجام یک اقدام است (Kay, 2012). بر این اساس، لیو (Liu, 2007) توزیع عدم حتمیت[1] را که مبتنی بر درجه باور است، برای مقادیر غیرحتمی ارائه کرده است. برای بیان توزیع عدم حتمیت، درک مفهوم اندازه عدم حتمیت[2] از موارد ضروری می‌نماید. اندازه عدم حتمیت ویژگی‌هایی مشخص دارد. این معیار باید از اصول نرمال بودن[3]، دوگانگی[4]، زیرجمعی شمارا[5] و اصل ضرب[6] عدم حتمیت پیروی کند (Liu, 2009a).

1. uncertainty distribution
2. uncertain measure
3. normality
4. self-duality
5. countable sub-additivity
6. product

پایه‌گذاری نظریه عدم حتمیت به‌علت نقص برخی اصول نظریه‌های احتمال و فازی برای مدل‌سازی درجه باور بوده است. وجه تمایز اصلی نظریه احتمال و نظریه عدم حتمیت در اصل ضرب نظریه عدم حتمیت است. طبق این اصل، عدم حتمیت وقوع ضرب مجموعه‌ای از رویدادها برابر با حداقل عدم حتمیت وقوع رویدادهای فردی است. این اصل به‌شرح رابطه (۱) تعریف شده است (Liu, 2009b):

$$\mathcal{M}\left\{\prod_{k=1}^{\infty} \Lambda_k\right\} = \bigwedge_{k=1}^{\infty} \mathcal{M}_k\{\Lambda_k\} \quad (۱)$$

اما در نظریه احتمال، اصل ضرب احتمالات به‌شرح رابطه (۲) این تمایز را آشکار می‌سازد و نشان می‌دهد که اگر برای مدل‌سازی درجه باور از نظریه احتمال استفاده شود، احتمال وقوع ضرب دو رویداد حتماً کمتر از میزان متناظر آن در نظریه عدم حتمیت خواهد بود.

$$Pr\left\{\prod_{k=1}^{\infty} \Lambda_k\right\} = \prod_{k=1}^{\infty} Pr_k\{\Lambda_k\} \quad (۲)$$

پذیرش اصول نظریه عدم حتمیت منجر به تفاوت‌هایی در نحوه محاسبه گشتاورهای ریاضی برای کمی‌سازی نتایج می‌شود و این مسئله زمانی که محقق با شرایط ضرب دو پارامتر غیرحتمی سروکار داشته باشد، نمود بیشتری دارد، نکته‌ای که در مطالعهٔ حاضر نیز مورد توجه قرار گرفته است.

در مدل‌های بهینه‌سازی مزرعه، از جمله اهداف مهم هنگام عدم قطعیت، حداکثرسازی ارزش انتظاری بازده برنامه‌ای کشاورزان است. در این راستا، در ادامه، نحوه محاسبه ارزش انتظاری در نظریه عدم حتمیت تشریح می‌شود.

فرض کنید که r نشان‌دهنده عدد حقیقی و ξ یک متغیر غیرحتمی باشد. تابع توزیع عدم حتمیت (Φ) برای یک متغیر غیرحتمی مانند ξ، به‌صورت $\Phi(r) = \mathcal{M}\{\xi \leq r\}$ بیان شده که در آن، $\mathcal{M}$ نشان‌دهنده شانس وقوع اقدام غیرحتمی است (Liu, 2007).

ارزش انتظاری این واقعه غیرحتمی به‌شرح رابطه (۳) قابل محاسبه است (Liu, 2007).

$$E(\xi) = \int_0^{+\infty} \mathcal{M}\{\xi \geq r\}dr - \int_{-\infty}^{0} \mathcal{M}\{\xi \leq r\}dr \qquad (۳)$$

همچنین، می‌توان این‌گونه استنتاج کرد که ارزش انتظاری یک متغیر غیرحتمی با توجه به تابع توزیع معکوس عدم حتمیت[1] ($\Phi^{-1}(\alpha)$) ارائه‌شده در رابطه (۴) نیز قابل محاسبه است (Liu, 2007).

$$E(\xi) = \int_0^1 \Phi^{-1}(\alpha)\, d\alpha \qquad (۴)$$

بر مبنای رابطه (۴)، اگر ξ یک متغیر غیرحتمی باشد که از برآیند چند متغیر غیرحتمی مستقل نظیر $\xi_1, \xi_2, \cdots, \xi_t$ محاسبه می‌شود، و مثلاً برابر با $f(\xi_1, \xi_2, \cdots, \xi_t)$ باشد، اگر f تابعی افزایشی در $\xi_1, \xi_2, \cdots, \xi_k$ و کاهشی در $\xi_{k+1}, \xi_{k+2}, \cdots, \xi_t$ باشد، آنگاه ارزش انتظاری ξ در قالب رابطه (۵) قابل اندازه‌گیری است.

$$E(\xi) = \int_0^1 f(\Phi_1^{-1}(\alpha), \Phi_2^{-1}(\alpha), \ldots, \Phi_k^{-1}(\alpha), \Phi_{k+1}^{-1}(1-\alpha), \ldots, \Phi_t^{-1}(1-\alpha))d\alpha \qquad (۵)$$

1. inverse uncertainty distribution

از رابطه (۵) این‌گونه استنتاج می‌شود که در صورت استقلال[۱] دو متغیر غیرحتمی، ارزش انتظاری ضرب آن دو از طریق ضرب ارزش انتظاری آنها محاسبه نمی‌شود و واضح است که اگر نتایج درجه باور بر مبنای نظریه احتمال کمی‌سازی شود، نتایج درست نخواهد بود.

از آنجاکه یکی از موارد اثرگذار در محاسبه گشتاورهای ریاضی با توجه به توزیع عدم حتمیت می‌تواند فرم توزیع عدم حتمیت باشد، شایان یادآوری است که از جمله فرم‌های تبعی که تاکنون برای توزیع عدم حتمیت مد نظر بوده، شامل توزیع عدم حتمیت خطی[۲]، زیگ-زاگ[۳]، نرمال[۴] و لاگ‌نرمال[۵] است (Liu, 2015). برای نمونه، می‌توان توزیع عدم حتمیت نرمال و لاگ‌نرمال برای قیمت محصول را به‌ترتیب، به‌صورت روابط (۶) و (۷) ارائه کرد:

$$\Phi(p) = \left(1 + \exp\left(\frac{\pi(e^p - p)}{\sqrt{3}\sigma^p}\right)\right)^{-1} \quad (۶)$$

$$\Phi(p) = \left(1 + \exp\left(\frac{\pi(e^p - \ln(p))}{\sqrt{3}\sigma^p}\right)\right)^{-1} \quad (۷)$$

۱- لازم به توضیح است که شرط استقلال در نظریهٔ عدم حتمیت به‌صورت زیر بیان شده است (Kay, 2012):

$$\mathcal{M}\left\{\bigcap_{i=1}^{l}(\xi_i)\right\} = \bigwedge_{i=1}^{l}\mathcal{M}\{\xi_i\}$$

$$\mathcal{M}\left\{\bigcup_{i=1}^{n}(\xi_i)\right\} = \bigvee_{i=1}^{n}\mathcal{M}\{\xi_i\}$$

2. linear
3. zigzag
4. normal
5. lognormal

که در این روابط، e^p و σ^p پارامترهای توزیع عدم حتمیت نرمال و لاگ‌نرمال برای پارامتر غیرحتمی قیمت (p) می‌باشند که به لحاظ مقداری متفاوت‌اند. برای محاسبه این پارامترها، روش‌های مختلفی وجود دارد که در مطالعه حاضر، پس از جمع‌آوری اطلاعات باورهای ذهنی کشاورزان، از روش حداقل مربعات[1] پیشنهادی لیو (Liu, 2015) استفاده شده است.

با محاسبه پارامترهای توزیع عدم حتمیت، مثلاً برای قیمت محصول، می‌توان توزیع عدم حتمیت نرمال معکوس و لاگ‌نرمال معکوس را به‌ترتیب، در قالب روابط (۸) و (۹) محاسبه کرد (Liu, 2015):

$$\Phi_p^{-1}(\alpha) = e^p + \frac{\sigma^p\sqrt{3}}{\pi}\ln\frac{\alpha}{1-\alpha} \quad (۸)$$

$$\Phi_p^{-1}(\alpha) = \exp\left(e^p + \frac{\sigma^p\sqrt{3}}{\pi}\ln\frac{\alpha}{1-\alpha}\right) \quad (۹)$$

همانند روابط بالا، می‌توان برای بارندگی نیز توابع توزیع عدم حتمیت را نوشت که برای رعایت اختصار، از ذکر آنها خودداری می‌شود.

