

ارزیابی اولویت سامانه‌های آبیاری قطره‌ای و لوله‌های کم‌فشار PVC سوراخ‌دار در باغ‌های

پسته استان کرمان مبتنی بر مدل تصمیم‌گیری بهینه‌سازی غیرخطی

اکرم سیفی^{۱*}، ناصر صداقتی^۲

تاریخ ارسال: ۱۳۹۹/۰۷/۲۱

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۹/۰۹/۱۱

چکیده

رتبه‌بندی قرار گرفتند. ارزیابی بر مبنای متغیرهای مهم کمی و کیفی مؤثر بر درختان پسته تحت هر سامانه شامل سطح برگ، طول رشد شاخه سال جاری، عملکرد محصول، درصد پوکی، درصد خندانی، انس میوه پسته و کارایی مصرف آب، انجام شد. مقادیر میانگین شاخص تصمیم نهایی سامانه‌های آبیاری قطره‌ای سطحی، قطره‌ای زیرسطحی و لوله‌های PVC سوراخ‌دار کم‌فشار به ترتیب برابر با ۰/۵۷، ۰/۵۲ و ۰/۵۱ در روش GRA-TOPSIS-Entropy محاسبه شد که اختلاف معناداری نداشتند. نتایج حاکی از اولویت سامانه‌های قطره‌ای سطحی و سپس لوله‌های کم‌فشار PVC سوراخ‌دار در منطقه مورد مطالعه بود. نتایج درجه تشخیص به عنوان شاخصی برای بررسی پایداری و قابلیت اطمینان دو روش GRA-TOPSIS-Entropy و PCA به ترتیب برابر با ۱/۱۰ و ۱/۰۸ محاسبه شد که نشان‌دهنده قابل قبول بودن رتبه‌های حاصل از دو روش می‌باشد. بر اساس

اهمیت کشاورزی پسته و کمبود آب، ضرورت انتخاب سامانه آبیاری مناسب به عنوان یک نیروی محرکه مهم برای ارتقا کشاورزی را آشکارتر می‌سازد. بنابراین ارزیابی اولویت سامانه‌های آبیاری باغ‌های پسته به عنوان موضوعی کاربردی و مفید در حوزه آب و اقتصاد محسوب می‌شود. در تحقیق حاضر، به منظور رتبه‌بندی سامانه‌های خردآبیاری نوین در باغ‌های پسته، از روش تصمیم‌گیری چندمعیاره ترکیبی تحلیل روابط خاکستری-تاپسیس-آنتروپی (GRA-TOPSIS-Entropy) استفاده و نتایج رتبه‌های سامانه‌ها با رتبه‌های حاصل از روش تحلیل مؤلفه‌های اصلی (PCA) مورد مقایسه قرار گرفت. بدین منظور ۷ سامانه آبیاری قطره‌ای سطحی، ۴ سامانه آبیاری قطره‌ای زیرسطحی و ۲ سامانه آبیاری لوله‌های کم‌فشار PVC سوراخ‌دار مورد استفاده در باغ‌های پسته استان کرمان مورد ارزیابی و

^۱ استادیار، گروه علوم و مهندسی آب، دانشگاه ولیعصر (عج) رفسنجان، ایران

* نویسنده مسئول: a.seifi@vru.ac.ir

^۲ استادیار پژوهشی، پژوهشکده پسته، مؤسسه تحقیقات علوم باغبانی، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، رفسنجان، ایران

نتایج تحقیق حاضر، استفاده از روش ترکیبی GRA-TOPSIS-Entropy با منطق ریاضی و بهینه‌سازی غیرخطی قوی می‌تواند در انتخاب صحیح سامانه آبیاری باغ‌های پسته مؤثر واقع شود.

واژه‌های کلیدی: آنتروپی، تحلیل روابط خاکستری، پسته، درجه تشخیص، کارایی مصرف آب

مقدمه

پسته از مهم‌ترین محصولات صادراتی در مناطق خشک و نیمه‌خشک ایران است. در دهه‌های اخیر، افزایش قابل ملاحظه سطح زیر کشت پسته و برداشت بی‌رویه از منابع آب زیرزمینی سبب شده تا کمیت و کیفیت آب‌های زیرزمینی کاهش یابد. این وضعیت نگرانی‌های زیادی را برای کشاورزان به همراه داشته است (Bagheri *et al.*, 2012). بنابراین مدیریت بهینه و راهبردی کاربرد آب در باغ‌های پسته به منظور دستیابی به عملکرد قابل قبول و استفاده مفید از منابع آب و خاک، مورد علاقه پژوهشگران این بخش می‌باشد (Pourmohammadali *et al.*, 2019). با توجه به کمبود منابع آب و نیاز به بررسی و ارتقای سامانه‌های آبیاری، لازم است تا در مورد سامانه‌های آبیاری باغ‌های پسته و ارزیابی آن‌ها مطالعاتی صورت گیرد تا بتوان راهکارهای مناسب را اتخاذ و نسبت به بالا بردن بهره‌وری مصرف آب اقدام نمود (مریدنژاد و همکاران، ۱۳۹۴). در سال‌های اخیر، به دلیل پایین بودن راندمان آبیاری

سطحی در باغ‌های پسته ایران، روش‌های آبیاری تحت فشار (قطره‌ای سطحی، قطره‌ای زیرسطحی و بابلر) و کم فشار توسعه یافته‌اند که به عنوان قدمی مؤثر در بالا بردن راندمان کاربرد آب محسوب می‌شوند (صدقاتی و همکاران، ۱۳۹۱). از طرفی، خشکسالی‌ها و برداشتهای بی‌رویه سبب شده است که حقایق کشاورزان کاهش یابد و بنابراین تغییر روش آبیاری از سطحی به سامانه‌های آبیاری نوین تحت فشار و کم‌فشار در دستور کار دولت و متولیان آب کشور قرار گرفته است (مریدنژاد و همکاران، ۱۳۹۴).

یکی از راهکارهای افزایش راندمان استفاده از آب، انتخاب سامانه‌های مناسب آبیاری است. با توجه به تعدد سامانه‌های آبیاری، کشاورزان در انتخاب بهترین و مناسب‌ترین آن‌ها دچار مشکل و تردید می‌شوند (مجنونی هریس و همکاران، ۱۳۹۶). عدم انتخاب سامانه آبیاری بهینه از سوی کشاورز باعث اتلاف وقت و هزینه، عدم بهره‌وری مناسب استفاده از نهاده‌ها و اتلاف منابع آب و خاک می‌شود (هادی‌زاده، ۱۳۸۵). با توجه به تنوع و فراوانی سامانه‌های آبیاری، لازم است تا اولویت‌بندی سامانه‌های آبیاری نوین با توجه به عملکرد و کیفیت محصول پسته انجام و کارآمدترین روش معرفی گردد. بررسی‌ها نشان می‌دهند که در بیشتر مطالعات از روش تحلیل سلسله مراتبی (Analytic Hierarchy Process, AHP) برای بررسی و انتخاب سامانه‌های آبیاری مناسب در مناطق مختلف استفاده

غیرخطی و محاسبات آسان، به طور گسترده‌ای در مطالعات مختلف مورد پذیرش قرار گرفته است. اما گاهی اوقات به دلیل روابط خاکستری بین شاخص‌ها، کمبود اطلاعات واضح و کافی یا مشکلات مرتبط با داده‌ها، با محدودیت‌هایی مواجه است و قادر به ارزیابی مسائل پیچیده و مبهم نمی‌باشد (Jiang *et al.*, 2015). همچنین روش Topsis، پیچیدگی ارتباط بین شاخص‌ها را مورد ارزیابی قرار نمی‌دهد. از این رو، برای اجتناب از اتلاف منابع و بهبود دقت نتایج، GRA روشی مناسب برای تحلیل و اولویت‌بندی محسوب می‌شود. اثبات شده است که روش GRA در برخورد با اطلاعات غیرقطعی، ناقص و ضعیف روشی مفید می‌باشد. در این روش، روابط غیرخطی بین شاخص‌ها و میزان همبستگی موجود بین فاکتورهای یک سیستم تحلیل می‌شود (Liu *et al.*, 2019). روش GRA قادر به تعیین شباهت روند تغییرات بین دو مجموعه داده است. در واقع این روش با محاسبه دو شاخص نزدیکی فاصله و شباهت، مقایسه بین داده‌ها را در سطح وسیع‌تری انجام می‌دهد (Hui & Bifeng, 2009).

وزن‌دهی شاخص‌های مورد ارزیابی، یکی از گام‌های اساسی روش‌های رتبه‌بندی Topsis و GRA محسوب می‌شود. روش آنتروپی (Entropy) یک روش وزن ثابت است که با محاسبه وزن نسبی هر شاخص یا متغیر بر اساس اطلاعات ماتریس ارزیابی، اهمیت نسبی هر متغیر بر داده‌های هدف را مشخص می‌کند. از

شده است (فرهادی بانسوله و همکاران، ۱۳۹۶؛ Karami, 2006؛ Montazar & Behbahani, 2007؛ Neissi *et al.*, 2019؛ Neissi *et al.*, 2020). علیرغم کاربرد گسترده AHP، این روش دارای محدودیت‌هایی از جمله وابستگی به نظرات فردی و کارشناسی و همچنین ارتباط یکطرفه بین عناصر تصمیم است (آریا آذر و مجنون‌هریس، ۱۳۹۸).

لزوم اتخاذ بهترین تصمیم‌ها و شیوه‌های مدیریتی سامانه‌های آبیاری باغ‌های پسته، سبب اهمیت یافتن فنون تصمیم‌گیری چندمعیاره (Multi-Criteria Decision Making, MCDM) شده است (آریا آذر و مجنون‌هریس، ۱۳۹۸). هدف اصلی روش‌های MCDM، رتبه‌بندی و انتخاب گزینه برتر می‌باشد. روش‌های تحلیل روابط خاکستری (Grey Relational Analysis, GRA)، تاپسیس (Technique for Order-Preference by Similarity to Ideal Solution, Topsis) و تحلیل مؤلفه‌های اصلی (Component Analysis, PCA) از جمله روش‌های زیرمجموعه MCDM هستند. روش Topsis با ساختار ریاضی قوی، رتبه‌بندی را بر مبنای نزدیکی به جواب ایده‌آل مثبت و دورترین فاصله از جواب ایده‌آل منفی انجام می‌دهد (آذر و رجب‌زاده، ۱۳۸۱). این روش به دلیل ارائه نتایج رتبه‌بندی کامل، قابلیت ترکیب با تحلیل‌های تصادفی، وابستگی به وزن و داده‌های هدف برای محاسبه فاصله نسبی، قابلیت استفاده در مسائل

انعطاف‌پذیری ترکیب منابع آب و خاک کشاورزی با اطلاعات ذاتی متغیر یا شاخص تعیین می‌کند، حذف دخالت‌های انسانی از مزایای آن محسوب می‌شود و نقش شاخص‌ها را در ارزیابی منعکس می‌کند (Li et al., 2012b). بر اساس تئوری اطلاعات، آنتروپی بیانگر اطلاعات مفید متغیرهای ارزیابی است. هر چه مقدار آنتروپی یک متغیر بیشتر باشد، اطلاعات مفیدتری از متغیر بیان می‌شود (Hsu & Hsu, 2008). از این رو، این روش در مطالعات مرتبط با کشاورزی و علوم محیطی بسیار مورد استفاده قرار می‌گیرد (سیفی و سروش، ۱۳۹۸؛ Zhang & Fan, 2001؛ Li et al., 2012a؛ Amiri et al., 2014). روش PCA روشی غیرپارامتریک است که می‌توان از آن برای استخراج اطلاعات مهم از مجموعه داده‌های پیچیده چندمتغیره استفاده کرد (Yeater et al., 2015). از نمودارهای PCA می‌توان برای نمایش روابط متقابل در یک مجموعه داده استفاده کرد. از مزیت این نمودارها، استخراج اطلاعات اصلی از مجموعه داده‌ها به منظور تجزیه و تحلیل همبستگی همه متغیرها به طور همزمان می‌باشد (Kenkel, 2006).

