ارزیابی شاخص‌های پایداری زیستی گلخانه‌های هوشمند

مرتضی علیدادی[۱]، مصطفی رحمتی جنیدآباد[۲]، سید محمد جواد سبحانی*[۳]، محمدرضا زارع بوانی[۲]

۱- دانش‌آموخته کارشناسی ارشد گروه علوم و مهندسی باغبانی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی خوزستان، ملاثانی، ایران

۲- استادیار گروه علوم و مهندسی باغبانی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی خوزستان، ملاثانی، ایران

۳*- استادیار گروه ترویج و آموزش کشاورزی، دانشکده مهندسی زراعی و عمران روستایی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی خوزستان، ملاثانی، ایران

ایمیل نویسنده مسئول:Mj.sobhani@asnrukh.ac.ir

تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۴/۲۸ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۶/۱۴

چکیده

این مطالعه با هدف ارزیابی و اعتبارسنجی شاخص‌های پایداری زیستی گلخانه‌های هوشمند انجام شده است. گلخانه‌های هوشمند به عنوان یکی از مصادیق پیشرفت فناوری در حوزه کشاورزی، اثر چشمگیری در بهینه‌سازی شرایط رشد و بهره‌وری محصولات داشته‌اند. بر اساس ماهیت فناورانه موضوع و شرایط اقلیمی، جامعه آماری پژوهش را گلخانه‌داران پیشرو در استان اصفهان تشکیل داده‌اند. با مرور نظام‌مند تحقیقات پیشین به تفکیک انواع رهیافت‌ها، گروه هدف و تعاریف کشاورزی پایدار، سه مولفه **توجیه پذیری اقتصادی، تجدید پذیری زیست محیطی و زیست پذیری اجتماعی شناسایی شدند. سپس ساختار عاملی شاخص اندازه‌گیری پایداری زیستی با روش تحلیل عاملی تأییدی مورد سنجش قرار گرفت که شاخص‌های محاسبه شده در مدل اندازه‌گیری تحقیق، برازش مناسبی از روایی و پایایی را نشان دادند. در نهایت پس از پالایش‌های انجام شده ۱۵ شاخص برای سنجش پایداری زیستی گلخانه‌ها به عنوان دستاورد این پژوهش معرفی شد. با توجه به چالش‌های محققان، تصمیم‌گیران و سیاست‌گذاران در بهبود و دستیابی به پایداری گلخانه‌ها، تدوین و تایید شاخص سنجش پایداری زیستی در این مطالعه می‌تواند اثر قابل توجهی در جهت‌دهی مسیر سیاست‌های کشاورزی در عرصه هوشمندسازی فعالیت گلخانه‌ها داشته باشد.**

کلمات کلیدی

"کشاورزی هوشمند"، "پایداری"، " توجیه پذیری اقتصادی"، " تجدید پذیری زیست محیطی"، " زیست پذیری اجتماعی".

۱- مقدمه

در اغلب کشورهای در حال توسعه، همراستا با افزایش تولید به حفظ منابع طبیعی توجه نگردید و در نتیجه بهره‌وری کشاورزی به قیمت کاهش پایداری تمام شده است (Maja & Ayano, ۲۰۲۱). نگرانی های کنونی در مورد امنیت غذایی جهانی، تغییرات آب و هوایی، رفاه حیوانات، تنوع زیستی و دسترسی به منابع طبیعی بر نیاز به توسعه کشاورزی پایدار تاکید دارد (Valizadeh & Hayati, ۲۰۲۱). رهیافت توسعه کشاورزی پایدار با حفظ منابع و در عین حال حفظ سایر عملکردهای زیست بوم، به نیازهای فعلی و بلندمدت جامعه توجه می‌کند (Muhie, ۲۰۲۲). به طور کلی ابعاد اقتصادی، زیست محیطی و اجتماعی در کشاورزی پایدار به عنوان مفهومی که به سرعت در حال گسترش است، بر هدف تولید غذا و انرژی برای مردم امروز و نسل های آینده تاکید دارد (Bathaei & Štreimikienė, ۲۰۲۳).هوشمندسازی واحدهای تولید کشاورزی و گلخانه‌ها از راه‌حل‌های کلیدی برای غلبه بر چالش‌های پایداری هستند، زیرا می‌توانند تولید محصول را با کنترل محیط کشاورزی و کاهش اثر تغییرات آب و هوا بهینه نمایند (Karanisa et al., ۲۰۲۲). پیشرفت فناوری اطلاعات و ارتباطات همچون اینترنت اشیا، سیستم‌های پشتیبانی تصمیم گیری و هوش مصنوعی، بخش کشاورزی را متحول کرده است (Tripathy et al., ۲۰۲۱). در بخش گلخانه‌ای نیز این فناوری‌ها به کشاورزان کمک می‌کنند تا سود و بازده محصول خود را افزایش دهند و در عین حال هزینه‌های تولید را به حداقل برسانند،