به‌عنوان کاربردی از مطالب پیش‌گفته در بهینه‌سازی سطح مزرعه، می‌توان به پارامتر سود ناخالص هر محصول اشاره کرد که از کسر هزینه‌های عملیاتی تولید از درآمد حاصل از فروش محصول محاسبه می‌شود. درآمد محصول در هر هکتار (R) از ضرب قیمت هر کیلوگرم محصول (p) در عملکرد محصول (y) قابل محاسبه است (به دیگر سخن، $R = p.y$). در این صورت، اگر $\Phi_p^{-1}(\alpha)$ و $\Phi_y^{-1}(\alpha)$ به‌ترتیب، توزیع عدم حتمیت معکوس برای p و y باشند، از آنجا که درآمد، تابعی افزایشی با توجه به p و y است، به شرط مستقل بودن p و y، می‌توان ارزش انتظاری درآمد را به‌صورت رابطه (۱۰) نوشت:

$$E(R) = \int_0^1 \Phi_p^{-1}(\alpha).\Phi_y^{-1}(\alpha)d\alpha \quad (۱۰)$$

1. least square

این در حالی است که اگر نظریه احتمال در مدل‌سازی درجه باور استفاده شود، با شرط استقلال دو متغیر تصادفی، می‌توان نوشت:

$$E(R) = \int_0^1 \Phi_p^{-1}(\alpha)\,d\alpha \,.\, \int_0^1 \Phi_y^{-1}(\alpha)\,d\alpha \qquad (۱۱)$$

که با نتیجه رابطه (۱۰) متفاوت است. بنابراین، اگر با درجه باور همانند احتمال ذهنی رفتار شود و برای محاسبه ارزش انتظاری متغیر غیرحتمی، از روش نظریه احتمال استفاده شود، برآورد درست به‌دست نمی‌آید.

در مطالعه حاضر، پس از محاسبه ارزش انتظاری سود هر محصول از طریق فرآیند پیشین، به‌منظور گزینش ترکیبی مناسب از محصولات هنگام عدم حتمیت، معیار ارزش در معرض خطر دنباله‌دار[1] برای محاسبه و حداقل‌سازی عدم حتمیت الگوی کشت مد نظر قرار گرفت. شاخص ارزش در معرض خطر[2] به‌عنوان یکی از شاخص‌های اندازه‌گیری پراکندگی مطرح شده است. شاخص n دوره‌ای VaR در یک پرتفوی نشان می‌دهد که در n دوره آینده با احتمال α درصد، زیان پرتفوی از میزان VaR بیشتر نخواهد شد. شاخص VaR، علی‌رغم توانایی‌هایی آن، نواقصی هم دارد. برای نمونه، این شاخص نمی‌تواند زیان‌های فراتر از VaR را محاسبه کند. برای حل این مشکل، آرتزنر و همکاران (Artzner et al., 1997) شاخص TVaR را برای یک متغیر تصادفی پیشنهاد کرده‌اند. اما در مفهوم نظریه عدم حتمیت، پنگ (Peng, 2013)، برای متغیرهای توأم با عدم حتمیت (برای نمونه، ξ) و در نهایت، برای تابع $f(\xi_1, \xi_2, \ldots, \xi_1)$، شاخص VaR را به‌صورت رابطه (۱۲) تعریف کرده است:

$$VaR(\alpha) = sup\{r | \mathcal{M}\{f(\xi_1, \xi_2, \ldots, \xi_1) \geq r\} \geq \alpha\} \qquad (۱۲)$$

1. Tail Value at Risk (TVaR)
2. Value at Risk (VaR)

که با توجه به توزیع عدم حتمیت معکوس متغیرهای غیرحتمی $\xi_1, \xi_2, \ldots, \xi_i$ (برای اختصار، با فرض افزایشی بودن تابع f نسبت به متغیرها)، می‌توان $VaR(\alpha)$ را در قالب رابطه (۱۳) بیان نمود:

$$VaR(\alpha) = f(\Phi_1^{-1}(1-\alpha), \Phi_2^{-1}(1-\alpha), \ldots, \Phi_i^{-1}(1-\alpha)) \quad (۱۳)$$

با توجه به نقص یادشده برای VaR، پنگ (Peng, 2013) شاخص TVaR را برای متغیر غیرحتمی به‌شرح رابطه (۱۴) معرفی کرده است:

$$TVaR(\alpha) = \frac{1}{1-\alpha}\int_{\alpha}^{1} VaR(\beta)d\beta \quad (۱۴)$$

از آنجا که در مطالعه حاضر، هدف ارائه یک ترکیب بهینه است، در شرایط توأم با عدم حتمیت، بر مبنای برنامه‌ریزی غیرحتمی[1] ارائه‌شده توسط لیو (Liu, 2009b)، می‌توان الگوی برنامه‌ریزی غیرحتمی با هدف حداکثرسازی سود انتظاری را به‌شرح رابطه (۱۵) ارائه کرد:

$$\begin{aligned} &Max\ E\big(F(X,\xi)\big) \\ &S.t. \\ &g_j(x) \leq 0 \\ &\mathcal{M}\big(\tilde{g}_j(X,\xi) \leq 0\big) \geq \alpha_j \end{aligned} \quad (۱۵)$$

که در آن، x متغیر تصمیم، ξ متغیرهای غیرحتمی، $F(x,\xi)$ تابع سود و در نتیجه، $E\big(F(x,\xi)\big)$ ارزش انتظاری سود است. $g_j(x)$ نیز مشتمل بر قیدهای قطعی الگوی برنامه‌ریزی و $\tilde{g}_j(X,\xi)$ مرتبط با قیدهای غیرحتمی است که به‌صورت محدودیت شانس لحاظ شده است. در مطالعه حاضر، به‌علت عدم حتمیت در بارندگی و در نتیجه، عدم حتمیت در میزان آب در اختیار کشاورزان، قید دسترسی به آب به‌صورت شانسی با توجه به توزیع عدم حتمیت برآوردی لحاظ

1. uncertain programming

شده است. در نهایت، از آنجا که در مدل یادشده، پارامتر سود و قید آب غیرحتمی است، از فرم دقیق در قالب رابطه (۱۶) استفاده می‌شود:

$$\text{Max} \int_0^1 F\left(X, \Phi_p^{-1}(\alpha), \Phi_y^{-1}(\alpha)\right) d\alpha$$

$$s.t. \qquad (۱۶)$$

$$g_j(x) \leq 0$$

$$g\left(x, \Phi_R^{-1}(1-\alpha)\right) \leq 0$$

که در آن، $\Phi_p^{-1}(\alpha)$، $\Phi_y^{-1}(\alpha)$ و $\Phi_R^{-1}(\alpha)$، به‌ترتیب، توزیع عدم حتمیت معکوس برای قیمت، عملکرد و بارندگی است.

لازم به توضیح است که چون بارندگی یکی از عوامل مهم مؤثر بر عملکرد محصولات است، در مطالعه حاضر، ابتدا توزیع عدم حتمیت بارش باران در فصل زراعی محاسبه و سپس، با توجه به تابع واکنش عملکرد محصول نسبت به بارندگی، توزیع عدم حتمیت عملکرد محصول بر اساس قوانین عملیاتی در نظریه عدم حتمیت تعیین شد.

از آنجا که منطقه مورد مطالعه واقع در حومه ایستگاه هواشناسی دشت ناز ساری است، برای برآورد دقیق‌تر تابع واکنش عملکرد، از اطلاعات عملکرد شهرستان ساری و داده‌های بارندگی ایستگاه دشت ناز استفاده شده است. نظر به اینکه ایستگاه سینوپتیک دشت ناز از سال ۱۳۸۰ شروع به کار کرده، به‌دلیل کمبود داده‌ها و در نتیجه، پایین آمدن درجه آزادی رگرسیون، امکان برآورد تابع واکنش هر محصول به‌صورت جداگانه نبوده است. به همین دلیل، از روش داده‌های پنلی بهره گرفته شد، به‌گونه‌ای که در آن، مقاطع شامل محصولات عمده بهاره منطقه از جمله برنج شیرودی و طارم، گوجه‌فرنگی، هندوانه و سویا بوده و سری زمانی شامل سال‌های ۱۳۹۴-۱۳۸۰ است.

به‌منظور برآورد اثر بارندگی بر عملکرد محصول، ابتدا فرض شد که بارندگی تنها عامل تصادفی اثرگذار بر عملکرد محصول باشد، که اثر آن در جمله اخلال (u_{it}) در قالب رابطه (۱۷) نهفته است:

$$lny_{it} = \gamma_{0i} + \gamma_1 irr_{it} + \gamma_2 irr_{it}^2 + \gamma_3 fe_{it} + \gamma_4 rday_{it} + u_{it} \quad (۱۷)$$

که در آن، lny_{it} لگاریتم عملکرد محصول iام در زمان tام، irr و irr^2 نیز به‌ترتیب، معرف آبیاری به‌همراه توان دوم آن است. همچنین، fe_{it} نشانگر نهاده کود به‌عنوان نماینده نهاده‌های مدیریتی[۱] و $rday_{it}$ شاخص توزیع بارندگی در فصل زراعی محصول است که از تقسیم روزهای بارندگی بر کل روزهای رشد محاسبه شده است. پس از محاسبه u_{it}، رابطه (۱۸) به منظور محاسبه اثر بارندگی بر عملکرد برآورد شد:

$$u_{it} = \vartheta_{0i} + \vartheta_{1i} ratn_{it} + \vartheta_{2i} ratn_{it}^2 \quad (۱۸)$$

که در آن، $ratn_{it}$ و $ratn_{it}^2$، به‌ترتیب، معرف بارندگی و توان دوم آن در دوره کشت محصول iام در سال tام است. پس از محاسبه ϑ_{1i} و ϑ_{2i} از رابطه (۱۸)، یک رابطه ریاضی در قالب رابطه (۱۹) مد نظر قرار گرفت:

$$lny_t = \beta_{0i} + \beta_{1i} ratn_t + \beta_{2i} ratn_t^2 \quad (۱۹)$$

که در آن، β_{1i} و β_{2i} همان شیب‌های محاسبه‌شده در رابطه (۱۸) بوده و β_{0i} با استفاده از مقادیر میانگین عملکرد هر محصول و بارندگی در فصل رشد آن در سال‌های مورد بررسی محاسبه شد.