بر اساس مطالعات نویسندگان، تاکنون از روش PCA نیز برای رتبه‌بندی استفاده نشده است که در این تحقیق، به عنوان تکنیکی ساده برای اولویت‌بندی سامانه‌های آبیاری باغ‌های پسته بکار برده شده است. از روش‌های ترکیبی در مطالعات متعددی از جمله ارزیابی

انعطاف‌پذیری ترکیب منابع آب و خاک کشاورزی با GRA-TOPSIS (Liu et al., 2019)، رتبه‌بندی کیفی گونه‌های مختلف علوفه در کانادا با PCA-TOPSIS (Zhang et al., 2018)، رتبه‌بندی سطوح مختلف حجم آب آبیاری قهوه عربی با PCA-TOPSIS (Liu et al., 2018)، ارزیابی فنی و اقتصادی سامانه آبیاری بارانی با GRA-AHP (Tu et al., 2014) و ساده‌سازی پارامترهای فرآیند بهینه‌سازی با GRA-PCA (Khan et al., 2010) استفاده شده است. با وجود تحقیقات انجام شده در زمینه مقایسه و ارزیابی عملکرد سامانه‌های آبیاری، تاکنون کمتر به اولویت‌بندی سامانه‌های نوین آبیاری باغ‌های پسته در مناطق خشک و نیمه‌خشک ایران و با استفاده از روش‌های نوین و قوی ترکیبی MCDM پرداخته شده است. به همین دلیل در تحقیق حاضر از رویکرد ترکیبی GRA مبتنی بر TOPSIS و آنتروپی و روش PCA به منظور ارائه چهارچوب رتبه‌بندی سامانه‌های آبیاری تحت فشار باغ‌های پسته استفاده شده است. روش ترکیبی پیشنهادی GRA-TOPSIS-Entropy روشی برای تجزیه و تحلیل تصمیم‌گیری چندمعیاره یکپارچه است. مزیت این روش تعیین روابط متقابل همه جانبه و جامع بین شاخص‌های کیفی و نمایش نقش شاخص‌های مختلف در ارزیابی است. تکنیک‌های کاربردی در تحقیق حاضر، قادر به تلفیق شاخص‌های مختلف با ویژگی‌های مثبت و منفی در یک شاخص جامع و معتبر

اساس نقشه‌های پهنه‌بندی شوری نشان داده شده است، مقادیر شوری در اکثر نقاط پسته‌خیز استان کرمان (شامل شهر بابک، انار، سیرجان، کرمان و زرنند) بیش از ۱/۵ دسی‌زیمنس بر متر می‌باشد که بیش از حد مجاز اغلب محصولات کشاورزی می‌باشد. اما در این مناطق، برای مقادیر هدایت الکتریکی آب آبیاری تا ۶ دسی‌زیمنس بر متر نیز طراحی آبیاری قطره‌ای انجام و با مدیریت مناسب قابل اجرا است. همچنین مشاهدات منطقه‌ای نشان داده است برای مقادیر شوری زیاد، استفاده از سامانه‌های زیرسطحی کم فشار با لوله‌های PVC به خوبی قابل استفاده است.

ب- روش ترکیبی GRA-TOPSIS-Entropy

روش GRA توسط Deng در سال ۱۹۸۲ پایه‌ریزی شده است. روش GRA برای تحلیل عدم قطعیت‌های موجود در سیستم و همبستگی بین سیستم‌ها بکار برده می‌شود. این روش، یک نظریه ریاضی است که از مفهوم مجموعه خاکستری گرفته شده است و یکی از بهترین روش‌ها برای حل مسائل عدم قطعیت با اطلاعات ناکافی و داده‌های مجزا است (Rajeswari & Amirthagadeswaran, 2017; Baranitharan *et al.*, 2019). از این روش به دلیل سادگی و توانایی آن در ارزیابی پاسخ در زمان لازم، بیشتر در مسائل مهندسی استفاده می‌شود. روش GRA از روش‌های MCDM محسوب می‌شود که یک مسئله تک هدفه را به یک مسئله بهینه‌یابی انتقال می‌دهد. در

می‌باشند که یک ویژگی مهم محسوب می‌شود. بنابراین مهم‌ترین اهداف تحقیق حاضر شامل (۱) استفاده از مدل تصمیم‌گیری چندمعیاره ترکیبی GRA-TOPSIS-Entropy برای رتبه‌بندی سامانه‌های آبیاری نوین موجود در باغ‌های پسته، (۲) کاربرد مدل PCA در اولویت‌بندی سامانه‌های آبیاری باغ‌های پسته و مقایسه نتایج آن با مدل ترکیبی است.

مواد و روش‌ها

الف- منطقه مورد مطالعه

در این تحقیق، از اطلاعات ۱۳ سامانه آبیاری قطره‌ای سطحی، قطره‌ای زیرسطحی و لوله‌های زیرسطحی کم‌فشار (لوله‌های PVC سوراخ‌دار) ارزیابی شده در باغ‌های پسته شهرستان‌های کرمان، رفسنجان، انار و سیرجان استان کرمان استفاده شد. بدین منظور از اطلاعات موجود در مطالعه صداقتی و همکاران (۱۳۹۸)، صداقتی و همکاران (۱۳۹۴)، سیفی (۱۳۹۳) و صداقتی و همکاران (۱۳۹۱) استفاده شد. اطلاعات مربوط به مکان اجرای طرح‌ها و هدایت الکتریکی آب آبیاری در جدول ۱ و مشخصات مربوط به نوع سامانه در جدول ۲ ارائه شده است. بر اساس جدول ۱، ملاحظه می‌شود که شوری آب آبیاری در اکثر موارد بیشتر از ۳ دسی‌زیمنس بر متر است که آب با کیفیت مناسب برای آبیاری محسوب نمی‌شود (Ayers & Westcot, 1985). همانطور که در تحقیق سروش و سیفی (۱۳۹۸) بر

جدول ۱- مشخصات مکان اجرای سامانه‌های آبیاری باغ‌های پسته.

نوع سامانه آبیاری	علامت اختصاری	مکان اجرا	رقم پسته	فاصله کاشت (m×m)	سن درختان (سال)	هدایت الکتریکی آب آبیاری (dS/m)
قطره‌ای سطحی	DI-1	ایستگاه	اوحدی	۳×۷	۳۰	۴/۷
قطره‌ای زیرسطحی	SDI-1	تحقیقات				
قطره‌ای زیرسطحی	SDI-2	پسته کرمان				
زیرسطحی کم فشار با لوله PVC	LP-SI-1	امین شهر	اکبری	۲/۵×۷	۲۵	۱۱/۸
زیرسطحی کم فشار با لوله PVC	LP-SI-2	انار				
قطره‌ای زیرسطحی	SDI-3	ایزدآباد	احمدآقایی	۱×۶	۱۵	۲/۵
قطره‌ای زیرسطحی	SDI-4	سیرجان				
قطره‌ای سطحی	DI-2	حومه غربی رفسنجان	فندق	۲×۱۰	۳۵	۵/۴
قطره‌ای سطحی با خاکپوش پلاستیکی سفید	DI-WC-1					
قطره‌ای سطحی با خاکپوش پلاستیکی سیاه	DI-BC-1					
قطره‌ای سطحی	DI-3	۱×۷				۵/۲
قطره‌ای سطحی با خاکپوش پلاستیکی سفید	DI-WC-2					
قطره‌ای سطحی با خاکپوش پلاستیکی سیاه	DI-BC-3					

جدول ۲- مشخصات سامانه‌های آبیاری اجرا شده در باغ‌های پسته.

سامانه آبیاری	نوع آرایش لوله‌ها	عمق نصب لوله (cm)	قطر لوله (mm)	فاصله لوله از درخت (m)	نوع قطره-چکان	دبی قطره‌چکان (lit/hr)	فاصله قطره‌چکان‌ها یا روزنه‌ها (m)	دور آبیاری (روز)
DI-1		-			نتافیم خودشوینده	۴		
SDI-1	دو ردیفه	۳۰	۱۶	۱	داخل خط -		۱	۱۲
SDI-2		۵۰			موندراگون اسپانیا	۲-۴		
LP-SI-1	یک ردیفه	۴۰	۱۱۰	۱/۲	روزنه روی لوله PVC	-	۰/۲۵	۱۲
LP-SI-2								۲۴
SDI-3					یورودریپ			۳
SDI-4	دو ردیفه	۴۰	۱۶	۱/۱	تنظیم کننده فشار	۲	۰/۸	۱۴
DI-2								
DI-WC-1				۱/۲				۸
DI-BC-1	دو ردیفه	-	۱۶		نتافیم خودشوینده	۴	۱	
DI-3								
DI-WC-2				۱/۵				۱۲
DI-BC-3								

وزن‌ها بر مبنای روش ریاضی آنتروپی شانون استخراج می‌شوند. مراحل محاسباتی روش ترکیبی تحقیق حاضر به صورت زیر می‌باشد (Li et al., 2012; Liu et al., 2019; Das & Chakraborty, 2020):

مرحله ۱: تشکیل ماتریس اولیه با m داده و n معیار یا متغیر (معادله ۱)، مرحله ۲: نرمال‌سازی ماتریس اولیه (معادله ۲)، مرحله ۳: محاسبه مقدار نسبی هر پارامتر j در هر نمونه i (معادله ۳)، مرحله ۴: محاسبه آنتروپی اطلاعات (معادله ۴)، مرحله ۵: محاسبه وزن هر پارامتر (معادله ۵)، مرحله ۶: محاسبه ماتریس نرمال وزن‌دهی شده (معادله ۶)

$$A = [a_{ij}]_{m \times n} = \begin{bmatrix} a_{11} & a_{12} & \dots & a_{1n} \\ a_{21} & a_{22} & \dots & a_{2n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ a_{m1} & a_{m2} & \dots & a_{mn} \end{bmatrix} \quad (1)$$

$$N = [n_{ij}]_{m \times n} = \frac{a_{ij}}{[\sum_{i=1}^m a_{ij}^2]^{\frac{1}{2}}} \quad (2)$$

$$(i = 1, 2, \dots, m; j = 1, 2, \dots, n)$$

$$P_{ij} = \frac{a_{ij}}{\sum_{i=1}^m a_{ij}} \quad (3)$$

$$e_j = -\frac{1}{\ln m} \sum_{i=1}^m P_{ij} \ln P_{ij} \quad (4)$$

$$w_j = \frac{1 - e_j}{\sum_{j=1}^n (1 - e_j)} \quad (5)$$

$$R = [a_{ij}]_{m \times n} = w_j \times N \quad (6)$$

که a_{ij} نشان‌دهنده مقادیر مشاهداتی نمونه‌ها برای $i = 1, 2, \dots, m$ و $j = 1, 2, \dots, n$ ، w_j بیانگر وزن آامین معیار و N نشان‌دهنده ماتریس تصمیم نرمال شده می‌باشند.