به روشی سازگارتر با محیط زیست تولید کنند و خطرات ناشی از تغییرات آب و هوایی را کاهش دهند (Kavga et al., ۲۰۲۱). گلخانه هوشمند ساختاری برای کنترل و نظارت بر شرایط محیطی مانند دما، رطوبت، سطح CO_2 و روشنایی طراحی شده است تا محیط رشد بهینه برای گیاهان فراهم کند (Kirci et al., ۲۰۲۲). این شرایط توسط یک سامانه کنترل می شود که می تواند تنظیمات را بر اساس داده‌های لحظه ای حسگرها تنظیم کند (Karanisa et al., ۲۰۲۲).یکی از مهمترین مزایای زیست محیطی گلخانه های هوشمند، توانایی آنها در کاهش مصرف آب است (Tsafaras et al., ۲۰۲۲). روش‌های آبیاری سنتی می‌تواند منجر به آبیاری بیش از حد شود که باعث هدر رفتن آب و فرسایش خاک و از دست رفتن مواد مغذی می‌شود (Karanisa et al., ۲۰۲۲). گلخانه‌های هوشمند از حسگرهایی برای نظارت بر سطح رطوبت خاک و تنظیم آبیاری بر اساس آن استفاده می کنند و مصرف آب را کاهش می‌دهند (Kirci et al., ۲۰۲۲). سیستم‌های گلخانه‌ای سنتی برای حفظ شرایط محیطی بهینه برای رشد گیاه به مقادیر زیادی انرژی نیاز دارند که هوشمندسازی می تواند مصرف انرژی را نیز کاهش دهد (Ullah et al., ۲۰۲۲).

یکی دیگر از مزایای گلخانه های هوشمند، کاهش مصرف سموم و کودهای شیمیایی است (Maraveas, ۲۰۲۲). گلخانه‌های هوشمند علاوه بر بهینه سازی مصرف سموم و کودهای شیمیایی بواسطه تعیین پارامترهای دقیق می‌توانند از شیوه‌های مدیریت یکپارچه آفات نیز استفاده کنند. این رویکرد نه تنها سازگارتر با محیط زیست است، بلکه می تواند به گیاهان سالم تر و بازدهی بالاتر نیز منجر شود (Andrianto & Faizal, ۲۰۲۰). علاوه بر این، گلخانه‌های هوشمند می‌توانند با استفاده دقیق‌تر و کارآمدتر از منابع، موجبات حفظ زیستگاه‌های طبیعی را فراهم کنند (Maraveas, ۲۰۲۲; Karanisa et al., ۲۰۲۲).

به زعم محققین، مفهوم پایداری در هر زمینه متفاوت بوده و شاخص‌های سنجش آن در هر منطقه و کشوری منحصر به فرد هستند (Hayati et al., ۲۰۲۱; Zhang et al., ۲۰۲۱). اگرچه تفسیرهای متفاوتی از مفهوم پایداری به طور گسترده‌ای وجود دارد، اما بر نیاز به استفاده از شاخص‌های پایداری برای اندازه‌گیری تغییرات آن توافق وجود دارد (Bathaei & Štreimikienė, ۲۰۲۳).

از این رو پایداری توسط برخی از محققان و دست اندرکاران به عنوان مجموعه ای از استراتژی‌های مدیریت تعریف می شود، در حالی که برخی دیگر آن را به عنوان یک ایدئولوژی یا گروهی از اهداف توصیف می کنند (Zhang et al., ۲۰۲۱). با این وجود، کشاورزی پایدار به طور فزاینده‌ای با توجه به تأثیر آن بر ابعاد زیست‌محیطی، اقتصادی و اجتماعی پایداری چارچوب‌بندی می‌شود. چارچوب‌ها و شاخص‌های متعددی برای ارزیابی پایداری در سطوح ملی و جهانی و برای تعیین کشاورزی پایدار در سطح مزرعه وجود دارد (Colapinto et al., ۲۰۲۰).

اسدی و همکاران (۱۳۸۸) در تحلیل عوامل بازدارنده توسعه کشت‌های گلخانه ای استان اصفهان، پنج بخش عوامل اقتصادی، حمایت های دولتی، قوانین اداری، عوامل زیربنایی، عوامل اقلیمی و عوامل فنی را معرفی نموده‌اند.نتایج تحقیقات سبحانی و همکاران (۱۳۹۷) نیز نشان داد متغیر های دانش, نگرش و رضایت مندی گلخانه داران تاثیر مثبت و معنی داری بر سطح پایداری گلخانه ها دارند. نتایج تحقیق جمشیدی (۱۳۹۰) در بررسی وضعیت پایداری نظام کشت گلخانه‌ای نشان داد که در تمام ابعاد اقتصادی، اجتماعی و زیست محیطی اکثر گلخانه‌ها در شرایط ناپایدار قرار دارند. همچنین حیاتی و همکاران (۲۰۱۱) در تحقیق خود ضمن تدوین شاخص های اقتصادی، اجتماعی و اکولوژیکی پایداری کشاورزی به این نکته اشاره نموده‌اند که شاخص‌های پایداری در رشته‌های مختلف، ناگزیر به بومی سازی است. مفیدی چلان و همکاران (۱۳۹۶) در تبیین شاخص‌های ارزیابی پایداری زیست محیطی-بوم شناختی مراتع به عواملی همچون ویژگی‌های مرتع و خاک، مدیریت مراتع، منابع آب و تنوع زیستی اشاره می‌کنند که حکایت از تدوین شاخص‌های پایداری به اقتضای منطقه مورد مطالعه دارد. ولی‌زاده و حیاتی (۲۰۲۱) شاخص سنجش پایداری کشاورزی را به