۱- میزان عملکرد می‌تواند تابعی از نهاده‌های مختلف شامل کود، سموم، درصد استفاده از ماشین‌آلات، نیروی کار و سایر عوامل تولید باشد، ولی با توجه به کمبود داده‌ها و پایین آمدن درجه آزادی رگرسیون، نهاده‌ای که ضریب همبستگی بیشتری با عملکرد داشته است، به‌عنوان نماینده نهاده‌های مدیریتی منظور شد.

از آنجا که در مطالعه حاضر، هدف اصلی تعیین الگوی کشت بهینه برای حداقل‌سازی عدم حتمیت است، بدین منظور، با توجه به قیود کشاورزان منطقه مورد مطالعه، روابط (۲۰) تا (۲۶) طراحی شده است:

$$Min\ UC = \sum_{t=1}^{n} TVaR_t\ X_t \qquad (۲۰)$$

s.t

$$\sum_{t=1}^{n}\left(\int_0^1 \Phi_{y_t}^{-1}(\alpha).\Phi_{y_1}^{-1}(\alpha)d\alpha - c_t\right)X_t \geq \rho \qquad (۲۱)$$

$$\Phi_{y_1}^{-1}(\alpha) = \exp\left(\beta_{0t} + \beta_{1t}\Phi_R^{-1}(\alpha) + \beta_{2t}\left(\Phi_R^{-1}(\alpha)\right)^2\right) \qquad (۲۲)$$

$$M\left(\sum_{t=1}^{n} A_t^w X_t \leq wb + \widetilde{er}\right) \geq \alpha \qquad (۲۳)$$

$$\sum_{t=1}^{n} A_t^{w^s} X_t \leq B^{w^s} \qquad (۲۴)$$

$$\sum_{tp=1}^{n} X_{tp} \leq TF \qquad (۲۵)$$

$$X_t \geq 0 \qquad (۲۶)$$

رابطه (۲۰) معرف تابع هدف است که در آن، عدم حتمیت الگو (UC) حداقل می‌شود. این حداقل‌سازی مستلزم دستیابی به یک حد آستانه‌ای سود (ρ)، محدودیت منابع آبی و سایر محدودیت‌های نهاده‌ای شامل زمین و سرمایه است که در روابط (۲۱) تا (۲۵)، تعریف شده است. در این روابط، X_t سطح کشت محصول iام و $TVaR_t$ معرف ارزش در معرض خطر دنباله‌دار است که بر اساس اصول نظریه عدم حتمیت، در یک سطح اطمینان خاص (در مطالعه حاضر، ۹۵ درصد)، محاسبه می‌شود. رابطه (۲۱) معرف آن است که الگوی کشت ارائه‌شده در مدل حداقل‌سازی عدم حتمیت، باید کشاورز را به یک سطح آستانه‌ای سود برساند. به‌منظور

تعیین حد آستانه‌ای سود نیز ابتدا یک مدل بهینه‌سازی با هدف حداکثرسازی سود انتظاری با توجه به قیود نهاده‌ای حل شد و سپس، ۹۵ درصد از سود محاسبه شده در آن، به‌عنوان ρ در مدل منظور شد.

جمله $\int_0^1 \Phi_{y_i}^{-1}(\alpha).\Phi_{y_i}^{-1}(\alpha)d\alpha$ در رابطه (۲۱) معرف درآمد انتظاری است که مبتنی بر نظریه عدم حتمیت بیان شده است. $\Phi_{y_i}^{-1}(\alpha)$ معرف توزیع عدم حتمیت عملکرد محصول iام است که با توجه به رابطه تبعی بین عملکرد و بارندگی، به‌صورت رابطه (۲۲) قابل تعریف است. همچنین، $A_i^{w^e}$ ضریب فنی نهاده‌های غیرآبی و B^{w^e} میزان موجودی مربوط به آنها، A_i^w نیاز آبی محصول iام، wb آب خریداری‌شده توسط کشاورز و er بارش مؤثر است که به‌صورت تابعی از بارندگی است. برای محاسبه بارش مؤثر نیز از روش حفاظت خاک آمریکا به‌شرح رابطه (۲۷) استفاده شده است:

$$\begin{aligned} peff &= R*(125-0.2*3*R))/125 && if\ R \le \tfrac{250}{3} \\ Peff &= \tfrac{125}{3}+0.1*R && if\ R > \tfrac{250}{3} \end{aligned} \qquad (۲۷)$$

که در آن، $peff$ بارش مؤثر ماهانه و R بارش ماهانه است. از آنجا که بارندگی و در نتیجه، بارش مؤثر یک متغیر غیرحتمی است، قید مربوط به آب به‌صورت محدودیت شانسی در نظر گرفته شد که در آن، α معرف سطح شانس است. رابطه (۲۳) را می‌توان به‌صورت $\mathcal{M}(\sum_{i=1}^n A_i^w X_i - wb - \widetilde{er} \le 0) \ge \alpha$ نوشت. برای محاسبه معادل دقیق چنین روابطی، از قضایای مطرح شده توسط لیو (Liu 2009a) استفاده و معادل دقیق این محدودیت به‌صورت رابطه (۲۸) مورد استفاده قرار گرفت:

$$\sum_{i=1}^n A_i^w X_i - wb - f(\Phi_R^{-1}(1-\alpha)) \le 0 \qquad (۲۸)$$

که در آن، f بیانگر رابطه بارش مؤثر و بارندگی است.

لازم به توضیح است که با توجه به پرسشنامه‌های تکمیل‌شده در تحقیق حاضر، کشاورزان منطقه بیشتر محصولاتی مانند گوجه‌فرنگی و هندوانه را در باغ‌های یک تا سه‌ساله کشت می‌کنند و از این‌رو، در اختصاص زمین مورد استفاده جاری این محصولات به محصولاتی مانند شالی در حیطهٔ تحقیق حاضر محدودیت وجود دارد. به همین دلیل، محدودیت رابطه (۲۵) لحاظ شد که فراتررفتن سطح کشت شالی (مجموع پرمحصول و کم‌محصول که با نماد ip مشخص شده است) از سطح کشت فعلی شالی (TF) را اجازه نمی‌دهد.

از داده‌های اساسی مورد نیاز در مطالعهٔ حاضر، محاسبه تابع توزیع عدم حتمیت قیمت، بارش باران و در نتیجه، عملکرد محصولات است که با استفاده از جمع‌آوری درجه باور افراد به وقوع سطوح مختلف متغیر غیرحتمی، استخراج شده است. برای جمع‌آوری باورها و قضاوت‌های ذهنی اشخاص در مورد وقوع رویدادها، روش‌های مختلف وجود دارد که به دو گروه روش‌های استخراج مستقیم و غیرمستقیم تقسیم می‌شوند. در روش مستقیم، فرد به‌طور مستقیم باور خود را در مورد وقوع یک رویداد بیان می‌کند؛ برای نمونه، خواه احتمال وقوع رویداد را با عددی بین صفر و یک و خواه احتمال نسبی دو رویداد غیرمشترک را بیان می‌کند. اما در روش غیرمستقیم، اصولاً استخراج احتمال طی دو مرحله انجام می‌گیرد. از جمله روش‌های مستقیم می‌توان به روش‌های تابع توزیع احتمال[1] و تابع توزیع تجمعی[2] و از جمله روش‌های غیرمستقیم می‌توان به روش شانس[3]، روش وزن‌دهی[4]، روش پاسخ عینی[5]، روش رتبه‌بندی[6]، روش هموارسازی[7]، توزیع مثلثی[8]، عینی‌سازی منحنی قضاوت[9] و بسیاری از

1. Probability Distribution Function (PDF)
2. Cumulative Distribution Function (CDF)
3. odds method
4. weighting method
5. visual response method
6. ranking method
7. smoothing method
8. triangular distribution
9. judgmental curve fitting

روش‌های دیگر اشاره کرد. در مطالعه حاضر، به‌منظور جمع‌آوری قضاوت‌های ذهنی کشاورزان، بر اساس پیشنهاد لیو، از روش تابع توزیع تجمعی (CDF) استفاده شده است.