تکنیک GRA، به منظور تفسیر و تحلیل آسان داده‌ها، همه پاسخ‌های خروجی بین صفر و یک نرمال می‌شوند (Baranitharan et al., 2019). روش TOPSIS توسط Anupam (Hwang & Yoon, 1981) مطرح شده است (Anupam et al., 2014). این روش، از روش‌های MCDM است که برای ارزیابی بهتر نتایج بهینه در بین گزینه‌های متعدد راه‌حل‌ها، ارائه شده است. روش TOPSIS با ایده انتخاب گزینه بهینه با کم‌ترین فاصله از توالی‌های ایده‌آل مثبت و حداکثر فاصله از نتایج ایده‌آل منفی برای حل مسائل MCDM مطرح شده است. توالی‌های ایده‌آل مثبت، مجموعه‌ای از همه بزرگترین مقادیر هستند در حالی که دورترین نتایج ایده‌آل توسط ضعیف‌ترین مقادیر معیار بدست می‌آید. بر اساس تکنیک TOPSIS، همه جواب‌ها به خصوصیات مفید و غیرمفید مجزا می‌شوند. هر چه خصوصیات مفید بزرگتر و خصوصیات غیرمفید کوچکتر باشند، بهتر است (Baranitharan et al., 2019).

روش GRA-TOPSIS-Entropy از ترکیب شاخص نزدیکی روابط خاکستری برای اندازه‌گیری درجه شباهت بین توالی داده‌ها (Liu et al., 2019)، TOPSIS برای برآورد فاصله بین توالی آن داده‌ها (Hwang & Yoon, 1981) و آنتروپی برای وزن‌دهی پارامترها حاصل می‌شود. در روش ترکیبی تحقیق حاضر (GRA-TOPSIS-Entropy)، برای کاهش اثرات دخالت فردی در رتبه‌بندی‌ها و مرتفع نمودن این مشکل،

$$S_i^+ = \sqrt{\sum_{j=1}^n (r_{ij} - r_j^+)^2}, \quad (9)$$

$$S_i^- = \sqrt{\sum_{j=1}^n (r_{ij} - r_j^-)^2} \quad (i = 1, 2, \dots, m)$$

مرحله ۱۰: نرمال‌سازی مقادیر فاصله اقلیدسی

و درجه همبستگی حل‌های ایده‌آل مثبت و منفی

$$\tilde{S}_i^+, \tilde{S}_i^-, \tilde{G}_i^+, \tilde{G}_i^- \quad (10)$$

$$= \frac{S_i^+, S_i^-, G_i^+, G_i^-}{\max\{S_i^+, S_i^-, G_i^+, G_i^-\}}$$

$$(i = 1, 2, \dots, m; \quad j = 1, 2, \dots, n)$$

مرحله ۱۱: محاسبه شاخص نزدیکی فاصله (\tilde{S}_i)

و شاخص نزدیکی شباهت (\tilde{G}_i) که در دامنه صفر تا ۱

قرار می‌گیرند.

$$\tilde{S}_i = \frac{\tilde{S}_i^+}{\tilde{S}_i^+ + \tilde{S}_i^-}, \quad \tilde{G}_i = \frac{\tilde{G}_i^+}{\tilde{G}_i^+ + \tilde{G}_i^-} \quad (11)$$

مرحله ۱۲: محاسبه شاخص تصمیم نهایی (U_i).

این شاخص از تجمیع شاخص‌های نزدیکی فاصله و

نزدیکی شباهت با استفاده از مدل برنامه‌نویسی

غیرخطی به صورت زیر حاصل می‌شود

$$\min \sum_{i=1}^m [(\alpha_i)^2 + (\beta_i)^2] \quad (12)$$

Subject to

$$\alpha_i = U_i - \tilde{S}_i \quad \beta_i = U_i - \tilde{G}_i$$

$$i = 1, 2, \dots, m$$

$$\min(\tilde{S}_i, \tilde{G}_i) \leq U_i$$

$$\leq \max(\tilde{S}_i, \tilde{G}_i) \quad \text{and}$$

$$0 \leq U_i \leq 1$$

مرحله ۷: محاسبه حل‌های ایده‌آل مثبت

$$R^+ = \{r_1^+, r_2^+, \dots, r_n^+\} \quad \text{و} \quad R^- = \{r_1^-, r_2^-, \dots, r_n^-\}$$

$$\{r_1^-, r_2^-, \dots, r_n^-\}$$

$$r_j^- = \text{و} \quad r_j^+ = \max\{r_{ij}, i = 1, 2, \dots, m\} \quad \text{از}$$

فاصله $\min\{r_{ij}, i = 1, 2, \dots, m\}$ برای معیارهای

بیشتر-بهرتر و از $r_j^+ = \min\{r_{ij}, i = 1, 2, \dots, m\}$

برای معیارهای $r_j^- = \max\{r_{ij}, i = 1, 2, \dots, m\}$

فاصله کمتر-بهرتر استفاده می‌شود.

مرحله ۸: محاسبه درجه همبستگی خاکستری

برای هر گزینه با توجه به فاصله هر معیار از راه‌حل‌های

ایده‌آل مثبت و منفی

$$G_i^+ = \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n g_{ij}^+, \quad \text{where } g_{ij}^+ \quad (7)$$

$$= \frac{\min_j \min_i |r_j^+ - r_{ij}| + \delta \max_i \max_j |r_j^+ - r_{ij}|}{|r_j^+ - r_{ij}| + \delta \max_i \max_j |r_j^+ - r_{ij}|}$$

$$G_i^- = \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n g_{ij}^-, \quad \text{where } g_{ij}^- \quad (8)$$

$$= \frac{\min_j \min_i |r_j^- - r_{ij}| + \delta \max_i \max_j |r_j^- - r_{ij}|}{|r_j^- - r_{ij}| + \delta \max_i \max_j |r_j^- - r_{ij}|}$$

که g_{ij}^+ و g_{ij}^- به ترتیب ضرایب همبستگی

خاکستری فواصل محاسبه شده برای هر معیار، از

حل‌های ایده‌آل مثبت و منفی و δ ضریب تمایز با مقدار

بین صفر تا ۱ است که معمولاً برابر با ۰/۵ لحاظ می‌شود.

مرحله ۹: برآورد فاصله اقلیدسی حل‌های

ایده‌آل مثبت (S_i^+) و منفی (S_i^-)

$$X = \begin{bmatrix} x_{11} & x_{12} & \dots & x_{1p} \\ x_{21} & x_{22} & \dots & x_{2p} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ x_{p1} & x_{p2} & \dots & x_{pp} \end{bmatrix}$$

که در آن x_{st} ضریب همبستگی بین a_s و a_t می‌باشد.

مرحله ۴: محاسبه مقادیر ویژه $(\lambda_1, \lambda_2, \dots, \lambda_k)$ و بردارهای ویژه متناظر (U_1, U_2, \dots, U_k) از ماتریس ضرایب X .

مرحله ۵: محاسبه نرخ واریانس تجمعی (E) و مؤلفه اصلی در حداقل مقدار p :

$$E = \frac{\sum_{p=1}^p \lambda_p}{\sum_{k=1}^k \lambda_k} \quad (15)$$

$$Z_k = \sum_{j=1}^j U_{kj} a_{kj}$$

$$(k = 1, 2, \dots, p)$$

که در آن U_{kj} مقدار ژامین بردار ویژه U_k و a_{kj} مقادیر استاندارد شده ژامین شاخص در k امین نمونه است.

مرحله ۶: محاسبه وزن مؤلفه اصلی e_k

$$e_k = \frac{\lambda_k}{\sum_{j=1}^j \lambda_j} \quad (16)$$

$$(k = 1, 2, \dots, p)$$

مرحله ۷: محاسبه شاخص ارزیابی جامع

$$Z = \sum_{k=1}^p e_k Z_k \quad (17)$$

د- شاخص ارزیابی مدل‌های رتبه‌بندی

در تحقیق حاضر برای بررسی پایداری، حساسیت و قابلیت اطمینان نتایج ارزیابی و رتبه‌بندی با دو روش مختلف PCA و GRA-TOPSIS-Entropy،

بیشترین مقدار U_i به عنوان بهترین گزینه انتخاب می‌شود. برنامه‌نویسی غیرخطی این مرحله، با ماژول Solver نرم‌افزار اکسل انجام شد.

ج- تحلیل مؤلفه‌های اصلی (PCA)

در این تحقیق به منظور بررسی ارتباط بین متغیرهای مورد مطالعه مرتبط با کمیت و کیفیت پسته، از روش PCA استفاده شد. محاسبات به صورت زیر خلاصه می‌شود (Liu et al., 2018):

مرحله ۱: ساخت ماتریس اولیه مطابق معادله ۱

مرحله ۲: استانداردسازی ماتریس اولیه و

ساخت ماتریس جدید

$$a_{ij} = \frac{(a'_{ij} - \bar{a}'_j)}{S'_j}, \bar{a}'_j = \frac{1}{m} \sum_{i=1}^m a'_{ij} \quad (13)$$

$$S'_j = \sqrt{\sum_{i=1}^m (a'_{ij} - \bar{a}'_j)^2 / (m - 1)}$$

$$(i = 1, 2, \dots, m; j = 1, 2, \dots, n)$$

که در آن a'_{ij} داده اولیه از ژامین متغیر و آمین نمونه، a_{ij} مقدار استاندارد شده a'_{ij} ، \bar{a}'_j مقدار متوسط ژامین متغیر و S'_j انحراف استاندارد ژامین متغیر می‌باشند.