چهار عامل «برابری اجتماعی و رفاه»، «دوام»، «ثبات و سازگاری» و «بهره‌وری و کارایی» طبقه‌بندی و اعتبارسنجی کرده‌اند. به زعم آنان سنجش پایداری کشاورزی در مناطق مختلف اقلیمی و انواع نظام‌های بهره‌برداری متفاوت بوده و نیاز به اعتباریابی دارد. همسو با سایر محققان، باسایی و استریمیکین (۲۰۲۳) نیز به لزوم تعیین شاخص پایداری در هر حوزه مطابق با نیازهای آن بخش اشاره کرده‌اند. این محققین در رکن پایداری اقتصادی به مولفه‌های تکنولوژی، دسترسی به بازار و قیمت، در رکن پایداری محیطی به ساختار مزرعه، آلودگی و خاک و در نهایت برای رکن پایداری اجتماعی کیفیت محصول و حقوق کشاورز را معرفی نموده‌اند.به منظور دستیابی به توسعه پایدار به عنوان یک هدف غایی، نیاز به ابزار و روش‌هایی است تا بتوان به کمک آنها حرکت به سوی پایداری را در مقیاس‌های مختلف (جهانی، ملی و محلی) اندازه‌گیری کرد (جمشیدی، ۱۳۹۰). ارزیابی پایداری امری پیچیده و مولفه‌ها، خصیصه‌ها و ویژگی‌های مختلفی را در مقیاس‌های گوناگون شامل می‌شود. از این‌رو، یک ارزیابی همه‌جانبه پایداری، باید ابعاد محیط زیستی، اجتماعی و اقتصادی را مدنظر قرار دهد (Hayati et al., ۲۰۲۱; Zhang et al., ۲۰۱۱). برای ارزیابی پایداری زیستی گلخانه های هوشمند در استان اصفهان، باید عوامل متعددی را در نظر گرفت. از این رو در مقاله حاضر به ارزیابی پایداری زیستی گلخانه‌های هوشمند در استان اصفهان پرداخته شده است. به طور کلی مجموع مبانی نظری پایداری را می‌توان بدینگونه تقسیم‌بندی نمودند و در آن هدف رهیافت، گروه هدف و تعریف رهیافت از کشاورزی پایدار را ارائه داد (جدول ۱).

جدول شماره ۱- انواع رهیافتها، هدف، گروه هدف و تعریف کشاورزی پایدار در هر رهیافت

رهیافت	هدف	گروه هدف	تعریف کشاورزی پایدار
IDEA[1]	ارائه یک ابزار عملی برای ارزیابی پایداری در سطح مزرعه	برنامه‌ریزان، سیاست‌گذاران، محققان، کشاورزان، سازمان‌های کشاورزان	- توجیه‌پذیری اقتصادی - زیست‌پذیری اجتماعی - تجدیدپذیری زیست‌محیطی
شاخص فعالیت‌های پایدار کشاورزی(ISAP[2])	عملیاتی سازی پایداری کشاورزی بمنظور حمایت از سیاست‌گذاری	محققان و سیاست‌گذاران	- حداقل کردن نهاده‌های خارج از مزرعه - حداقل کردن منابع تجدید ناپذیر - حداکثر سازی فرایندهای بیولوژیکی طبیعی - بهبود تنوع زیستی محلی - بهبود کیفیت زندگی روستاییان - حفظ سودآوری مزارع - ارتقاء برابری - برطرف کردن نیاز جامعه به غذا و فیبر
ارزشیابی پایداری پاسخ-محرک(RISE[3])	ارائه ابزاری ساده و ارزان اما کل‌نگر ۱- ارزیابی درجه پایداری مزرعه ۲- تجسم ظرفیت‌ها و شکست‌ها	کشاورزان	- بهره‌وری و کارایی - رقابت پذیری - حفظ منابع طبیعی و شرایط اجتماعی - اقتصادی جوامع محلی
شاخص سنجش پایداری کشاورزی (IMAS[4])	توسعه و اعتبارسنجی شاخص سنجش پایداری کشاورزی	محققان، تصمیم‌گیران، سیاست‌گذاران، کشاورزان	برابری اجتماعی و رفاه، دوام، ثبات و سازگاری، بهره‌وری و کارایی.
ارزیابی پایداری کشاورزی و محیط زیست(SAFE[5])	شناسایی، تدوین و ارزیابی نظام‌های تولیدی کشاورزی، فنون و سیاست‌ها	محققان و سیاست‌گذاران	- تنوع بیولوژیکی - بهره‌وری - تجدیدپذیری - ظرفیت - تجدید حیات - توانایی عملکرد
چارچوبی برای ارزیابی مدیریت اراضی پایدار(FESLM[6])	برای هدایت تحلیل‌های پایداری کاربری اراضی، از طریق از طریق مراحلی منطقی و علمی. ملاحظه یکپارچه تمام فاکتورهای وارده)، مرتبط با ارزشیابی، سیستماتیک	برنامه‌ریزان	- بهره‌وری - امنیت - حفاظت - توجیه‌پذیری - قابلیت پذیرش
چارچوب روشناسی چند مقایسه(MMF[7])	ارزیابی چند مقیاسه پایداری با تاکید بر روستاییان خرده پای کشاورز و مدیریت منابع طبیعی	محققان و سیاست گذاران	- بهره‌وری - ثبات - مقاومت - پایایی - سازگاری
فضای راه‌حل پایدار برای تصمیم‌گیری(SSP[8])	شناسایی فضای راه‌حل‌های پایداری که متصدیان بتوانند راه‌حل‌ها را پیدا کنند، نظام باقی بماند یا پایدارتر شود	تمام متصدیان، موثر بر نظام، برنامه ریزان پایداری، برنامه‌ریزان، کشاورزان، سیاست‌گذاران	- مبتنی بر نظریه مرکب با فرایندهای بین‌رشته‌ای. منجمله؛ چند بعدی و چند ساختاری