در ادامه، نکته دیگری که باید مورد توجه قرار گیرد، لزوم انتخاب کشاورزان نماینده به لحاظ توزیع عدم حتمیت و همچنین، مقیاس تولید، از میان کشاورزان نمونه‌گیری‌شده است. در واقع، در مطالعهٔ حاضر، انتخاب کشاورز نماینده دو بار، که یک بار در مرحله استخراج درجه باور جامع و دیگری مربوط به نهاده‌های در اختیار است، انجام شده است. پس از محاسبه درجه باور هر کدام از کشاورزان در مورد قیمت و بارندگی (با استفاده از روش تابع توزیع تجمعی برای برآورد ذهنی کشاورزان)، باید یک تابع توزیع عدم حتمیت با توجه به درجه باور آنها محاسبه شود. برای نمونه، اگر از m شخص پرسشگری شود و هر کدام یک توزیع عدم حتمیتی به‌صورت Φ_m داشته باشند، آنگاه لازم است توزیع عدم حتمیت جامع محاسبه شود. در این راستا، با اینکه لیو روش میانگین حسابی را پیشنهاد داده، ولی مطالعهٔ حاضر از روش حسامیان و همکاران (Hesamian et al., 2011) بهره گرفته است. در این روش، ابتدا یک تابع توزیع تجربی جامع ساخته می‌شود و سپس، با توجه به مقادیر بیان‌شدهٔ قیمت و بارش از سوی فرد، درجه باور هر فرد در مورد سطوح مختلف متغیر غیرحتمی محاسبه می‌شود. اگر Φ_1 بیانگر توزیع عدم حتمیت فرد اول و Φ توزیع عدم حتمیت جامع باشد، آنگاه رابطه شرطی (۲۹) محاسبه می‌شود:

$$\begin{aligned} 0:&\ if\ |\Phi_1 - \Phi| \leq \varepsilon \\ 1:&\ if\ |\Phi_1 - \Phi| > \varepsilon \end{aligned} \qquad (۲۹)$$

که در آن، ε حداکثر سطح اختلاف مجاز مد نظر محقق است. بدین ترتیب، اگر تعداد ۱ها در رابطه شرطی بالا با نماد K نشان داده شود و N کل اعضای این رابطه شرطی باشد، در یک سطح اطمینان مشخص مانند θ، اگر $K < \theta N$ باشد، میتوان توزیع Φ را به‌عنوان توزیع جامع عدم حتمیت پذیرفت. آزمون یادشده آنقدر برای افراد مختلف در قالب گروه‌های مختلف

تکرار می‌شود تا در نهایت، بتوان یک یا چند توزیع عدم حتمیت جامع را استخراج کرد. شایان یادآوری است که در مطالعه حاضر، ε برابر با ۰/۱ و θ زیر سی درصد در نظر گرفته شده است.

منطقه مورد مطالعه تحقیق بخش گهرباران ساری بوده که برای جمع‌آوری داده‌های مربوط به سال زراعی ۱۳۹۶-۱۳۹۵ و درجه باور آنها در مورد قیمت محصولات و بارندگی، این بخش به سه ناحیه شمالی، میانی و جنوبی تقسیم شده و گهرباران شمالی برای ایراد نتایج انتخاب شده است. طبق تقسیم‌بندی مطالعهٔ حاضر، گهرباران شمالی مشتمل بر هفت روستا بوده که به‌صورت خوشه‌ای، سه روستا برای جمع‌آوری داده‌ها انتخاب شد. روش نمونه‌گیری کاملاً تصادفی بوده و حجم نمونه‌های مورد نیاز برای هر روستا و با استفاده از رابطهٔ کوکران (Cochran, 1977) تعیین شد.

با توجه به پرسشگری‌های انجام‌شده، عمده محصولات بهاره این منطقه شامل برنج طارم (۲۷ درصد)، برنج شیرودی (۶۷ درصد)، هندوانه (۴ درصد) و گوجه‌فرنگی (۳ درصد) است که در مطالعهٔ حاضر، به آنها پرداخته می‌شود.

سایر اطلاعات مورد نیاز شامل کود مصرفی در هر هکتار از محصولات طی سال‌های ۱۳۹۴-۱۳۸۰ از جهاد کشاورزی استان مازندران و اطلاعات بارندگی مربوط به سال‌های ۱۳۹۴-۱۳۸۰ از سازمان هواشناسی استان مازندران جمع‌آوری شد. برای محاسبه آبیاری در هر سال نیز به‌دلیل نبود داده‌های مربوط، نرم‌افزار Cropwat مورد استفاده قرار گرفت. در نهایت، به‌منظور برآورد تابع واکنش عملکرد، توابع توزیع عدم حتمیت و تعیین الگوی کشت بهینه، به‌ترتیب، از نرم‌افزارهای Eviews، Matlab و GAMS استفاده شده است. همچنین، از آنجاکه لحاظ فرم نرمال و لاگ‌نرمال برای قیمت‌ها، بارندگی در کنار رابطه غیرخطی برآوردشده بین بارندگی و عملکرد، منجر به یک توزیع عدم حتمیت با فرم غیرخطی پیچیده می‌شود، محاسبه انتگرال دقیق برای چنین توابعی امکان‌پذیر نیست و از این‌رو، یکی از روش‌های عددی

انتگرال‌گیری به نام کوادراتور لوباتو[1] (Liu, 2015) مد نظر قرار گرفته و در نرم‌افزار Matlab محاسبه شده است.

نتایج و بحث

پس از جمع‌آوری داده‌های مربوط از ۴۲ کشاورز، ابتدا به‌منظور استخراج توابع توزیع عدم حتمیت جامع برای قیمت هر کدام از محصولات و بارندگی در فصل زراعی، با توجه به روش ارائه‌شده در قسمت پیشین، کشاورزان به سه گروه تقسیم شده و توابع توزیع عدم حتمیت نرمال و لاگ‌نرمال برای هر کدام از آنها به روش حداقل مربعات محاسبه شد. در هر گروه توزیع جامع، از میان فرم نرمال و لاگ‌نرمال، با توجه به شاخص خطای محاسبه‌شده در روش حداقل مربعات، فرم برتر انتخاب شده، که نتایج آن در جدول ۱ آمده است.

جدول ۱- نتایج انتخاب توزیع برتر عدم حتمیت در هر گروه همگن درجهٔ باور

محصول	گروه تجمیع درجه باور	قیمت محصول	بارش
برنج طارم	۱	نرمال	نرمال
	۲	نرمال	نرمال
	۳	لاگ‌نرمال	نرمال
برنج شیرودی	۱	نرمال	نرمال
	۲	نرمال	نرمال
	۳	لاگ‌نرمال	نرمال
هندوانه	۱	لاگ‌نرمال	نرمال
	۲	لاگ‌نرمال	نرمال
	۳	لاگ‌نرمال	نرمال
گوجه‌فرنگی	۱	لاگ‌نرمال	نرمال
	۲	نرمال	نرمال
	۳	لاگ‌نرمال	نرمال

مأخذ: یافته‌های پژوهش

1. Lobatto quadrature

پس از محاسبه توزیع عدم حتمیت قیمت محصولات و بارندگی، برای محاسبه درآمد و در نتیجه، سود محصولات در شرایط غیرحتمی، باید تابع توزیع عملکرد محصولات با توجه به توزیع بارندگی برآورد شود. بدین منظور، برای محاسبه یک رابطه بین بارش باران و عملکرد محصول، از روش داده‌های پنلی استفاده شده است. شایان یادآوری است که متغیرها از طریق آماره لوین، لین و چو مورد آزمون مانایی قرار گرفته، که نتایج حاکی از مانایی متغیرها در سطح بوده است. همچنین، آزمون‌های انجام‌شده استفاده از روش برآورد پنلی[1] و نیز مدل رگرسیونی به روش اثرات ثابت[2] را تأیید کرده است. از آنجا که در مطالعه حاضر، بر عدم حتمیت بارندگی تأکید شده و سایر عوامل مؤثر بر عملکرد قطعی در نظر گرفته شده است. از این‌رو، رابطه غیرخطی عملکرد نسبت به بارندگی منطبق با روش ارائه‌شده در جدول ۲ آمده است.

جدول ۲- نتایج برآورد ضرایب رابطه بین عملکرد محصولات و بارندگی

	برنج شیرودی	برنج طارم	هندوانه	گوجه‌فرنگی
جزء ثابت (β_0)	۸/۰۵۸	۷/۴۶۹	۸/۹۳۷	۸/۴۶۲
$rain$	۰/۰۱۸۵۱***	۰/۰۱۸۲۷***	۰/۰۲۸۲۱***	۰/۰۳۷۴۸***
$rain^2$	-۰/۰۰۰۱***	-۰/۰۰۰۰۹۲***	-۰/۰۰۰۱۵***	-۰/۰۰۰۱۸***
Durbin-Watson stat =۲/۰۵			R^2=۰/۹۸	

*** معنی‌داری در سطح اطمینان ۹۹ درصد

مأخذ: یافته‌های پژوهش

در ادامه، در هر کدام از گروه‌های همگن سه‌گانه یادشده، برای هر محصول درآمد انتظاری و در نتیجه، سود انتظاری مبتنی بر نظریه عدم حتمیت محاسبه شد. در هر کدام از این سه گروه، نه‌تنها سود انتظاری هر محصول با سایر حالت‌ها متفاوت است، بلکه بارش مؤثر (متغیر er) نیز با توجه به سطح شانس بارندگی تغییر داده شد، به‌گونه‌ای که یک سطح شانس

۱- انجام آزمون چاو

۲- انجام آزمون هاسمن

۹۵ درصدی برای بارندگی در نظر گرفته شد و با توجه به توزیع عدم حتمیت بارش، مقدار بارندگی مؤثر محاسبه و در محدودیت مربوط به آب در مدل برنامه‌ریزی غیرحتمی گنجانده شد. لازم به توضیح است که با توجه به قید دسترسی به آب در مدل برنامه‌ریزی غیرحتمی معرفی‌شده، تابع شانس برقراری محدودیت مربوط نسبت به بارندگی نزولی است. بنابراین، عدد محاسبه‌شده این‌گونه تفسیر می‌شود که با شانس ۹۵ درصد، سطح بارندگی از سطح محاسبه‌شده کمتر نمی‌شود.