مرحله ۳: محاسبه ضریب همبستگی بین

شاخص‌های ماتریس استاندارد و ساخت ماتریس ضریب

همبستگی X

$$x_{st} = \frac{\sum_{i=1}^m (a_{is} - \bar{a}_s)(a_{it} - \bar{a}_t)}{\sqrt{\sum_{i=1}^m (a_{is} - \bar{a}_s)^2 (a_{it} - \bar{a}_t)^2}} \quad (14)$$

$$(s, t = 1, 2, \dots, p),$$

نتایج خصوصیات کمی و کیفی درختان پسته مورد ارزیابی تحت سامانه‌های آبیاری قطره‌ای و لوله‌های کم‌فشار PVC سوراخ‌دار در جدول ۳ ارائه شده است. از اعداد موجود در جدول ۳ به منظور رتبه‌بندی سامانه‌های آبیاری استفاده شده است. نتایج مقادیر وزنی متغیرهای مورد ارزیابی باغ‌های پسته بر اساس محاسبات تئوری آنتروپی در شکل ۱ ارائه شده است. متغیرهایی با حداکثر وزن آنتروپی، بیشترین تأثیر را بر رتبه‌بندی سامانه‌های آبیاری دارند. ملاحظه می‌شود که بر اساس محاسبات آنتروپی، متغیر سطح برگ با وزن ۰/۲۴، بیش‌ترین تأثیر و متغیر طول سرشاخه‌های سال جاری با وزن ۰/۰۷، کم‌ترین تأثیر را بر رتبه‌بندی سامانه‌های آبیاری به روش‌های GRA-TOPSIS دارد. بر اساس تئوری آنتروپی، پس از متغیر سطح برگ، متغیرهای درصد خندانی، درصد پوکی و کارایی مصرف آب با وزن‌های به ترتیب برابر با ۰/۱۶، ۰/۱۶ و ۰/۱۶ بیشترین تأثیر را در رتبه‌بندی سامانه‌های آبیاری باغ‌های پسته دارند. مجموع وزن‌های آنتروپی متغیرها برابر با یک است.

از حاصل ضرب مقادیر وزن‌های آنتروپی در ماتریس نرمال اولیه، ماتریس نرمال وزندهی شده مطابق معادله ۶ بدست آمد که نتایج آن در جدول ۴ ارائه شده است. مقادیر حل‌های ایده‌آل مثبت (r^+) متغیرهای سطح برگ، عملکرد، درصد پوکی، درصد خندانی، انس، کارایی مصرف آب و طول سرشاخه‌های

از شاخص درجه تشخیص (Discrimination degree) استفاده می‌شود. بزرگ بودن مقدار درجه تشخیص حاکی از فاصله زیاد بین دو نتیجه ارزیابی است و در نتیجه احتمال طبقه‌بندی نادرست در رتبه‌بندی کمتر است. بعلاوه، مقدار درجه تشخیص زیاد بیانگر آنست که حساسیت روش ارزیابی کم و رتبه‌بندی قابل اطمینان‌تر و پایدارتر می‌باشد. معادلات محاسبه درجه تشخیص به صورت زیر می‌باشند (Yu et al., 2008):

$$D \quad (18)$$

$$= \frac{\sum_{i=1}^{m-1} \sqrt{(V_{i+1}^* - V_i^*)^2 + (N_{i+1} - N_i)^2}}{\sqrt{(V_m^* - V_1^*)^2 + (N_m - N_1)^2}}$$

$$= \frac{\sum_{i=1}^{m-1} \sqrt{(V_{i+1}^* - V_i^*)^2 + 1}}{\sqrt{2m^2 - 2m - 1}}$$

$$V_i^* = m \times \left(1 - \frac{|V_1 - V_i|}{V_1 - V_m} \right)$$

$$1 \leq i \leq m$$

که در آن، m تعداد موارد ارزیابی، V_i^* مقدار استاندارد شده آمین مقدار، V_i بیانگر مقادیر مرتب شده U و Z به صورت نزولی و N_i نشان‌دهنده رتبه متناظر آمین مقدار می‌باشند. اگر $1 \leq D \leq 1.5$ باشد، رتبه‌بندی قابل قبول است. اگر $D > 1.5$ باشد، رتبه‌بندی پایدار و مورد اطمینان است.

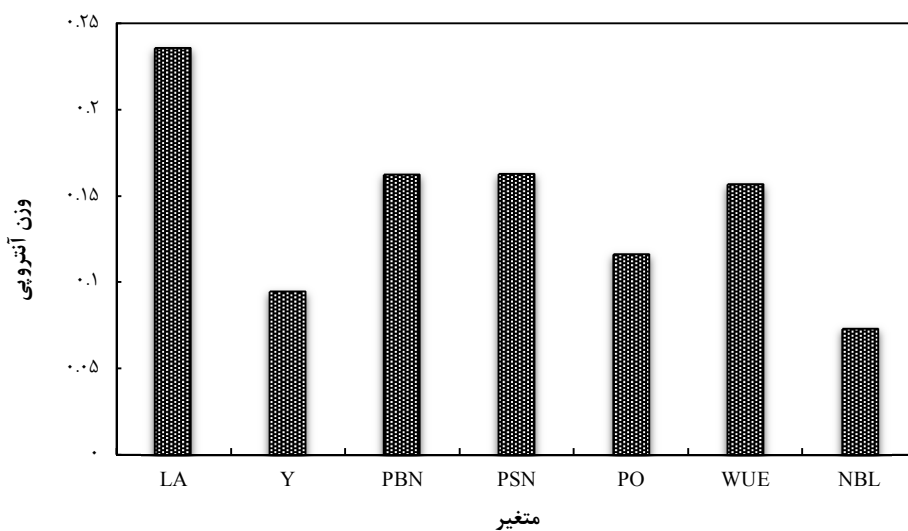
نتایج و بحث

الف- نتایج رتبه‌بندی سامانه‌های آبیاری بر مبنای

GRA-TOPSIS-Entropy

جدول ۳- نتایج ارزیابی خصوصیات کمی و کیفی درختان پسته تحت سامانه‌های آبیاری قطره‌ای و کم فشار.

کارایی مصرف آب (kg/m ³)	انس پسته (تعداد در ۲۸/۳۵ گرم) PO	درصد خندانی PSN	درصد پوکی PBN	محصول خشک (kg/tree) Y	طول رشد شاخه (cm) NBL	مساحت برگ (cm ²) LA	سامانه
WUE							
۰/۱۹	۳۰/۸۳	۸۲/۱۳	۱۳/۴۸	۲/۳۶	۱۰/۸۴	۸۸/۹۰	DI-1
۰/۲۲	۳۰/۵۱	۸۱/۸۳	۱۴/۶۰	۲/۷۳	۱۱/۲۲	۱۰۳/۲۰	SDI-1
۰/۲۱	۳۰/۸۹	۷۶/۲۱	۱۴/۶۰	۲/۵۶	۱۰/۳۸	۹۰/۶۰	SDI-2
۰/۴۷	۲۴/۵۵	۹۳/۳۳	۱۰/۰۵	۵/۵	۵/۴۳	۱۰۳/۴	LP-SI-1
۰/۵۴	۲۵/۱۷	۹۰/۶۷	۱۲/۶۳	۴/۷۲	۵/۲۳	۹۵/۹۵	LP-SI-2
۰/۴۸	۲۵/۱۵	۷۱/۴۵	۹/۶۰	۳	۱۵/۳۰	۱۰۸/۵۵	SDI-3
۰/۸۶	۲۶/۸۵	۴۹	۱۵/۳۵	۳/۱۵	۱۰/۳۰	۸۲/۲	SDI-4
۰/۰۲	۳۱/۳۰	۶۷/۸۰	۴۷/۶۰	۰/۲۷	۵/۸۰	۱۲۰/۶	DI-2
۰/۰۴	۲۹	۷۹	۳۷/۶۰	۰/۵۱	۷/۳۰	۱۳۰/۸	DI-WC-1
۰/۰۴	۲۹/۳۰	۷۸/۲۰	۳۷	۰/۵۴	۷/۸۰	۱۳۴/۷	DI-BC-1
۱/۰۶	۲۸	۸۲/۷۰	۲۲/۳۲	۳/۰۴	۸/۳۰	۱۲۰/۱	DI-3
۱/۲۶	۲۷/۴۰	۸۴	۲۱/۰۳	۳/۶۳	۷/۵۰	۱۲۹/۱	DI-WC-2
۱/۴۴	۲۷/۲۰	۸۶/۳۰	۱۸/۸۰	۴/۱۳	۷/۶۰	۱۳۷/۶۰	DI-BC-2



شکل ۱- وزن متغیرهای مورد بررسی بر مبنای آنترویی شانون.

جدول ۴- محاسبات ماتریس نرمال وزندهی شده، شاخص‌های نزدیکی فاصله (δ_i)، نزدیکی شباهت (\bar{G}_i)، تصمیم نهایی (U_i) و

رتبه سامانه‌های آبیاری.

رتبه	U_i	\bar{G}_i	δ_i	WUE (kg/m ³)	PO (Nut in 28.35 gr)	PSN (%)	PBN (%)	Y (kg/tree)	NBL (cm)	LA (cm ²)	سامانه آبیاری
۹	۰/۴۸	۰/۵۰	۰/۴۷	۰/۰۱	۰/۰۳	۰/۰۵	۰/۰۲	۰/۰۲	۰/۰۲	۰/۰۵	DI-1
۸	۰/۴۸	۰/۴۹	۰/۴۸	۰/۰۱	۰/۰۳	۰/۰۵	۰/۰۳	۰/۰۲	۰/۰۲	۰/۰۶	SDI-1
۱۰	۰/۴۸	۰/۵۱	۰/۴۶	۰/۰۱	۰/۰۳	۰/۰۴	۰/۰۳	۰/۰۲	۰/۰۲	۰/۰۵	SDI-2
۶	۰/۵۲	۰/۴۴	۰/۶۰	۰/۰۳	۰/۰۳	۰/۰۵	۰/۰۲	۰/۰۴	۰/۰۱	۰/۰۶	LP-SI-1
۵	۰/۵۲	۰/۴۶	۰/۵۹	۰/۰۳	۰/۰۳	۰/۰۵	۰/۰۲	۰/۰۴	۰/۰۱	۰/۰۶	LP-SI-2
۷	۰/۵۱	۰/۴۴	۰/۵۸	۰/۰۳	۰/۰۳	۰/۰۴	۰/۰۲	۰/۰۲	۰/۰۳	۰/۰۶	SDI-3
۴	۰/۵۵	۰/۵۰	۰/۶۰	۰/۰۵	۰/۰۳	۰/۰۳	۰/۰۳	۰/۰۳	۰/۰۲	۰/۰۵	SDI-4
۱۳	۰/۳۸	۰/۵۹	۰/۱۸	۰/۰۰۱	۰/۰۴	۰/۰۴	۰/۰۹	۰/۰۰۲	۰/۰۱	۰/۰۷	DI-2
۱۲	۰/۴۱	۰/۵۴	۰/۲۷	۰/۰۰۳	۰/۰۳	۰/۰۴	۰/۰۷	۰/۰۰۴	۰/۰۲	۰/۰۸	DI-WC-1
۱۱	۰/۴۱	۰/۵۳	۰/۲۸	۰/۰۰۳	۰/۰۳	۰/۰۴	۰/۰۷	۰/۰۰۴	۰/۰۲	۰/۰۸	DI-BC-1
۳	۰/۵۷	۰/۴۵	۰/۶۹	۰/۰۷	۰/۰۳	۰/۰۵	۰/۰۴	۰/۰۲	۰/۰۲	۰/۰۷	DI-3
۲	۰/۶۰	۰/۴۳	۰/۷۶	۰/۰۸	۰/۰۳	۰/۰۵	۰/۰۴	۰/۰۳	۰/۰۲	۰/۰۷	DI-WC-2
۱	۰/۶۱	۰/۴۱	۰/۸۲	۰/۰۹	۰/۰۳	۰/۰۵	۰/۰۳	۰/۰۳	۰/۰۲	۰/۰۸	DI-BC-2