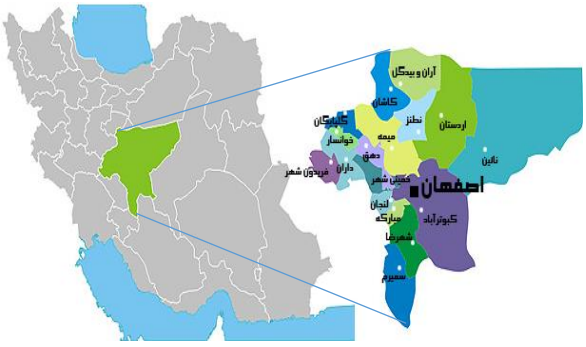
[1] The Indicateur de Durabilité des Exploitacions Agricoles
[2] The Indicator of Sustainable Agricultural Practice
[3] The Response-Inducing Sustainability Evaluation
[4] Index to Measure Agricultural Sustainability
[5] Sustainability Assessment of the Farming and the Environment
[6] The Framework for the Evaluation of Sustainable Land Management
[7] Multiscale Methodological Framework
[8] Sustainability Solution Space for Decision Making

۱- روش انجام تحقیق

- **محدوده مورد مطالعه**

استان اصفهان در بخش کشاورزی با داشتن حدود ۵۶۸ هزار هکتار اراضی کشاورزی و ٦ میلیون واحد

دامی در مجموع حدود ۷/۵ میلیون تن تولید محصولات کشاورزی داشته که حدود ۵ درصد از تولیدات کشاورزی کشور را تشکیل می‌دهد[۱]. در تولیدات گلخانه‌ای این استان چهارمین تولیدکننده محصولات گلخانه‌ای است. این استان ۱۲/۳۳ درصد از محصولات گلخانه‌ای کشور را تأمین می‌نماید. گلخانه‌های استان اصفهان از واحدهای پیشرو در عرضه استفاده از تکنولوژی محسوب می‌شوند که علاوه بر این با افتتاح نخستین آزمایشگاه صنعت ٤ ایران برای هوشمندسازی در دانشگاه صنعتی اصفهان، توان فناوری گلخانه‌داران و خوشه‌های صنعت مرتبط با این فعالیت پیشرفت شگرفی خواهد داشت.[۲] استان اصفهان ششمین استان پهناور، سومین استان پرجمعیت ایران و این استان رتبه دوم شهرنشینی در کشور را دارد (شکل ۱).



شکل ۱- محدوده مورد مطالعه

با این حال، با افزایش جمعیت و شهرنشینی مناطق مرکزی ایران، نیاز فوری به شیوه های کشاورزی پایدار برای تضمین امنیت غذایی و حفظ محیط زیست وجود دارد. بر اساس مطالعاتی که مرور شد، یکی از راه حل های امیدوارکننده برای کشاورزی پایدار، استفاده از گلخانه های هوشمند است که مجهز به فناوری های پیشرفته برای بهینه سازی رشد گیاهان و کاهش اثرات منفی بر محیط زیست هستند.

- جامعه و نمونه مورد مطالعه

جامعه آماری این مطالعه مدیران کلیه واحدهای گلخانه‌ای در استان اصفهان تا سال ۱۴۰۱ بوده‌اند که در واحد تولیدی از تجهیزات مدیریت هوشمند گلخانه استفاده داشته‌اند. تعداد جامعه بر اساس آمار سازمان جهاد کشاورزی برابر با ۳۰۳ گلخانه بود که از بین آنها تعداد ۱۷۰ گلخانه به عنوان نمونه بر اساس جدول کریسی و مورگان[۳] محاسبه شد. جهت انتخاب نمونه از بین شهرستان‌هایی که بالای ۱۰ گلخانه فعال مکانیزه داشتند به صورت انتساب متناسب اقدام به نمونه‌گیری شد.