به‌طور معمول در الگوهای برنامه‌ریزی ریاضی، امکان ارائه الگویی بهینه برای تمامی واحدها به‌صورت انفرادی وجود ندارد و به‌ناچار باید این الگوی ریاضی برای برخی بهره‌برداران به‌عنوان نماینده همهٔ آنها مورد استفاده قرار گیرد. بدین منظور، در مطالعهٔ حاضر، به لحاظ زمین آبی در اختیار، دو گروه همگن شامل کشاورزان کوچک‌مقیاس و بزرگ‌مقیاس، زمین مد نظر قرار گرفت. به‌منظور توزیع کشاورزان در این دو گروه، با توجه به اینکه در اطلاعات پرسشنامه‌ای استخراج‌شده حدود پنجاه درصد کشاورزان دارای زمینی کمتر از یک هکتار بودند، دو گروه یادشده در قالب کشاورزان دارای کمتر از یک هکتار زمین و کشاورزان دارای بیش از یک هکتار زمین تقسیم‌بندی و ضمن تعیین یک کشاورز نماینده فرضی در هر گروه، الگوی بهینه‌سازی مبتنی بر موجودی منابع این دو گروه برآورد شده است.

با توجه به آنچه گفته شد و با استفاده از مدل مطرح‌شده، نتایجی به‌شرح جدول ۳ به‌دست آمده است. در این جداول، الگوی کشت، سود انتظاری و شاخص ارزش در معرض خطر دنباله‌دار (به‌عنوان شاخص اندازه‌گیری عدم حتمیت) در شرایط ادامه الگوی کشت رایج، پیروی از مدل حداکثرسازی سود انتظاری و مدل حداقل‌سازی TVaR، به‌ترتیب، برای دو گروه کشاورزان کوچک‌مقیاس و بزرگ‌مقیاس ارائه شده است.

در نمونه‌های مورد بررسی، کشاورزان کوچک‌مقیاس به‌طور متوسط ۰/۵۸۹ هکتار زمین در اختیار داشتند که به‌ترتیب، ۰/۲ و ۰/۳۳ هکتار از آن را به برنج طارم و برنج شیرودی اختصاص داده‌اند. اما در شرایطی که در بارندگی، عدم حتمیت و احتمال کاهش آن نسبت به

سال زراعی قبلی وجود داشته باشد، کشاورزان مجبور به کاهش کشت محصولات خواهند بود؛ در این صورت، با توجه به گروه‌های قضاوت‌های ذهنی ۱، ۲ و ۳، سطح قابل کشت محصولات در شرایط ادامه الگوی کشت رایج برای کشاورزان کوچک‌مقیاس در جدول ۴ آمده است. در این گروه از کشاورزان، گوجه‌فرنگی و هندوانه به‌طور متوسط تقریباً سهم یکسان در الگوی کشت جاری به خود اختصاص داده‌اند. لازم به یادآوری است که این محصولات بیشتر در باغ‌های یک تا سه‌ساله کشت می‌شوند. طبق بررسی‌های انجام‌گرفته، کشاورزان منطقهٔ گهرباران شمالی در چند سال اخیر الگوی کشت خود را به سمت محصول برنج سوق داده و اینک اصولاً طی سال‌های متمادی، کاربری زمین خود را چندان تغییر نداده‌اند. با این شرایط، با توجه به عدم حتمیتی که در قیمت محصولات، بارندگی و در نتیجه، عملکرد محصولات وجود دارد، با توجه به توابع توزیع عدم حتمیت برآوردشده، در شرایطی که قضاوت‌های ذهنی افراد برای قیمت و بارندگی نوسان کم، متوسط و بالا را پیش‌بینی کند، آنگاه حفظ سهم جاری محصولات در الگوی کشت منجر به سودهایی، به‌ترتیب، در حدود ۸/۶۹۳، ۶/۹۱ و ۷/۹۳ میلیون تومان برای کشاورزان کوچک‌مقیاس می‌شود.

همچنین، با توجه به الگوی کشت رایج، عدم حتمیتی که کشاورزان با آن مواجه خواهند بود، در هر سه شرایط قضاوت ذهنی محاسبه شده و نتایج حاکی از آن است که هرچه قضاوت‌ها پرنوسان‌تر باشد، عدم حتمیت نیز افزایش می‌یابد. لازم به توضیح است که شاخص TVaR روی زیان متمرکز شده و بدین معنی است که با احتمال α درصد، زیان پرتفوی در دوره آتی از سطح به‌دست‌آمدهٔ TVaR بیشتر نخواهد بود؛ بنابراین، به‌دست آمدن عددی منفی برای شاخص یادشده به مفهوم سود است. برای نمونه، در شرایط قضاوت ذهنی پرنوسان، در صورت پیروی از الگوی کشت رایج، با اطمینان ۹۵ درصد، سود از حدود ۱/۶۳ میلیون تومان کمتر نمی‌شود (و البته، مفهوم اولیه آن این است که با اطمینان ۹۵ درصد، زیان کشاورز از ۱/۶۳- میلیون تومان بیشتر نمی‌شود).

با اجرای مدل برنامه‌ریزی غیرحتمی مبتنی بر هدف حداکثرسازی سود انتظاری با محدودیت منابع و محدودیت شانس دسترسی به بارندگی، الگوی کشت نسبت به الگوی کشت رایج تغییر کرده، به‌گونه‌ای که سهم محصولات در نمودار (۱-الف) نیز قابل مشاهده است. طبق نتایج به‌دست‌آمده، در گروه قضاوت‌های ذهنی کم‌نوسان، برنج طارم و گوجه‌فرنگی از الگوی کشت حذف می‌شود و سطح کشت برنج شیرودی و هندوانه نسبت به الگوی رایج افزایش می‌یابد. در مقابل، در گروه توزیع عدم حتمیت دوم، تنها برنج شیرودی از الگوی کشت حذف می‌شود و در گروه قضاوت‌های پرنوسان، عدم کشت برنج شیرودی و هندوانه و اختصاص منابع آب و سرمایه آن به برنج طارم و گوجه‌فرنگی منجر به دستیابی به حداکثر سود انتظاری می‌شود. بر مبنای این نتایج، اثر درجه نوسان توزیع عدم حتمیت بر الگوی کشت محسوسی است و افرادی که بر مبنای قضاوت‌های ذهنی مختلف تصمیم‌گیری می‌کنند، به سمت الگوهای متفاوت متمایل می‌شوند.

هدف اصلی تحقیق حاضر بهینه‌سازی ترکیب محصولات مورد بررسی با هدف حداقل‌سازی عدم حتمیت بوده است. اما از آنجا که در مدل‌های حداقل‌سازی عدم حتمیت، به‌منظور جلوگیری از سوق یافتن جواب مسئله به سمت ترکیب صفر، یک حد آستانه‌ای مثلاً بر روی سود کشاورز در نظرگرفته می‌شود، در مرحله بعد، با لحاظ ۹۵ درصد از سود حاصل از مدل حداکثرسازی سود انتظاری به‌عنوان آستانه، الگوی حداقل‌سازی عدم حتمیت اجرا و نتایج آن در جدول ۴ و نمودار (۱-ب) قابل مشاهده است. ارقام جدول ۴ و مقایسه نمودار (۱-الف) و (۱-ب) حاکی از تغییر الگوی کشت در شرایط حداقل‌سازی عدم حتمیت است، به‌گونه‌ای که افرادی با نوسان کم در قضاوت‌های ذهنی، برای حداقل‌سازی عدم حتمیت سود فعالیت خود، باید سهم برنج شیرودی و هندوانه را نسبت به کشت رایج افزایش دهند؛ اما کشاورزانی که قضاوت‌های ذهنی‌شان در گروه دوم قرار می‌گیرد، برای رسیدن به یک الگوی کشت حتمی‌تر، بهتر است برنج طارم و گوجه‌فرنگی را در الگوی کشت خود قرار دهند. این نتیجه با واقعیت‌های منطقه و ویژگی‌های دو محصول یادشده نیز سازگار است. برای نمونه، افزایش سطح کشت محصول برنج طارم را می‌توان به‌دلیل مصرف افراد بومی و همچنین، مصرف آن

در خارج از منطقه دانست. در واقع، حتی در شرایط غیرحتمی قیمت، به‌دلیل مصرف خانگی برنج طارم، این اطمینان از سوی کشاورز وجود دارد که اگر قیمت محصول تا حدی نزول کند، مشتری باز هم وجود دارد. ولی برای برنج شیرودی، به‌دلیل عدم مصرف ساکنان منطقه و حومه و عدم توافق با تجار در قیمت پیشنهادی، در شرایط نزول قیمت‌ها مشاهده شده است که این نوع برنج در انبارها مانده و موجب زیان کشاورزان شده است.