یک سامانه آبیاری بزرگتر باشد، آن سامانه در رتبه بهتری قرار می‌گیرد. بیش‌ترین مقدار شاخص تصمیم نهایی برابر با ۰/۶۱ برای سامانه DI-BC-2 بدست آمد و در نتیجه این سامانه در رتبه اول اولویت‌بندی سامانه‌های آبیاری باغ‌های پسته قرار می‌گیرد. اگر چه مقادیر درصد پوکی و درصد خندانی پسته در این باغ کمتر از برخی باغ‌های دیگر مورد ارزیابی است اما باغ پسته تحت این سامانه آبیاری، دارای بیش‌ترین مقادیر سطح برگ و کارایی مصرف آب در بین سامانه‌های مورد بررسی است. رتبه دوم این اولویت‌بندی به سامانه DI-WC-2 و رتبه سوم به سامانه DI-3 اختصاص یافت. بیشترین مقدار کارایی مصرف آب در سامانه DI-BC-3

سال جاری به ترتیب برابر با ۰/۰۵، ۰/۰۰۲، ۰/۰۹، ۰/۰۳، ۰/۰۳، ۰/۰۰۱ و ۰/۰۱ و حل‌های ایده‌آل منفی این متغیرها برابر با ۰/۰۸، ۰/۰۵، ۰/۰۲، ۰/۰۶، ۰/۰۳، ۰/۰۹ و ۰/۰۴ محاسبه شد. با محاسبه مقادیر تفکیک حل‌های ایده‌آل مثبت و منفی و درجه همبستگی خاکستری و نرمال‌سازی آن‌ها، شاخص‌های نزدیکی فاصله (δ_i) و نزدیکی شباهت (\bar{G}_i) محاسبه شدند جدول ۴. در نهایت شاخص تصمیم نهایی (U_i) با روش مدل‌سازی غیرخطی و بر مبنای δ_i و \bar{G}_i محاسبه شد که نتایج آن در جدول ۴ ارائه شده است. رتبه‌بندی سامانه‌های آبیاری باغ‌های پسته بر اساس شاخص تصمیم نهایی انجام شد. به طوری که هر چه مقدار U_i

سامانه‌های سامانه‌های DI-3، DI-WC-2 و DI-BC-2 برابر با ۴۱۰۰ مترمکعب در هکتار، تحت سامانه‌های DI-1، SDI-1 و SDI-2 برابر با ۵۸۶۴ مترمکعب در هکتار و در سامانه‌های DI-2، DI-WC-1 و DI-BC-1 برابر با ۶۱۷۰ مترمکعب در هکتار لحاظ شده است. مطالعه‌ای درباره کاربرد سامانه آبیاری قطره‌ای برای درختان پسته در ترکیه نشان داد که استفاده از این سامانه‌ها در باغ‌های پسته می‌تواند عملکرد را از ۱۱/۸ تا ۱۵/۲ کیلوگرم بر درخت افزایش دهد (Arastirma, 2004). هر چند در انتخاب سامانه‌های آبیاری، خصوصیات فیزیولوژیکی گیاه نیز در مقاومت گیاه به کمبود آب بسیار مهم می‌باشد (Ooi *et al.*, 2005). سامانه‌های آبیاری کم‌فشار در اولویت بعدی مقایسه سامانه‌های آبیاری قرار گرفته است و در نهایت سامانه‌های آبیاری قطره‌ای زیرسطحی مناسب آبیاری باغ‌های پسته خواهد بود. حجم آب کاربردی در باغ‌های پسته تحت سامانه‌های LP-SI-1 و LP-SI-2 به ترتیب برابر با ۶۷۲۰ و ۵۰۴۰ مترمکعب در هکتار، در سامانه SDI-3 برابر با ۹۸۴۰ مترمکعب در هکتار، در سامانه SDI-4 برابر با ۵۴۶۸ مترمکعب در هکتار بوده است. در سامانه‌های SDI-3 و SDI-4 حجم آب آبیاری بر اساس اندازه‌گیری مزرعه‌ای رطوبت خاک قبل و بعد از آبیاری با TDR (Time Domain Reflectometry) بدست آمده است و در بقیه تحقیقات، بر مبنای سند ملی آب، تجربیات کشاورز و آب موجود لحاظ شده است. استفاده از

به مقدار ۱/۴۴ کیلوگرم بر مترمکعب و به طور کلی در سامانه‌های آبیاری قطره‌ای سطحی با فاصله لوله ۱۵۰ سانتی‌متر از درخت، با و بدون خاکپوش پلاستیکی به مقدار میانگین ۱/۲۵ کیلوگرم بر مترمکعب اندازه‌گیری شده است. نتایج رتبه‌های اول تا سوم نشان از تأثیر مثبت استفاده از مالچ در مدیریت بهتر سامانه‌های آبیاری قطره‌ای سطحی دارد. عدم مدیریت سامانه آبیاری از طرف کشاورز منجر به تنزیل رتبه سامانه‌های آبیاری قطره‌ای سطحی شده است (سامانه‌های DI-2، DI-BC-1 و DI-WC-1). بوده است. همانطور که در تحقیق صداقتی و همکاران (۱۳۹۴) بیان شده است، کارایی مصرف آب بسیار کم سامانه‌های DI-2، DI-WC-1 و DI-BC-1 به دلیل عدم مدیریت مناسب باغ و سامانه آبیاری توسط کشاورز بوده است. بنابراین ملاحظه می‌شود که حتی کاربرد سامانه‌های آبیاری نوین در باغ‌های پسته بدون مدیریت مناسب آن‌ها موجب بهبود عملکرد و کارایی مصرف آب باغ‌های پسته نخواهد شد. کاربرد سامانه‌های آبیاری نوین به خودی خود تأثیری در بهبود نتایج نهایی ندارد و مشروط به همکاری کشاورز می‌باشد. به طور کلی، در صورتی که رتبه سامانه‌های DI-2، DI-BC-1 و DI-WC-1 لحاظ نشود و این سامانه‌ها از مقایسه حذف شوند، سامانه‌های آبیاری قطره‌ای سطحی دارای بهترین رتبه در بین دیگر سامانه‌های آبیاری (قطره‌ای زیرسطحی و کم‌فشار) خواهند بود. حجم آب مصرفی در باغ‌های پسته تحت

دارد. به طور میانگین، مقدار مساحت سطح برگ و کارایی مصرف آب در سامانه آبیاری قطره‌ای سطحی بیشتر از دو سامانه دیگر اندازه‌گیری شده است اما مقادیر عملکرد، درصد پوکی و درصد خندانی و انس پسته در سامانه‌های لوله‌های کم فشار PVC سوراخ‌دار نتایج بهتری نشان داده‌اند (جدول ۳).

در بین آبیاری‌های قطره‌ای زیرسطحی، عمق نصب ۴۰ سانتی‌متری و دور آبیاری ۱۴ روز (SDI-4) رتبه بهتری نسبت به عمق نصب ۳۰ و ۵۰ سانتی‌متری بدست آورد. تشخیص عمق نصب مناسب سامانه‌های آبیاری قطره‌ای زیرسطحی از هدررفت‌های سطحی آب به دلیل تبخیر و تلفات نفوذ عمقی جلوگیری و به بهبود کارایی مصرف آب کمک می‌کند. البته بایستی به این نکته اشاره کرد که عواملی همچون هزینه‌های خرید لوازم و کارگذاری لوله‌ها در عمق سبب محدودیت کاربرد این سامانه‌ها در باغ‌های پسته شده است. سامانه SDI-3 با رتبه هفتم، با وجود کاربرد بیشترین حجم آب مصرفی، مقدار کارایی مصرف آب و عملکرد به ترتیب به مقدار ۴۴/۴ و ۴/۸ درصد کمتری نسبت به سامانه SDI-4 (با رتبه چهارم) در شرایط کشاورزی مشابه داشته است (جدول ۳ و ۴). محمدی محمدآبادی و همکاران (۱۳۸۷) گزارش کردند که تغییر سامانه آبیاری درختان پسته از غرقابی سطحی به زیرسطحی با لوله‌های به فاصله ۹۰ سانتی‌متر از دو طرف ردیف درختان و عمق ۵۰ سانتی‌متری از سطح خاک

سامانه‌های آبیاری قطره‌ای سطحی مشکلات مربوط به کارگذاری لوله در عمق را ندارد. یکی از عمده مشکلات آبیاری قطره‌ای سطحی در باغ‌های پسته، تبخیر سطحی است که این مشکل را می‌توان با کاربرد مالچ‌های طبیعی در سطح باغ برطرف و از تبخیر آب و تجمع نمک جلوگیری نمود. در ارزیابی سامانه‌های مختلف آبیاری نهال‌های پسته گزارش شده است که بهترین روش‌های آبیاری شامل لوله‌های سفالی و سامانه قطره‌ای با کاربرد ۲۰۵۵ مترمکعب در هکتار در سال است درحالی‌که بدترین آن‌ها غرقابی سطحی و تیپ با کاربرد ۶۵۸ مترمکعب در هکتار در سال می‌باشد (Mohammadabadi *et al.*, 2020). همچنین گنجی خرم‌دل و کیخایی (۱۳۹۵) بیان کردند که اگرچه کاهش عملکرد و صفات کیفی محصول در سال اول تغییر سامانه آبیاری از سنتی سطحی به قطره‌ای اتفاق می‌افتد اما افزایش عملکرد و بهبود خصوصیات کیفی پسته با سامانه آبیاری قطره‌ای نسبت به سنتی سطحی از سال دوم به بعد، نشان‌دهنده سازگاری درختان به تغییر سامانه آبیاری و استفاده از روش‌های خردآبیاری نوین تحت فشار بود.