بر اساس نتایج بدست آمده بیشتر فعالان این حوزه در رده سنی ۳۱-٤۰ سال و دارای تحصیلات دانشگاهی بوده‌اند. همچنین مالکیت واحد تولیدی اغلب گلخانه‌داران به صورت شخصی بوده که با توجه به نیاز به منابع انسانی و مالی می‌توان بر توسعه نقش آفرینی بخش تعاون و شرکت‌های دانش بنیان در این حوزه اهتمام ورزید. جدول ۲ مشخصات جمعیت شناختی نمونه مورد مطالعه را بر حسب سن، تحصیلات و نوع مالکیت واحدگلخانه‌ای که در آن مشغول به فعالیت هستند را نشان می‌دهد.

جدول ۲- ویژگی جمعیت شناختی پاسخگویان

ویژگی		فراوانی	درصد
سن (سال)	۲۰-۳۰	۳۲	۱۸/۸
	۳۱-٤۰	۷۳	٤۲/۹
	٤۱-۵۰	۳۹	۲۲/۹
	۵۱-٦۰	۱٦	۹/٤
	بالاتر از ٦۰	۱۰	۵/۹
تحصیلات	دیپلم و کمتر	۳۸	۲۳
	کاردانی	۱٦	۹/۷
	کارشناسی	٦۸	٤۱/۲
	کارشناسی ارشد	۳٦	۲۱/۸
	دکتری	۷	٤/۲
	بی پاسخ	۵	-
مالکیت	شخصی	۱۰۲	٦۰/۰
	اجاره‌ای	۵۷	۳۳/۵
	شرکت یا تعاونی	۱۱	٦/۵
مجموع		۱۷۰	۱۰۰

[۱] گزارش عملکرد بخش کشاورزی در استان اصفهان. سازمان مدیریت و برنامه‌ریزی استان اصفهان. ص. ۵ و ۱۱.

[۲] «راه اندازی نخستین آزمایشگاه نسل چهارم هوشمندسازی کشور در دانشگاه صنعتی اصفهان». ایسنا.. بایگانی‌شده از اصلی در ۹ ژوئیه ۲۰۲۱..

[۳] Robert Krejcie & Daryle Morgan

- **ابزار سنجش و گرداوری داده‌ها**

ارزیابی پایداری زیست‌محیطی ، به‌عنوان یکی از مهم‌ترین ابزارها در فرآیند برنامه‌ریزی توسعه پایدار بوده و توجه به آن در سیاست‌گذاری‌ها و برنامه‌ریزی‌ها اجتناب‌ناپذیر است (مفیدی چلان و همکاران، ۱۳۹۶). بنابراین تدوین و ارزیابی شاخص‌های پایداری زیست‌محیطی سیستم‌های گلخانه‌ای هوشمند برای اطمینان از دستیابی به اهداف مورد نظر امری ضروری است. در این پژوهش به منظور سنجش متغیر پایداری زیستی گلخانه‌های هوشمند از ۱۶ گویه در قالب سه مولفه‌ی توجیه پذیری اقتصادی، زیست پذیری اجتماعی و تجدید پذیری زیست محیطی استفاده شد. ابزار جمع‌آوری اطلاعات در این پژوهش پرسش‌نامه طراحی شده توسط محقق در قالب طیف لیکرت ۵ گزینه‌ای شامل «بسیار کم»، «کم»، «متوسط»، «زیاد»، «بسیار زیاد» که اساس طراحی آن استخراج متغیرها از پیشینه پژوهش در سنجش پایداری و عوامل موثر بر آن می‌باشد (جدول ۳).

۳ – معرفی ابزار سنجش

نماد	گویه
توجیه پذیری اقتصادی	
SEC۱	افزایش بهره‌وری محصول با استفاده از کشاورزی دقیق
SEC۲	کاهش نهاده‌های مصرفی در کشاورزی هوشمند
SEC۳	افزایش درآمد گلخانه‌های هوشمند نسبت به واحدهای تولیدی سنتی
SEC٤	ارتقای کیفیت و بازارپسندی محصولات
SEC٥	مدیریت بهینه مصرف آب در گلخانه های هوشمند
SEC٦	مصرف بهینه انرژی در گلخانه های هوشمند
تجدید پذیری زیست محیطی	
SEM۱	استفاده از مبارزه بیولوژیک و غیر شیمیایی برای کنترل آفات و علف‌های هرز
SEM۲	استفاده از کودهای زیستی و سبز
SEM۳	کاشت ارقام بذرهای اصلاح شده و مقاوم
SEM٤	بهره‌گیری از انرژی های تجدید پذیر
SEM٥	برنامه‌ریزی فرآیند بازیافت و مدیریت پسماند
SEM٦	اصلاح و تامین نیازهای خاک یا بستر کاشت
زیست پذیری اجتماعی	
SSC۱	بکارگیری نیروی متخصص و دانش آموخته در واحد تولیدی
SSC۲	تمایل به یادگیری و کسب دانش تکنولوژی‌های هوشمند
SSC۳	کاهش خطای انسانی در مدیریت گلخانه هوشمند
SSC٤	ایجاد اشتغال پایدار برای جوانان بومی منطقه

جهت سنجش میزان اعتبار پرسشنامه و اطمینان حاصل کردن از اینکه سوالات مطرح شده توانایی و قابلیت اندازه گیری مورد نظر تحقیق را دارند، از روش نظرسنجی استادان صاحب نظر و همچنین کارشناسان جهاد کشاورزی استان اصفهان استفاده شد. همچنین در بخش تحلیل عاملی تاییدی روایی همگرا و روایی تشخیصی برای سازه‌های تحقیق برازش شد. پایایی ابزار سنجش نیز بر اساس ضرائب آلفای کرونباخ و پایایی ترکیبی در سطح مطلوب برآورد گردید (جدول ٤).