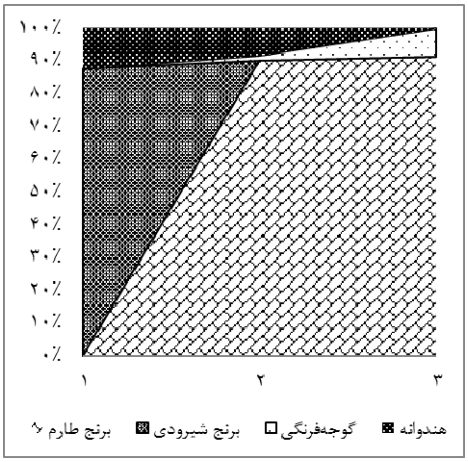
جدول ۳- مقایسه الگوی کشت رایج و بهینه در گروه کشاورزان کوچک‌مقیاس

محصولات (هکتار)	ادامه الگوی کشت رایج			نتیجه الگوی حداکثرسازی سود			نتیجه الگوی حداقل سازی عدم حتمیت		
	۱	۲	۳	۱	۲	۳	۱	۲	۳
برنج طارم	۰/۱۹۴	۰/۱۸۸	۰/۱۹۲	۰	۰/۵۳۲	۰/۵۳۲	۰	۰/۵۳۲	۰/۵۳۲
برنج شیرودی	۰/۳۲۲	۰/۳۱۲	۰/۳۱۹	۰/۵۰۶	۰	۰	۰/۵۳۲	۰	۰
گوجه فرنگی	۰/۰۲۸	۰/۰۲۷	۰/۰۲۷	۰	۰/۰۰۸	۰/۰۵۰	۰	۰/۰۳۹	۰
هندوانه	۰/۰۲۸	۰/۰۲۷	۰/۰۲۷	۰/۰۷۱	۰/۰۵۰	۰	۰/۰۳۹	۰	۰
سطح کشت کل	۰/۵۷۲	۰/۵۵۴	۰/۵۶۶	۰/۵۷۸	۰/۵۸۹	۰/۵۸۳	۰/۵۷۱	۰/۵۷۱	۰/۵۳۲
سود (۱۰ ریال)	۸۶۹۳۳۷۸	۶۹۰۵۴۹۹	۷۹۲۷۷۴۶	۹۴۹۸۲۶۴	۷۵۸۹۷۹۵	۸۲۵۴۲۹۱	۹۴۴۳۲۵۳	۷۴۷۲۱۵۴	۷۸۶۰۷۶۱
عدم حتمیت (۱۰ ریال)	-۶۹۸۳۰۹۹	-۵۳۱۹۳۲۶	-۱۶۳۲۶۸۶	-۷۵۳۵۹۴۲	-۶۳۸۹۸۷۴	-۲۶۷۷۸۳۴	-۷۶۶۸۴۹۸	-۶۴۸۳۳۶۵	-۲۸۵۲۲۸۶

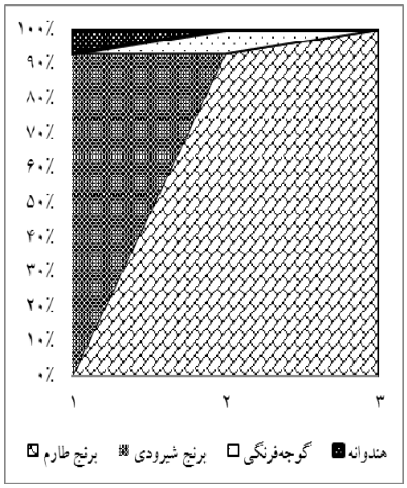
مأخذ: یافته‌های پژوهش

هرچند، گوجه‌فرنگی به لحاظ قیمت از محصولات پرنوسان به‌شمار می‌رود، ولی می‌توان دو دلیل عمده برای باقی ماندن آن در الگوی کشت مبتنی بر حداقل‌سازی عدم حتمیت ذکر کرد: یکی آنکه با توجه به محدودیت‌های مطرح‌شده در روش انجام پژوهش، کشاورزان منطقه اصولاً گوجه‌فرنگی و هندوانه را در باغ‌های یک تا سه‌ساله کشت می‌کنند و بنابراین، اگر سایر منابع تولید کشاورزی از جمله آب و سرمایه به کشاورز اجازهٔ کشت محصولاتی به غیر از شالی را دهد، به کشت محصولاتی مانند گوجه‌فرنگی و هندوانه هم می‌پردازد؛ در شرایطی که قضاوت‌های کشاورزان نوسان بالا برای قیمت‌ها و بارندگی را پیش‌بینی کند، آنها کشت گوجه‌فرنگی را بر هندوانه ترجیح می‌دهند؛ دیگر آنکه استفاده محصول گوجه‌فرنگی در صنایع تبدیلی و وجود مراکز خرید از سوی این صنایع در منطقه مورد مطالعه عدم حتمیت گوجه‌فرنگی را نسبت به هندوانه کمتر کرده است، چراکه هنگام کاهش قیمت گوجه‌فرنگی و هندوانه، باقی‌مانده‌ای پایین برای گوجه‌فرنگی در زمین‌های کشت‌شده مشاهده شده است، در حالی که در برخی مواقع، حتی بیش از نصف محصول هندوانه در مزارع منطقه به‌هدر می‌رود.

برای افراد با قضاوت‌های ذهنی پرنوسان، تنها کشت برنج طارم پیشنهاد شده است. برای این گروه از افراد، می‌توان گفت که با پیروی از الگوی کشت پیشنهادی، سود انتظاری آنها حدود ۷/۸۶ میلیون تومان خواهد بود و در صورت کاهش سود، با اطمینان ۹۵ درصد، سود کشاورز از ۲/۸۵ میلیون تومان کمتر نخواهد شد. اما برای افرادی که نوسان کمی را برای قیمت و عملکرد پیش‌بینی کرده‌اند، پیش‌بینی می‌شود که با کشت ۰/۵۳۲ هکتار برنج شیرودی و ۰/۰۳۹ هکتار هندوانه، به بازدهی انتظاری ۹/۴۴ میلیون تومانی دست یابند و در صورت کاهش سود، با اطمینان ۹۵ درصد، این سود از ۷/۶۷ میلیون تومان کمتر نمی‌شود. مقایسه میزان عدم حتمیت در شرایط پیروی از الگوی بهینه و ادامه الگوی کشت رایج نیز حاکی از کاهش شدید عدم حتمیت برای قضاوت‌های گروه سوم است، به‌گونه‌ای که با وجود کاهش حدود ۷۵ درصدی عدم حتمیت، سود آنها تنها حدود ۰/۸۵ درصد کاهش می‌یابد.



نمودار (۱-الف) نتیجه مدل حداکثرسازی سود



نمودار (۱-ب) نتیجه مدل حداقل‌سازی عدم حتمیت

نمودار ۱- مقایسه الگوی کشت بهینه با هدف حداکثرسازی سود و حداقل‌سازی عدم حتمیت در گروه‌های مختلف توزیع عدم حتمیت - گروه کشاورزان کوچک‌مقیاس

در الگوی کشت رایج منطقه، کشاورزان گروه بزرگ‌مقیاس بیشترین سهم کشت را به برنج شیرودی اختصاص داده و برنج طارم، هندوانه و گوجه‌فرنگی، به‌ترتیب، در رتبه‌های بعدی قرار گرفته‌اند. طبق جدول ۴، در صورت پیروی از الگوی حداکثرسازی سود انتظاری مبتنی بر قضاوت‌های ذهنی کشاورزان، برای افرادی که قضاوت‌های کم‌نوسان دارند، کشت برنج شیرودی و هندوانه پیشنهاد شده است؛ برای افراد دارای توزیع عدم حتمیت با نوسان متوسط، کشت برنج طارم، هندوانه و گوجه‌فرنگی، و برای افراد با نوسان بالا، کشت برنج طارم و گوجه‌فرنگی منجر به حداکثرسازی سود انتظاری کشاورز می‌شود. بر مبنای نتایج، ترکیب کشت محصولات برای کشاورزان بزرگ‌مقیاس مشابه کشاورزان کوچک‌مقیاس است. همچنین، نتیجه الگوی کشت در شرایط حداقل‌سازی عدم حتمیت نیز حاکی از مشابهت زیادی در الگوی کشت پیشنهادی گروه بزرگ‌مقیاس نسبت به گروه کوچک‌مقیاس در گروه‌های همگن درجه باور است. اما این توضیح لازم است که با وجود مشابهت در ترکیب کشت برای کشاورزان کوچک‌مقیاس و بزرگ‌مقیاس، سهم محصولات در الگوی کشت متفاوت است.