سامانه‌های آبیاری کم‌فشار به دلیل استفاده از لوله‌های PVC مناسب باغ‌هایی با آب آبیاری شور و هدایت الکتریکی بالا می‌باشد. ضمن اینکه بهترین تطابق را با شرایط خرده‌مالکی داشته و بهره‌برداری و نگهداری از آن نیز با فرهنگ باغداران، سازگاری بالایی

تجمعی سه مؤلفه اول حدود ۸۵ درصد می‌باشد که نشان می‌دهد این سه مؤلفه می‌توانند منعکس‌کننده اطلاعات متغیرهای کمی و کیفی درختان پسته باشند (جدول ۵). پس از تعیین مؤلفه‌های اصلی، مقادیر بردارهای ویژه که ضرایب هر مؤلفه را برای محاسبه آن‌ها تعیین می‌کند، استخراج شد و سه مؤلفه به صورت رابطه ۱۹ بدست آمد. در این رابطه از مقادیر استاندارد شده متغیرها استفاده می‌شود و پارامتر Z نیز شاخص جامع رابطه بین متغیرهای مورد بررسی بر مبنای سه مؤلفه اصلی می‌باشد. بر مبنای رابطه ۲۵، وزن متغیرهای عملکرد، انس پسته و کارایی مصرف آب در مؤلفه اول بیشتر از دو مؤلفه دیگر است و وزن متغیرهای سطح برگ و درصد پوکی در مؤلفه دوم و وزن متغیرهای درصد خندانی و طول سرشاخه‌های سال جاری در مؤلفه سوم بیشتر است. در شکل ۲ نمودار روابط متقابل متغیرها بر اساس سه مؤلفه اصلی آورده شده است. بر اساس شکل ۲، انس پسته به عنوان شاخصی منفی در ارزیابی کیفیت پسته محسوب می‌شود. انس پسته به طور منفی با کارایی مصرف آب و به طور مثبت با طول سرشاخه‌های جدید و درصد

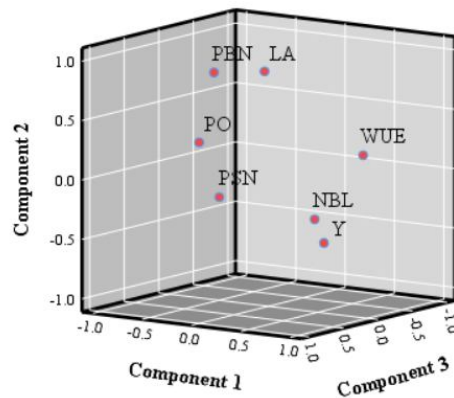
امکان‌پذیر است. آن‌ها گزارش کردند که کارایی مصرف آب با دور آبیاری ۱۴ روزه و حجم آب آبیاری ۷۱۷۴ مترمکعب در هکتار در سال برابر با ۰/۱۶ کیلوگرم بر مترمکعب آب است که در حدود ۴۶ درصد بیشتر از آبیاری سنتی سطحی بود.

ب- نتایج رتبه‌بندی سامانه‌های آبیاری بر مبنای PCA
استفاده از PCA در تحقیق حاضر، به تحلیل نقش هر متغیر در ارزیابی کمک می‌کند. بر اساس ویژگی‌های مثبت و منفی متغیرها، الگوی همبستگی بین آن‌ها قابل تعیین است. نمودار روابط متقابل مبتنی بر PCA منعکس‌کننده ساختارهای داده‌ها است که درک بهتری از ارزیابی الگوهای روابط بین شاخص‌های کیفی و تعیین ویژگی‌های مثبت و منفی آن‌ها به ما می‌دهد (Yeater *et al.*, 2015).

به منظور بررسی امکان اجرای PCA از آزمون بارتلت و ضریب KMO استفاده شد. مقدار $KMO=0/30$ و آزمون بارتلت برابر با ۷۰/۹۶ و معنی‌دار در سطح ۹۵ درصد بدست آمد که امکان اجرای PCA را تأیید کرد. برای اجرای این روش، از داده‌های نرمال شده متغیرهای ورودی استفاده شد. درصد واریانس

جدول ۵- مقادیر ویژه و واریانس مؤلفه‌های اصلی.

مؤلفه اصلی	مقدار ویژه	درصد واریانس	درصد واریانس تجمعی
PC1	۲/۹۸	۴۲/۵۰	۴۲/۵۰
PC2	۱/۹۱	۲۷/۲۴	۶۹/۷۴
PC3	۱/۰۱	۱۴/۴۶	۸۴/۲۰



شکل ۲- نمودار روابط متقابل متغیرهای مورد ارزیابی باغ‌های پسته بر اساس PCA.

در شکل ۳ قابل مشاهده است، مقدار شاخص ارزیابی جامع متغیر کارایی مصرف آب با مقدار برابر با ۰/۳۱ بیش‌ترین تأثیر را در ارزیابی باغ‌های پسته و بهبود کمیت و کیفیت آن‌ها بر طبق روش PCA دارد. در شکل ۴، نمودار مربوط به محاسبات شاخص جامع ارزیابی سامانه‌های آبیاری باغ‌های پسته بر مبنای PCA آورده شده است. رتبه سامانه‌های آبیاری روی ستون مربوط به شاخص جامع Z نوشته شده است. هر چه مقدار Z بیشتر باشد، آن سامانه رتبه بهتری خواهد داشت. ملاحظه می‌شود که بر مبنای PCA، سامانه‌های آبیاری قطره‌ای سطحی DI-BC-2 و DI-WC-2 به ترتیب در رتبه‌های اول و دوم قرار می‌گیرند. این نتیجه با روش ترکیبی GRA-TOPSIS-Entropy هم حاصل شد. رتبه سوم به سامانه DI-3 اختصاص یافت که نشان از تأثیر مهم استفاده از مالچ در روش‌های آبیاری قطره‌ای سطحی به منظور جلوگیری از تبخیر آب دارد تا آب بیشتری در دسترس گیاه قرار گیرد. سپس سامانه‌های

پوکی همبستگی دارد. کارایی مصرف آب با متغیرهای سطح برگ، درصد خندانی و عملکرد همبستگی مثبت نشان می‌دهد.

$$PC1 = 0.08LA + 0.81Y - 0.57PBN \quad (۱۹)$$

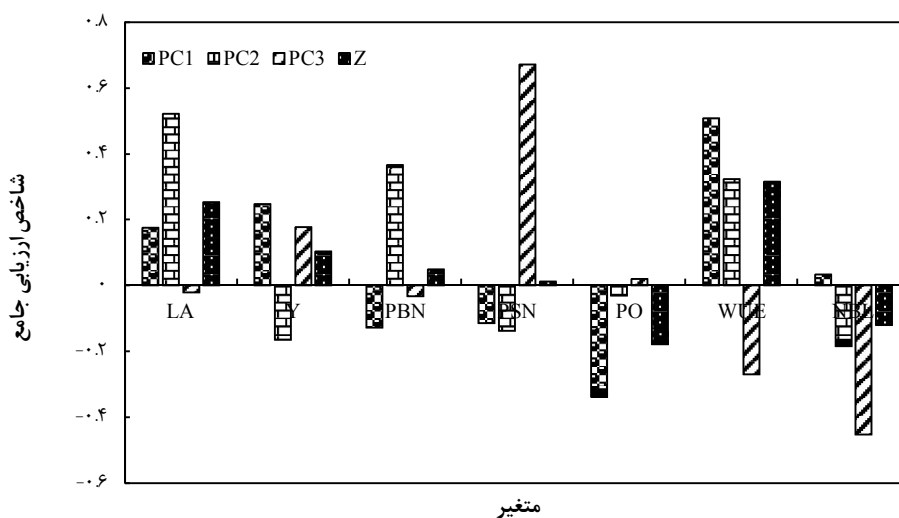
$$+ 0.14PSN \\ - 0.80PO \\ + 0.90WUE \\ - 0.02NBL$$

$$PC2 = 0.90LA - 0.45Y \\ + 0.79PBN \\ - 0.05PSN \\ + 0.17PO \\ + 0.24WUE \\ - 0.48NBL$$

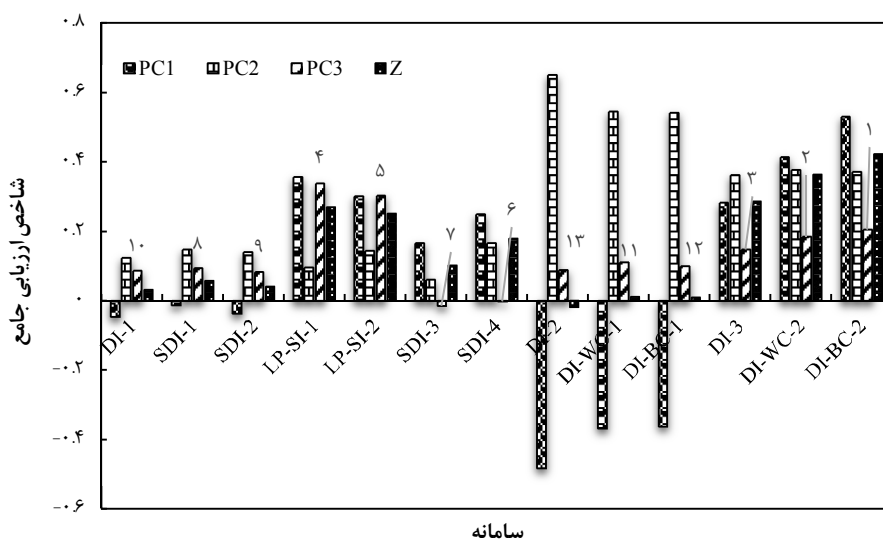
$$PC3 = 0.17LA + 0.35Y - 0.03PBN \\ + 0.91PSN \\ - 0.14PO \\ - 0.08WUE \\ - 0.69NBL$$

$$Z = 0.51PC1 + 0.32PC2 + 0.17PC3$$

بر اساس روش PCA، کارایی مصرف آب و پس از آن سطح برگ به عنوان شاخصی مثبت در ارزیابی کیفیت پسته شناخته می‌شود (شکل ۳). همانطور که



شکل ۳- شاخص ارزیابی جامع متغیرهای کمی و کیفی ارزیابی بر مبنای PCA.



شکل ۴- شاخص ارزیابی جامع سامانه‌های آبیاری باغ‌های پسته بر مبنای PCA.

سامانه‌های DI-2، DI-BC-1 و DI-WC-1 مربوط می‌شود که همانطور قبلاً هم اشاره شد، علی‌رغم کاربرد چندین ساله سامانه‌های آبیاری نوین در این مزرعه و مالچ روی لوله‌ها، عدم مدیریت مناسب توسط کشاورز

آبیاری کم فشار LP-SI-1 و LP-SI-2 به ترتیب رتبه‌های چهارم و پنجم را به خود اختصاص دادند. مشاهدات مزرعه‌ای نشان داده است که سامانه‌های آبیاری کم فشار نیز به خوبی قابلیت استفاده در باغ‌های پسته را دارد. پایین‌ترین رتبه‌ها به