همچنین بررسی اعتبار تشخیصی سازه های پژوهش نشان داد در پرسشنامه تدوین شده، سوالات هر مولفه با سایر مولفه‌ها متمایز بوده و باهم همپوشانی ندارند. فورنل و لارکر (۱۹۸۱) بیان کردند روایی واگرا وقتی در سطح قابل قبول است که میزان AVE برای هر سازه بیشتر از واریانس اشتراکی بین آن سازه و سازه‌های دیگر (یعنی مربع مقدار ضرایب همبستگی بین سازه‌ها) در مدل باشد (حبیبی و کلاهی، ۱۴۰۱).

جدول شماره ٤- روایی و پایایی مولفه‌های پژوهش

		روایی سازه AVE	پایایی ترکیبی CR	Cronbach's Alpha	rho_A
توجیه پذیری اقتصادی,SEC		۰.۵۲	۰.۸٦٥	۰.۸۱٤	۰.۸۱۷
تجدید پذیری زیست		۰.٦۳۱	۰.۸۹٥	۰.۸٥۲	۰.۸٥٦
زیست پذیری اجتماعی,SSC		۰.٦٦٤	۰.۸۸۷	۰.۸۳	۰.۸٤٥

بر این اساس، روایی واگرای ابزار تحقیق در سطح قابل قبولی قرار دارد. در جدول ۵ ماتریس حاوی مقادیر ضرایب همبستگی بین سازه‌ها و در قطر اصلی ماتریس جذر مقادیر AVE مربوط به هر سازه نشان داده شده است.

جدول شماره ۵- روایی واگرا (تشخیصی) مولفه‌های پژوهش

	SEC	SEM	SSC
SEC	۰.۷۲۱		
SEM	۰.۳۸۸	۰.۷۹٤	
SSC	۰.٤۲٦	۰.٦۲۷	۰.۸۱۵

هنسلر و همکاران (۲۰۱۵) معیار Heterotrait-Monotrait Ratio یا شاخص HTMT را برای ارزیابی روایی گرا به عنوان جایگزین روش قدیمی فورنل-لارکر ارائه داشته اند. در این تحقیق مقدار HTMT برابر ۰/۸۷۳ و در حد مجاز معیار (کمتر از ۰/۹) می‌باشد.

- تحلیل داده‌ها

در این مقاله، با استفاده از تحلیل عاملی تاییدی (CFA) شاخص‌های پایداری محیطی گلخانه‌های هوشمند مورد بررسی قرار گرفته است. تحلیل عاملی تاییدی یک روش آماری مناسب برای آزمایش اعتبار و پایایی مجموعه‌ای از متغیرها یا عواملی است که تصور می‌شود به یک سازه خاص مرتبط هستند (Valizadeh & Hayati, ۲۰۲۱). یکی از مزایای استفاده از تحلیل عاملی تاییدی برای ارزیابی شاخص‌های پایداری محیطی گلخانه‌های هوشمند، ارائه رویکردی نظام مند در سنجش اعتبار و پایایی ابزار سنجش است که در آینده بتواند به صورت مستمر در محیط های مشابه استفاده شود. با توجه نوین بودن پذیرش فناوری های هوشمند در عرصه گلخانه و تعداد کم نمونه در دسترس از روش حداقل مربعات جزئی در نرم افزار Smart PLS[3] استفاده شد. روش حداقل مربعات جزئی به حجم نمونه حساسیت کمتری دارد و نیازی به نرمال بودن داده‌ها ندارد (حبیبی و کلاهی، ۱۴۰۱). این روش ناپارامتریک برای اعتبارسنجی یک مدل با بررسی همزمان نقش متغیرهای پنهان و آشکار استفاده می‌شود و جانشین مناسبی برای مدل معادلات ساختاری می‌باشد (Hair et al., ۲۰۱۷).