برای نمونه، در مورد کشاورزان بزرگ‌مقیاس که از قضاوت‌های ذهنی با نوسان کم پیروی می‌کنند، همانند گروه کوچک‌مقیاس، برنج شیرودی و هندوانه کشت می‌شود، ولی سهم کشت هندوانه نسبت به کشاورزان کوچک‌مقیاس کاهش یافته است. همچنین، برای افراد گروه ۲، اختصاص سهم بیشتری به برنج طارم آنها را به تقبل عدم حتمیت کمتر و کسب سود انتظاری قابل قبول سوق می‌دهد. در اینجا، سهم کشت گوجه‌فرنگی در الگوی کشت نسبت به کشاورزان کوچک‌مقیاس کاهش یافته است و در گروه محتاط‌تر، کشت گوجه‌فرنگی اصلاً پیشنهاد نمی‌شود. این نتیجه نشان می‌دهد که کشاورزان بزرگ‌مقیاس بهتر است به سمت الگوی کم‌تنوع‌تر پیش روند. این نتیجه با واقعیت‌های منطقه نیز سازگار است و از میان افرادی که مورد پرسشگری قرار گرفتند، بیشتر افرادی که مقیاس فعالیت آنها بزرگ بوده است، به سمت کشت تک‌محصولی برنج شیرودی یا برنج طارم گرایش داشته‌اند.

جدول ۳- مقایسه الگوی کشت رایج و بهینه در گروه کشاورزان بزرگ‌مقیاس

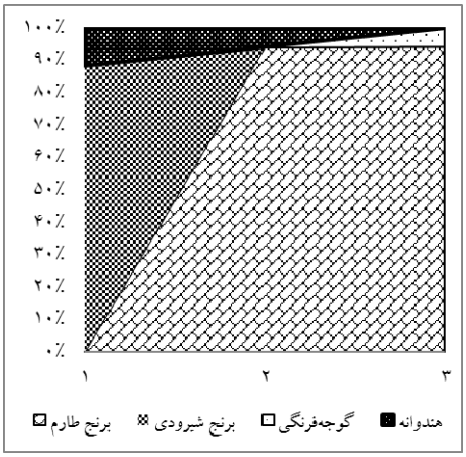
محصولات (هکتار)	ادامه الگوی کشت رایج			نتیجه الگوی حداکثرسازی سود			نتیجه الگوی حداقل‌سازی عدم حتمیت		
	۱	۲	۳	۱	۲	۳	۱	۲	۳
برنج طارم	۰/۵۰۵	۰/۵۰۵	۰/۴۹۵	۰	۱/۹۷۹	۱/۹۷۹	۰	۱/۹۷۹	۱/۹۷۹
برنج شیرودی	۱/۳۹۵	۱/۳۹۵	۱/۳۶۶	۱/۸۲۳	۰	۰	۱/۹۷۹	۰	۰
گوجه‌فرنگی	۰/۰۴۰	۰/۰۴۰	۰/۰۳۹	۰	۰/۰۰۸	۰/۱۲۵	۰	۰/۰۸۶	۰
هندوانه	۰/۰۸۵	۰/۰۸۵	۰/۰۸۳	۰/۲۴۲	۰/۱۲۲	۰	۰/۰۴۷	۰	۰
سطح کشت کل	۲/۰۲۴	۲/۰۲۴	۱/۹۸۲	۲/۰۶۶	۲/۱۰۹	۲/۱۰۵	۲/۰۲۶	۲/۰۶۵	۱/۹۷۹
سود (۱۰ ریال)	۳۱۹۴۷۶۵۵	۲۴۸۳۹۸۱۵	۲۸۳۴۱۵۰۱	۳۳۹۹۶۱۰۲	۲۷۵۴۰۳۱۹	۳۰۲۱۸۴۹۶	۳۳۶۶۴۱۷۰	۲۷۲۵۱۵۹۱	۲۹۲۳۹۶۷۳
عدم حتمیت (۱۰ ریال)	-۲۵۹۵۲۸۰۹	-۱۹۰۰۷۹۶۱	-۵۶۷۴۸۳۵	-۲۷۰۴۱۵۱۱	-۲۳۶۲۱۴۲۰	-۱۰۱۷۵۷۳۵	-۲۷۸۴۱۳۳۵	-۲۳۸۵۰۸۷۷	-۱۰۶۰۹۶۴۷

مأخذ: یافته‌های پژوهش

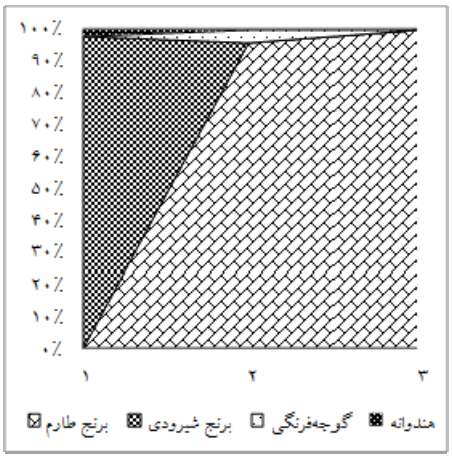
بر پایهٔ نتایج به‌دست‌آمده، در شرایطی که شانس بارش باران ۹۵ درصد باشد و کشاورزان بزرگ‌مقیاس دارای باورهای پرنوسان نسبت به قیمت محصولات و بارندگی تنها با کشت برنج طارم به میزان ۱/۹۷۹ هکتار و عدم کشت سایر محصولات، انتظار سودی در حدود

۲۹/۲۴ میلیون تومان خواهند داشت و در صورت کاهش سود، با شانس ۹۵ درصد می‌توان گفت که سود آنها از حدود ۱۰/۶۱ میلیون تومان کمتر نخواهد شد.

در یک مقایسه کلی بین کشاورزان بزرگ‌مقیاس و کوچک‌مقیاس، می‌توان گفت که در صورت پیروی از الگوی کشت بهینه، کشاورزان بزرگ‌مقیاس تقریباً به ازای هر هکتار زمین، سود بیشتری کسب می‌کنند، که مبین صرفه‌های ناشی از مقیاس است. همچنین، کشاورزان بزرگ‌مقیاس به ازای کسب هر واحد سود انتظاری، عدم حتمیت کمتری نیز متقبل می‌شوند. بنابراین، می‌توان نتیجه گرفت که هنگام عدم حتمیت، زیان‌های بیشتری در کمین کشاورزان کوچک‌مقیاس خواهد بود.



نمودار (۲-الف) نتیجه مدل حداکثرسازی سود



نمودار (۲-ب) نتیجه مدل حداقل‌سازی عدم حتمیت

نمودار ۲- مقایسه الگوی کشت بهینه با هدف حداکثرسازی سود و حداقل‌سازی عدم حتمیت در گروه‌های مختلف توزیع عدم حتمیت- گروه کشاورزان بزرگ‌مقیاس

نتیجه‌گیری و پیشنهادها

وجود عوامل غیرقابل کنترل پیرامون فعالیت کشاورزی این بخش را به مجموعه فعالیت‌هایی توأم با عدم قطعیت تبدیل می‌کند. نظر به اهمیت مسئله بهینه‌سازی فعالیت‌های

مزرعه در شرایط قیمت‌های غیرحتمی در کنار عدم حتمیت در متغیرهای اقلیمی نظیر بارندگی، هدف از انجام مطالعه حاضر استفاده از برنامه‌ریزی غیرحتمی به‌عنوان جایگزینی برای برنامه‌ریزی ریسکی در بهینه‌سازی الگوی کشت منطقه گهرباران ساری بوده است. بدین منظور، ابتدا درجه باور کشاورزان منطقه مورد مطالعه در مورد سطوح مختلف وقوع قیمت و بارندگی به روش تابع توزیع تجمعی (CDF) جمع‌آوری و سپس، با استفاده از آزمون نیکویی برازش، سه گروه درجه باور جامع برای قیمت‌ها و بارندگی تعیین شد. در ادامه، با توجه به رابطه عملکرد محصولات و بارندگی، توزیع عدم حتمیت عمکرد نیز مبتنی بر توزیع عدم حتمیت بارندگی محاسبه شد. با در اختیار داشتن تابع توزیع عدم حتمیت قیمت و عملکرد محصولات، محاسبهٔ درآمد انتظاری و در نتیجه، سود انتظاری هر محصول در قالب نظریه عدم حتمیت صورت گرفت. همچنین، برای سنجش و حداقل‌سازی عدم حتمیت، از شاخص ارزش در معرض خطر دنباله‌دار استفاده شد. نتایج نشان داد که در شرایط حداقل‌سازی عدم حتمیت، کشاورزان دارای توزیع باور کم‌نوسان بهتر است به سمت کشت برنج شیرودی و هندوانه متمایل شوند، اما کشاورزانی که توزیع باورشان حاکی از نوسان بالاتر برای قیمت و بارندگی است، برای دستیابی به یک سود حتمی‌تر، بهتر است برنج طارم و گوجه فرنگی را در الگوی کشت خود قرار دهند. این نتیجه با واقعیت‌های موجود در منطقهٔ مورد مطالعه نیز سازگار بوده و افراد محتاط‌تر از کشت برنج شیرودی و هندوانه گریزانند. در واقع، افراد این گروه، با اینکه ممکن است سود انتظاری بالا را برای محصولات یادشده پیش‌بینی کنند، به‌دلیل نوسان بالای این سود، از کشت این محصولات امتناع می‌ورزند. نتایج مطالعه حاکی از آن است که با پیروی از الگوی کشت پیشنهادی، در بدترین شرایط با اطمینان ۹۵ درصد، می‌توان گفت که برای کشاورزان کوچک‌مقیاس، در صورت اختصاص ۹۹/۸ درصد از زمین به کشت برنج طارم و ۰/۲ درصد به کشت گوجه‌فرنگی، سود آنها به ازای هر هزار مترمربع زمین زیر کشت حدود ۱/۴۷۷ میلیون تومان خواهد بود. همچنین، کشاورزان بزرگ‌مقیاس، در بدترین شرایط عدم حتمیت، با اختصاص صد درصد زمین خود به کشت محصول برنج طارم، می‌توانند انتظار