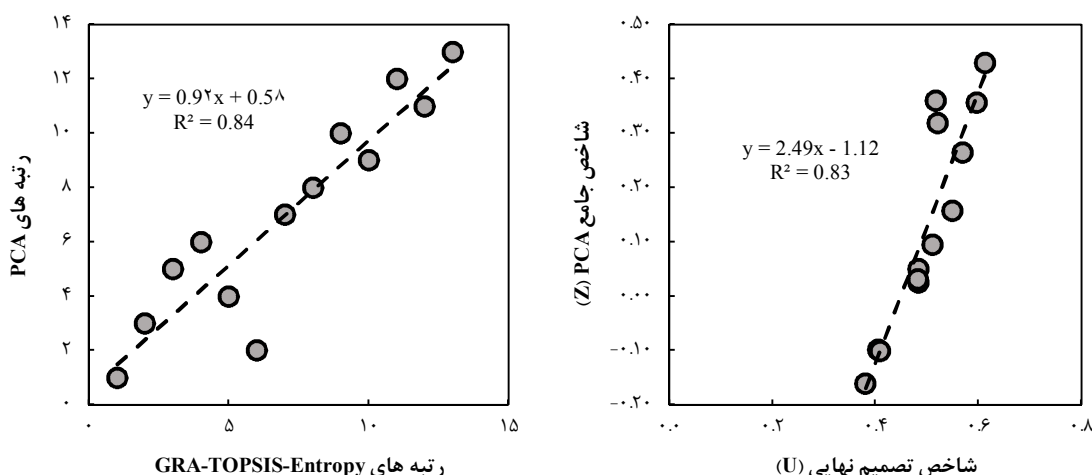
جامع حاصل از PCA را نشان می‌دهد که شاخص‌های دو روش به طور معنی‌داری در سطح ۹۹ درصد با مقدار R^2 برابر با ۰/۸۳ همبستگی دارند. همچنین نمودار همبستگی بین رتبه‌های حاصل از دو روش نیز بیانگر معنی‌داری همبستگی رتبه‌ها در سطح ۹۹ درصد با مقدار R^2 برابر با ۰/۸۴ است. بنابراین نتایج نشان می‌دهند که اگرچه می‌توان از PCA برای رتبه‌بندی سامانه‌های آبیاری قطره‌ای و لوله‌های کم‌فشار PVC سوراخ‌دار در منطقه مورد مطالعه استفاده کرد اما به منظور ارزیابی، مدیریت و کاربرد بهتر این سامانه‌ها بهتر است از روش‌های MCDM برپایه منطق ریاضی قوی بهره جست تا هزینه‌های حاصل از انتخاب نامناسب سامانه‌ها در منطقه کاهش و کارایی مصرف آب و عملکرد باغ‌ها افزایش یابد. اگرچه نتایج تحقیق حاضر نشان می‌دهند که انتخاب دقیق سامانه آبیاری باغ‌های پسته اثر مهمی بر عملکرد و کارایی مصرف آب دارد اما نتایج تحقیق سالم (۱۳۹۶) نشان می‌دهد که طراحی و اجرای نامناسب سامانه‌های آبیاری نوین تحت فشار، عدم برگزاری دوره‌های آموزشی برای کشاورز به منظور مدیریت سامانه‌ها و بالا بودن بهره و ام‌ها و کوتاه بودن زمان بازپرداخت آن‌ها از جمله مهم‌ترین عوامل عدم بکارگیری این سامانه‌ها در باغ‌های پسته می‌باشند. بنابراین لازم است تا شرایط و امکانات بیشتری برای پذیرش این سامانه‌ها و اجرا و مدیریت دقیق آن‌ها فراهم آید.

سبب کاهش عملکرد و کارایی مصرف آب باغ پسته شده است.

ج- مقایسه نتایج رتبه‌بندی حاصل از PCA و GRA-

TOPSIS-Entropy

در این قسمت نتایج رتبه‌بندی سامانه‌های آبیاری باغ‌های پسته حاصل از دو روش PCA و GRA- TOPSIS-Entropy با یکدیگر مقایسه شدند. مقایسه نتایج بر مبنای شاخص درجه تشخیص (D) و نمودارهای همبستگی انجام گردید. نتایج حاصل از شاخص درجه تشخیص برای روش GRA-TOPSIS-Entropy برابر با ۱/۱۰ و برای مدل PCA برابر با ۱/۰۸ محاسبه شد. مقدار D روش‌های رتبه‌بندی کاربردی، بین ۱ تا ۱/۵ قرار دارد و بنابراین این رتبه‌ها قابل قبول هستند و از درجه اعتبار برخوردار می‌باشند. درجه تشخیص هر دو روش رتبه‌بندی تقریباً یکسان بدست آمد و اختلاف کمی دارند اما با اینحال به نظر می‌رسد روش GRA-TOPSIS-Entropy از درجه اعتبار بیشتری برخوردار است. روش PCA سریعتر و ساده‌تر به نظر می‌رسد اما روش ترکیبی GRA-TOPSIS-Entropy از منطق ریاضی قوی‌تری برخوردار است. ضمن آنکه شاخص تصمیم نهایی در روش GRA-TOPSIS-Entropy بر مبنای بهینه‌سازی غیرخطی بدست می‌آید که از مزایای مهم آن شمرده می‌شود. شکل ۵ همبستگی بین شاخص تصمیم نهایی حاصل از روش ترکیبی GRA-TOPSIS-Entropy و شاخص



شکل ۵- نمودار همبستگی رتبه‌ها و شاخص‌های حاصل از دو روش کاربردی برای باغ‌های پسته.

نتیجه‌گیری کلی

و اهمیت در انتخاب سامانه‌های آبیاری مورد بررسی هستند. این در حالی که بر مبنای روش PCA، متغیر کارایی مصرف آب بیش‌ترین اهمیت را در رتبه‌بندی سامانه‌های آبیاری داشت. بر اساس نتایج میانگین شاخص تصمیم نهایی بدست آمده از روش GRA-TOPSIS-Entropy، استفاده از سامانه آبیاری قطره‌ای سطحی در صورت مدیریت صحیح، انتخاب بهینه‌ای در سطح باغ‌های پسته می‌باشد و پس از آن سامانه‌های لوله‌های کم‌فشار PVC سوراخ‌دار و قطره‌ای زیرسطحی در اولویت قرار می‌گیرند. بر مبنای روش PCA و استفاده از میانگین شاخص جامع PCA، ترتیب اولویت سامانه‌های آبیاری نیز یکسان با روش ترکیبی بدست آمد. ارزیابی روش‌های فوق با استفاده از شاخص درجه تشخیص نشان داد که هر دو روش، رتبه‌بندی را به نحو قابل قبولی انجام می‌دهند و دارای همبستگی معنادار و قوی هستند. اما به طور کلی می‌توان نتیجه گرفت که

پژوهش حاضر با هدف ارزیابی روش ترکیبی تحلیل روابط خاکستری-تاپسیس-آنتروپی (GRA-TOPSIS-Entropy) و روش PCA در تعیین اولویت سامانه‌های آبیاری قطره‌ای سطحی و زیرسطحی و همچنین آبیاری لوله‌های کم‌فشار PVC سوراخ‌دار از نظر کاربرد در باغ‌های پسته استان کرمان انجام گردید. در ارزیابی روش‌های فوق از هفت متغیر کمی و کیفی مهم اندازه‌گیری شده در باغ‌های پسته شامل سطح برگ، طول رشد شاخه در سال جاری، عملکرد محصول، درصد پوکی، درصد خندانی، انس میوه پسته و کارایی مصرف آب استفاده شد. نتایج حاصل از آنتروپی در روش ترکیبی GRA-TOPSIS-Entropy نشان داد که متغیر سطح برگ و سپس متغیرهای درصد خندانی، درصد پوکی و کارایی مصرف آب دارای بیش‌ترین وزن

تناسب آن برای اهداف شرب و آبیاری. نشریه علوم آب و خاک (علوم و فنون کشاورزی و منابع طبیعی)، ۲۳(۲): ۳۰۲-۲۸۱.

۵- سیفی، ا. (۱۳۹۳). مدیریت شوری خاک و اکسیژن-کودآبیاری باغات پسته تحت سیستم آبیاری قطره‌ای زیرسطحی. رساله دکتری، مهندسی آبیاری و زهکشی، دانشگاه تربیت مدرس.

۶- سیفی، ا. و سروش، ف. (۱۳۹۸). روش ترکیبی تصمیم‌گیری چندمعیاره تاپسیس با آنتروپی برای رتبه‌بندی کیفیت و ریسک آلودگی آب‌های زیرزمینی. نشریه آبیاری و زهکشی ایران، ۱۳(۳): ۶۹۹-۷۱۴.

۷- صداقتی، ن.، حسینی‌فرد، س.ج.، عبدالهی عزت آبادی، م.، محمدی محمدآبادی، ا. و نیکوئی دستجردی، م. (۱۳۹۸). اثر تغییر سیستم آبیاری از روش سطحی (غرقابی) به زیرسطحی با لوله‌های پی‌وی‌سی (PVC) بر شوری خاک، رشد و عملکرد درختان پسته. مجله علوم و فناوری پسته، ۴(۸): ۲۸-۴۲.

۸- صداقتی، ن.، عیلزاده، ا.، انصاری، ح. و حسینی‌فرد، س.ج. (۱۳۹۴). اثر استفاده از خاکپوش‌های پلیاستیکی در آبیاری قطره‌ای بر رشد، عملکرد و بهره‌وری مصرف آب پسته. نشریه پژوهش آب در کشاورزی، ۲۹(۴): ۴۸۳-۴۹۵.

استفاده از روش ترکیبی GRA-TOPSIS-Entropy با در نظر گرفتن معیارهای اثرگذار و منطق ریاضی قوی بر مبنای بهینه‌سازی غیرخطی می‌تواند منجر به افزایش دقت در انتخاب سامانه‌های آبیاری متناسب با وضعیت باغ‌های پسته و همچنین جلوگیری از مشکلات احتمالی مرتبط با هدررفت منابع اقتصادی، هدررفت منابع طبیعی آب و خاک و مشکلات مربوط به عدم رضایت کشاورزان گردد.

منابع

۱- آذر، ع. و رجبزاده، ع. (۱۳۸۱). تصمیم‌گیری کاربردی؛ رویکرد M.A.D.M. نشر نگاه دانش، تهران.

۲- آریا آذر، ن. و مجنون‌نوی هریس، ا. (۱۳۹۸). الویت-بندی کاربرد سامانه‌های آبیاری با روش فرایند تحلیل شبکه‌ای (ANP) در حوضه رودخانه آجی-چای. نشریه پژوهش آب در کشاورزی، ۳۳(۱): ۱۰۹-۱۲۱.

۳- سالم، ج. (۱۳۹۶). واکاوی عوامل موثر بر عدم بکارگیری روش آبیاری تحت فشار توسط پسته-کاران استان یزد. نشریه پژوهش آب در کشاورزی، ۳۱(۳): ۵۸۵-۵۹۴.