۳- نتایج

برای بررسی مناسب بودن داده ها در ارزیابی اهمیت هر یک از عوامل در شاخص اندازه گیری پایداری کشاورزی، از تحلیل مولفه‌های اصلی[1] و محاسبه معیار (KMO[2])استفاده شد. نتایج مطالعه حاضر نشان داد که مقدار KMO برابر با ۰/۸۳٤ بود که تناسب داده‌ها و کفایت حجم نمونه برای انجام PCA را تأیید می‌کند. آزمون بارتلت نیز بررسی می کند که آیا داده ها از یک توزیع چند متغیره می آیند یا یک توزیع نرمال. نتیجه آزمون بارتلت یا در سطح خطای ۰/۰۰۱ معنی دار بود. بنابراین، ساختار داده های تحقیق در سطح مناسب جهت انجام تحلیل ها برآورد شد. جدول ٦ و شکل ۲ مدل تحلیل عاملی تاییدی مرتبه دوم شاخص اندازه گیری پایداری کشاورزی را با بارهای عامل استاندارد شده نشان می دهد. در این مطالعه مقدار ۰/۵ به عنوان حد قابل قبول بار عاملی استاندارد تعیین شد، به این معنی که شاخص هایی که بار عاملی کمتر از ۰/۵دارند باید از مدل حذف شوند (Hair et al., ۲۰۱۹). بنابراین در پالایش اولیه یک گویه در مولفه تجدید پذیری زیست محیطی به علت مقدار بار عاملی کمتر از ۰/۵ از فرآیند تحلیل حذف گردید. علاوه بر این، مقادیر بار عاملی و مقادیر t نشان می‌دهد که تمامی عوامل شناسایی شده نقش مهمی در تبیین پایداری گلخانه‌های هوشمند دارند. با توجه به مقادیر بدست آمده (جدول٦) می‌توان گفت که مقادیر بارعاملی برای نشانگرهای انتخابی (بالاتر از ۰/۵) واز لحاظ آماری در سطح خطای یک درصد (P<۰،۰۱) معنادار بودند. این نتیجه بیانگر تأیید تک بعدی بودن بودن نشانگرهای انتخابی می‌باشد. بنابراین، می‌توان اظهار کردکه نشانگرهای انتخابی برای سنجش سازه‌های پژوهش به‌درستی انتخاب شده‌اند و به‌طور دقیق همان مولفه را می‌سنجد. در این بخش گویه (SEM[1]) از سازه تجدید پذیری زیست محیطی به علت پایین بودن بار عاملی از مدل ساختاری حذف شد. همچنین شاخص‌های برازش مدل نشان داد که میزان شاخص ریشه میانگین مربعات باقیمانده

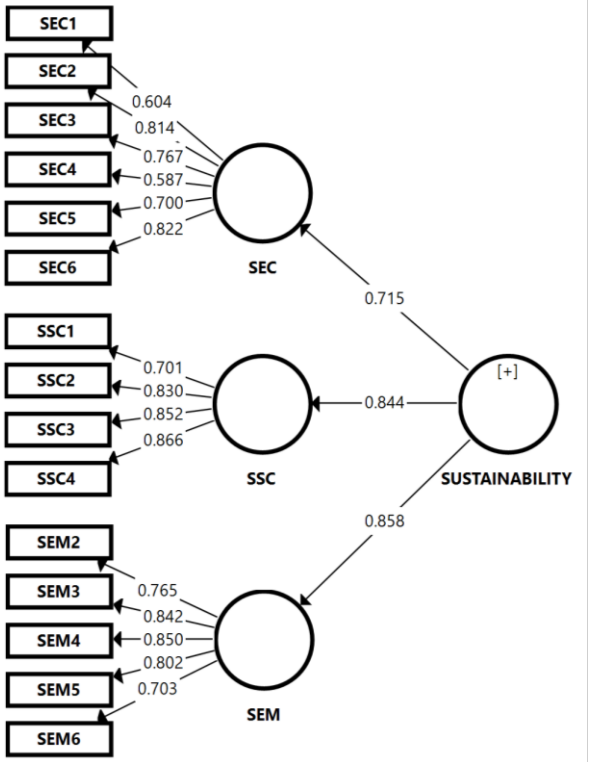
[1] Principal Component Analysis - PCA
[2] KaiserMeyer-Olkin

استاندارد (SRMR) برابر ۰/۷۹۸، شاخص تناسب به‌هنجار (NFI) برابر ۰/۹۵۲ و شاخص تتای ریشه میانگین مربعات (RMS_theta) در این مدل انعکاسی برابر ۰/۱۰۱ بود که همگی در حد مطلوب مقادیر پیشنهادی شاخص‌های ارائه شده قرار دارند.