سودی در حدود ۱/۴۷۷ میلیون تومان داشته باشند. اما در سایر گروه‌های درجه باور، سودانتظاری به ازای هر واحد زمین برای کشاورزان بزرگ‌مقیاس بیش از کوچک‌مقیاس است. بنابراین، می‌توان گفت که کشاورزان کوچک‌مقیاس نسبت به کشاورزان بزرگ‌مقیاس باید نسبت به اختصاص منابع تولید به محصولات مورد مطالعه، با احتیاط بیشتری تصمیم‌گیری کنند. آنها می‌توانند به‌منظور کاهش اثر مخاطرات ناشی از عدم‌حتمیت‌های بازاری و اقلیمی، از ابزارهای پوشش ریسک نظیر کشت اشتراکی و بیمه و در صورت امکان، از قراردادهای آتی استفاده کنند. همچنین، نتایج مطالعهٔ حاضر می‌تواند برای مؤسسات مالی و بیمه در طراحی قراردادها و تعیین حق بیمه، مفید واقع شود. در واقع، معیار TVaR می‌تواند در تعیین حق بیمه مناسب به‌کارگیری شود. پیشنهاد می‌شود که مؤسساتی نظیر بیمه محصولات کشاورزی، برای تعیین حق بیمه مناسب، با شناخت باورهای ذهنی کشاورزان و به‌کارگیری روش TVaR، این فرآیند را تکرار کنند تا برای مناطق، محصولات و شرایط حتمیت گوناگون، به‌گونه‌ای به تعیین مبالغ قراردادهای خود بپردازند که هم کشاورزان با زیان مواجه نشوند و هم اینکه مؤسسه مالی در کسب درآمد از کارآیی لازم برخوردار باشد. با توجه به نتایج مطالعه، قضاوت‌های ذهنی در تصمیم‌گیری دربارهٔ تولید محصولات اثرگذار است و درجات مختلف باور منجر به تفاوت الگوی کشت می‌شود. به‌منظور ارائه یک الگوی کشت همگن به کشاورزان، لازم است که گرایش‌های ذهنی آنها به یک سمت سوق داده شود. در این راستا، برگزاری کلاس‌های آموزشی در زمینه عدم حتمیت‌های موجود و راه‌های مقابله با آن می‌تواند در همگن‌سازی ترجیحات ذهنی آنها مؤثر واقع شود.

در پایان، یادآوری می‌شود که نتایج مطالعه حاضر در شرایطی حاصل شده است که شاخص TVaR در سطح ۹۵ درصد بوده و برای بارندگی نیز شانس ۹۵ درصدی در نظر گرفته شده است. از این‌رو، تغییر شانس بارندگی و تغییر سطح اطمینان TVaR ممکن است به نتایج متنوع‌تر بینجامد؛ بنابراین، پیشنهاد می‌شود که در مطالعات آتی، این نکته مورد عنایت قرار گیرد. همچنین، در مطالعه حاضر، برتری نظریه عدم حتمیت نسبت به نظریه احتمال در

کمی‌سازی درجه باور در قالب مقایساتی در محاسبه ارزش انتظاری متغیر ضربی مورد بررسی قرار گرفته و برای تلخیص، از محاسبات مبتنی بر نظریه احتمال و برنامه‌ریزی ریسکی خودداری شده است، که البته در مطالعات دیگر قابل ارائه خواهد بود. همچنین، استفاده از سایر شاخص‌های پراکندگی شامل واریانس، نیم‌واریانس، ضریب تغییرات و سایر شاخص‌های مرتبط مبتنی بر اصول نظریه عدم حتمیت و انتخاب بهترین معیار از میان آنها نیز می‌تواند در مطالعات آتی مورد بحث قرار گیرد.

منابع

1. Agricultural Jihad Organization of Mazandaran Province, Office of statistics and information technology, (2016). (Persian)
2. Artzner, Ph., Delbaen, F., Eber, J.M. and Heath, D. (1997). Thinking coherently. *Risk*, 10: 68-71.
3. Cochran, C.B. (1977). Sampling techniques. New York: John Wiley.
4. Dillon, J.L. and Hrdaker, J.B. (1993). Farm management research for small farmer development. Rome: FAO.
5. Guo, H., Shi, H. and Wang, X. (2016). Dependent-chance goal programming for water resources management under uncertainty. *Scientific Programming*, Article ID 1747425: 1-7.
6. Hardaker, J.B., Hiurne, R.B.M. and Anderson, J.R. (1997). Coping with risk in agriculture. *Journal of Agricultural and Applied Economics*, 29(2): 437-438.
7. Hesamian, G., Peng, Z. and Chen. X. (2011). Goodness of fit test: a hypothesis test in uncertain statistics. Proceedings of the Twelfth Asia Pacific Industrial Engineering and Management Systems Conference, Beijing, China, October 14-16, pp. 978-982.
8. Holly, S. and Hughes Hallett, A. (1991). Optimal control, expectation and uncertainty. *The Economic Journa*l, 101(407): 976-978.
9. Hosseini, S.T., Joulaei, R., Shirani Bidabadi, F. and Eshraghi, F. (2016). Investigating the uncertainty of crops price and yield with positive mathematical programming in Neka. Sixth Conference of Agricultural and Sustainable Natural Resource, Tehran. (Persian)

10. Hosseini Yekani, S.A. and Kashiri Kolaei, F. (2017). Investigating the effect of crop price fluctuations on the optimal cropping pattern in Sari, *Journal of Agricultural Economics*, 11(2): 75-94. (Persian)
11. Huang, X. and Di, H. (2016). Uncertain portfolio selection with background risk. *Applied Mathematics and Computation*, 276: 284-296.
12. Huang, X. (2011). Mean-risk model for uncertain portfolio selection. *Fuzzy Optimization and Decision Making*, 10: 71-89.
13. Kay, R.D. (2012). Farm management. Translated by M. Arsalanbod. Urmia: Urmia University. (Persian)
14. Knight, FH. (1921). Risk, uncertainty, and profit. Boston: Houghton Mifflin.
15. Liu, B. (2007). Uncertainty theory. Second Edition. Berlin: Springer-Verlag.
16. Liu, B. (2009a). Some research problems in uncertainty theory. *Journal of Uncertain Systems*, 3(1): 3-10.
17. Liu, B. (2009b). Theory and practice of uncertain programming. Second Edn. Berlin: Springer-Verlag.
18. Liu, B. (2015). Uncertainty theory. Fourth Edition. Berlin: Springer-Verlag.
19. MAJ (2016). Gojarbaran Region. Ministry of Agriculture-Jahad (MAJ), Agriculture-Jahadhad of Miandoroud County, Office of Statistics and Information Technology. (Persian)
20. Moschini, G. and Hennessy, D.A. (2001). Uncertainty, risk aversion, and risk management for agricultural producers. In: B.L. Gardner, and G.C. Rausser (Eds), Handbook of Agricultural Economics, 1, Elsevier, pp. 88-153.
21. Officer, R.R. and Anderson, J.R. (1968). Risk, uncertainty and farm management decisions. *Review of Marketing and Agricultural Economics*, 36(1): 3-19.
22. Peng, J. (2013). Risk metrics of loss function for uncertain system. *Fuzzy Optimization and Decision Making*, 12(1): 53-64.
23. Torkamani, J. (2006). Measuring and incorporating farmers' personal beliefs and preferences about uncertain events in decision analysis: a stochastic programming experiment, *Indian Journal of Agricultural Economics*, 61(2): 185-199. (Persian)

24. Veresnikov, G.S., Pankova, L.A. and Pronina, V.A. (2017). Uncertain programming in preliminary design of technical systems whit uncertain parameters. *Procedia Computer Science*, 103: 36-43.
25. Wang, X. and Ning, Y. (2018). Uncertain chance-constrained programming model for project scheduling problem. *Journal of the Operational Research Society*, 69(3): 384-391.
26. Zamani, O., Ghaderzadeh, H. and Mortazavi, S.A. (2014). Cropping pattern system with respect to sustainable agriculture and optimum use of energy: a case of Saqqez County of Kurdistan province. *Agricultural Science and Sustainable Production*, 24(1): 31-43. (Persian)
27. Zhai, J. and Bai, M. (2018). Mean-risk model for uncertain portfolio selection with background risk. *Journal of Computational and Applied Mathematics*, 330: 59-69.