۴- سروش، ف. و سیفی، ا. (۱۳۹۸). استفاده از نگاشت خودسازمانده (SOM) به منظور خوشه‌بندی کیفیت آب زیرزمینی استان کرمان و ارزیابی

- ۹- صداقتی، ن، حسینی فرد، س.ج، و محمدی محمدآبادی، ا. (۱۳۹۱). مقایسه عملکرد سیستمهای آبیاری قطره ای سطحی و زیرسطحی بر روی درختان بارور پسته. *مجله آب و خاک (علوم و صنایع کشاورزی)*، ۲۶(۳): ۵۷۵-۵۸۵.
- ۱۰- فرهادی بانسوله، ب، احمدی، ش، و میرزایی تختگاهی، ح. (۱۳۹۶). انتخاب سیستم مناسب آبیاری تحت فشار با استفاده از روش ارزیابی چندمعیاره (مطالعه موردی: شبکه آبیاری جامیشان). *مدیریت آب و آبیاری*، ۱۷(۱): ۱۴۹-۱۳۵.
- ۱۱- گنجی خرمدل، ن، و کیخایی، ف. (۱۳۹۵). مقایسه تغییرات رشد و عملکرد محصول درختان باروری پسته در گذار از آبیاری سطحی به آبیاری قطره‌ای در ساوه. *نشریه پژوهش آب در کشاورزی*، ۳۰(۱): ۳۹-۴۹.
- ۱۲- مجنونى هریس، ا، نایی، م، و صدرالدینی، ع. (۱۳۹۶). انتخاب مناسبترین سیستم آبیاری در دشت‌های فامنین، قهاوند و رزن. *علوم و مهندسی آبیاری*، ۴۰(۴): ۱۶۷-۱۵۵.
- ۱۳- محمدی محمدآبادی، ا، حسینی فرد، س.ج، و صداقتی، ن. (۱۳۸۷). اثرات تغییر سیستم آبیاری از روش سنتی (غرقابی) به زیرسطحی بر درختان بارور پسته در کرمان. *علوم و فنون کشاورزی و منابع طبیعی*، ۱۲(۴۳): ۲۹-۴۵.
- ۱۴- مریدنژاد، ع، لیاقت، ع، و نظری، ب. (۱۳۹۴). تحلیل نتایج مطالعات ارزیابی تغییر سیستم آبیاری سطحی به آبیاری تحت فشار در شبکه های فرعی آبیاری اراضی ۵۵۰۰۰۰ هکتاری مؤسسه جهاد نصر در استان خوزستان. اولین همایش ملی بررسی ابعاد فنی، اقتصادی، اجتماعی و زیست محیطی، طرح احیاء ۵۵۵ هزار هکتاری اراضی خوزستان و ایلام، ۲۶ تا ۲۷ آبان ماه، اهواز.
- ۱۵- هادی‌زاده، ع. (۱۳۸۵). ارائه روشی در گزینشی سامانه آبیاری مناسب. اولین همایش ملی مدیریت شبکه آبیاری و زهکشی، ۱۲ اردیبهشت ماه، دانشگاه شهید چمران اهواز.
- 16- Amiri, V, Rezaei, M, & Sohrabi, N. (2014). Groundwater quality assessment using entropy weighted water quality index (EWQI) in Lenjanat, Iran. *Environmental Earth Sciences*, 72(9), 3479-3490.
- 17- Anupam, K, Lal, PS, Bist, V, Sharma, AK, & Swaroop, V. (2014). Raw material selection for pulping and papermaking using TOPSIS multiple criteria decision making design. *Environmental Progress and Sustainable Energy*, 33(3), 1034-1041.
- 18- Arastirma, D. (2004). Drip irrigation and the periodicity of pistachio trees. *Turktarm*, 157, 56-59.
- 19- Bagheri, V, Shamshiri, MH, Shirani, H, & Roosta, HR. (2012). Nutrient uptake and distribution in mycorrhizal pistachio seedlings under drought stress. *Journal of Agricultural Science and Technology (JAST)*, 14, 1591-1604.

- TOPSIS. *Science of the Total Environment*, 537, 369-376.
- 28- Karami, E. (2006). Appropriateness of farmers' adoption of irrigation methods: The application of the AHP model. *Agricultural systems*, 87(1), 101-119.
- 29- Kenkel, NC. (2006). On selecting an appropriate multivariate analysis. *Canadian Journal of Plant Science*, 86(3), 663-676.
- 30- Khan, ZA, Kamaruddin, S, & Siddiquee, AN. (2010). Feasibility study of use of recycled High Density Polyethylene and multi response optimization of injection moulding parameters using combined grey relational and principal component analyses. *Materials and Design*, 31(6), 2925-2931.
- 31- Li, P, Wu, J, & Qian, H. (2012a). Groundwater quality assessment based on rough sets attribute reduction and TOPSIS method in a semi-arid area, China. *Environmental Monitoring and Assessment*, 184(8), 4841-4854.
- 32- Li, XG, Wei, X, & Huang, Q. (2012b). Comprehensive entropy weight observability-controllability risk analysis and its application to water resource decision-making. *Water SA*, 38(4), 573-580.
- 33- Liu, D, Qi, X, Li, M, Zhu, W, Zhang, L, Faiz, M, & Cui, S. (2019). A resilience evaluation method for a combined regional agricultural water and soil resource system based on Weighted Mahalanobis distance and a Gray-TOPSIS model. *Journal of Cleaner Production*, 229, 667-679.
- 34- Liu, X, Qi, Y, Li, F, Yang, Q, & Yu, L. (2018). Impacts of regulated deficit irrigation on yield, quality and water use efficiency of Arabica coffee under different shading levels in dry and hot regions of
- 20- Ayers, RS, & Westcot, DW. (1985). Water quality for agriculture (Vol. 29). Rome: Food and Agriculture Organization of the United Nations.
- 21- Baranitharan, P, Ramesh, K, & Sakthivel, R. (2019). Multi-attribute decision-making approach for Aegle marmelos pyrolysis process using TOPSIS and Grey Relational Analysis: Assessment of engine emissions through novel Infrared thermography. *Journal of Cleaner Production*, 234, 315-328.
- 22- Das, PP, & Chakraborty, S. (2020). A grey correlation-based TOPSIS approach for optimization of surface roughness and micro hardness of Nitinol during WEDM operation. *Materials Today: Proceedings*, 28, 568-573.
- 23- Deng, LJ. (1989). Introduction to grey system. *Journal of Grey System*, 1(1), 1-24.
- 24- Hsu, PF, & Hsu, MG. (2008). Optimizing the information outsourcing practices of primary care medical organizations using entropy and TOPSIS. *Quality and Quantity*, 42(2), 181-201.
- 25- Hui, G, & Bifeng, S. (2009). Study on effectiveness evaluation of weapon systems based on grey relational analysis and TOPSIS. *Journal of Systems Engineering and Electronics*, 20(1), 106-111.
- 26- Hwang, CL, & Yoon, K. (1981). Methods for multiple attribute decision making. In Multiple attribute decision making (pp. 58-191). Springer, Berlin, Heidelberg.
- 27- Jiang, YX, Liu, YS, Ying, GG, Wang, HW, Liang, YQ, & Chen, XW. (2015). A new tool for assessing sediment quality based on the Weight of Evidence approach and grey

- 41- Rajeswari, B, & Amirthagadeswaran, KS. (2017). Experimental investigation of machinability characteristics and multi-response optimization of end milling in aluminium composites using RSM based grey relational analysis. *Measurement*, 105, 78-86.
- 42- Tu, Q, Li, H, Wang, X, Chen, C, Luo, Y, & Dwomoh, FA. (2014). Multi-criteria evaluation of small-scale sprinkler irrigation systems using Grey relational analysis. *Water resources management*, 28(13), 4665-4684.
- 43- Yeater, KM, Duke, SE, & Riedell, WE. (2015). Multivariate analysis: greater insights into complex systems. *Agronomy Journal*, 107(2), 799-810.
- 44- Yu, L, Pan, Y, & Wu, Y. (2008). Two new indicators to compare different evaluation methods' effect. *Journal of Nanjing Normal University (Natural Science Edition)*, 3, 135-140.
- 45- Zhang, J, Iwaasa, AD, Han, G, Gu, C, Wang, H, Jefferson, PG, & Kusler, J. (2018). Utilizing a multi-index decision analysis method to overall assess forage yield and quality of C3 grasses in the western Canadian prairies. *Field Crops Research*, 222, 12-25.
- 46- Zhang, X, & Fan, S. (2001). Estimating Crop-Specific Production Technologies in Chinese Agriculture: A Generalized Maximum Entropy Approach. *American Journal of Agricultural Economics*, 83(2), 378-388.
- southwest China. *Agricultural Water Management*, 204, 292-300.
- 35- Mohammadabadi, AM, Hosseinifard, SJ, Sedaghati, N, & Dastjerdi, MN. (2020). Pistachio (*Pistacia vera* L.) seedling growth response to irrigation method and volume in Iran. *Agricultural Water Management*, 240, 106287.
- 36- Montazar, A, & Behbahani, SM. (2007). Development of an optimised irrigation system selection model using analytical hierarchy process. *Biosystems engineering*, 98(2), 155-165.
- 37- Neissi, L, Albaji, M, & Nasab, SB. (2019). Site selection of different irrigation systems using an analytical hierarchy process integrated with GIS in a semi-arid region. *Water Resources Management*, 33(14), 4955-4967.
- 38- Neissi, L, Albaji, M, & Nasab, SB. (2020). Combination of GIS and AHP for site selection of pressurized irrigation systems in the Izeh plain, Iran. *Agricultural Water Management*, 231, 106004.
- 39- Ooi, SK, Krutzen, MP M, & Weyer, E. (2005). On physical and data driven modelling of irrigation channels. *Control Engineering Practice*, 13(4), 461-471.
- 40- Pourmohammadali, B, Hosseinifard, SJ, Salehi, M H, Shirani, H, & Boroujeni, IE. (2019). Effects of soil properties, water quality and management practices on pistachio yield in Rafsanjan region, southeast of Iran. *Agricultural Water Management*, 213, 894-902.

Ranking Evaluation of Drip Irrigation and Perforated Low-Pressure PVC Pipes Systems in Pistachio Orchards of Kerman Province Based on the Non-Linear Optimization Decision Model

Abstract

The importance of pistachio production and water resource shortage in Iran reveals the necessity of irrigation system selection, as an important driving-force to upgrade agricultural. Therefore, ranking evaluation of irrigation systems in pistachio orchards is considered as a practical and useful problem in the water and economic fields. In the present study, a multi-criteria decision-making approach as integrated method of grey relational analysis-TOPSIS-Entropy (GRA-TOPSIS-Entropy) was applied for ranking of modern pressurized systems in pistachio orchards. The results of GRA-TOPSIS-Entropy method were compared with ranks of systems from principal component analysis (PCA). For this purpose, 7 surface drip irrigation systems, 4 subsurface drip irrigation systems, and 2 perforated low-pressure PVC pipes systems in the pistachio orchards of Kerman province were assessed and ranked. The evaluation was processed using important quantity and quality variables of leaf area, new branch length, yield, percentage of blank nuts,

percentage of split nuts, pistachio ounce, and water use efficiency. The mean ultimate decision index of surface drip irrigation, subsurface drip irrigation, and perforated low-pressure PVC pipes systems using GRA-TOPSIS-Entropy method were equal to 0.57, 0.52, and 0.51, respectively that had not significant difference. The results indicated that surface drip irrigation and perforated low-pressure PVC pipes systems are the optimal systems in the studied area. The results of discrimination degree as an index for investigating stability and reliability of GRA-TOPSIS-Entropy and PCA methods calculated as 1.10 and 1.08 that showed the ranking results are reasonable. Based on the achieved results, the integrated GRA-TOPSIS-Entropy method with strong mathematical and non-linear optimization background can be useful to select appropriate pressurized irrigation systems in pistachio orchards.

Keywords: Discrimination degree, Entropy, Grey Relational Analysis, Pistachio, Water use efficiency