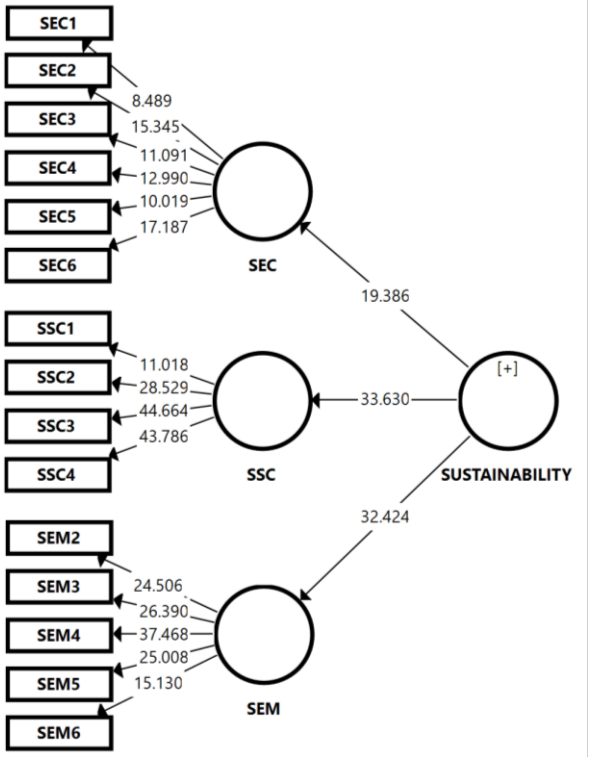
٦ - ارزیابی مدل اندازه گیری پژوهش

نماد در مدل		بار عاملی	t
توجیه پذیری اقتصادی SEC	SEC۱	۰.٦۰٤	۸.۱۷٥
	SEC۲	۰.۸۱۱	۱۳.۷۹۱
	SEC۳	۰.۷٦٤	۹.٦۹۹
	SEC٤	۰.٥۹۳	۱۲.٥۸۸
	SEC٥	۰.۷۰۰	۱۰.۳۱۱
	SEC٦	۰.۸۱۹	۱٦.٤۰۰
تجدید پذیری زیست محیطی SEM	SEM۲	۰.۷٦٥	۲٤.۳٦
	SEM۳	۰.۸٤۲	۲٦.۲۲٥
	SEM٤	۰.۸٥	۳۸.۳٦٦
	SEM٥	۰.۸۰۲	۲٥.۰۸۳
	SEM٦	۰.۷۰۳	۱٤.٤۸٦
زیست پذیری اجتماعی SSC	SSC۱	۰.۷۰۲	۱۱.٥۲۷
	SSC۲	۰.۸۳۱	۲۸.۱٦
	SSC۳	۰.۸٥۱	٤٤.۰۳۸
	SSC٤	۰.۸٦٥	٤۳.۹۸۳

همانگونه که نتایج مدل تاییدی نشان می‌دهد، مولفه زیست پذیری اجتماعی و تجدید پذیری زیست محیطی به ترتیب با ضرایب مسیر ۸٤٤/ ۰ و ۰/۸٥۸ نقش بیشتری نسبت به توجیه پذیری اقتصادی در تبیین متغیر مکنون پایداری گلخانه‌ها هوشمند داشته اند. جزئیات تحلیل عاملی تاییدی مرتبه شکل۲ و ۳ ارائه شده است.



شکل ۲- مقادیر بار عاملی در مدل تاییدی



شکل ۳- مقادیر t در مدل تاییدی

٤- نتیجه‌گیری

این پژوهش با هدف ارزیابی و اعتبارسنجی شاخص‌های پایداری زیستی گلخانه‌های هوشمند انجام پذیرفت. علیرغم مطالعات فراوان در مورد پایداری کشاورزی، تلاش‌های کمی برای طراحی و

اعتبارسنجی شاخص‌های اندازه‌گیری پایداری کشاورزی هوشمند به ویژه در واحدهای تولیدی گلخانه صورت گرفته است. از سوی دیگر وجود شاخص‌های معتبر و قابل اعتماد یکی از مهم‌ترین نیازهای بخش کشاورزی در سراسر جهان است. این ضرورت از آنجا ناشی می شود که فعالان مختلف بخش کشاورزی اعم از کشاورزان، سیاست گذاران، تصمیم گیران، دست اندرکاران ترویج کشاورزی و ... باید اطلاعات دقیق و درستی از فعالیت های کشاورزی داشته باشند.با این حال، در بیشتر موارد، آنها ابزار لازم برای ارزیابی چنین اطلاعاتی را ندارند. بنابراین یا تصمیمات اشتباه گرفته می شود و یا سیاست ها و اقدامات نادرست جهت گیری می شود زیرا دانش و شاخص مدونی در مورد وضعیت (نا)پایداری کشاورزی هوشمند وجود ندارد. این مقاله با فرآیندی چند مرحله‌ای اقدام به طراحی و اعتبارسنجی شاخص‌های پایداری گلخانه‌های هوشمند در تحقیقات آتی ارائه می‌کند.با انتخاب ۱۶ شاخص سنجش پایداری کشاورزی بر اساس سه رکن پایداری (اجتماعی، اقتصادی و زیست محیطی)، نسخه اولیه پرسشنامه بر اساس شاخص ها و زیرشاخص‌ها تدوین شد. سپس داده ها از گلخانه‌داران استان اصفهان جمع آوری شد و در تحلیل مولفه‌های اصلی و تحلیل عاملی تاییدی مورد برازش قرار گرفت. در نهایت پس از تایید روایی و پایایی ابزار سنجش و پالایش متغییرها، ۱۵ شاخص در قالب سه مولفه توجیه پذیری اقتصادی، تجدید پذیری زیست محیطی و زیست پذیری اجتماعی به عنوان شاخص تعیین پایداری زیستی گلخانه‌های هوشمند تهیه شد.در این راستا به تصمیم گیرندگان و سیاست گذاران زیست بوم کشاورزی در سطوح ملی، منطقه ای، استانی، پیشنهاد می شود از این شاخص ها برای سنجش پایداری کشاورزی واحدهای تولید گلخانه‌ای و به دست آوردن اطلاعات تشخیصی نظام های کشاورزی هوشمند استفاده کنند. از آنجا که بیشترین ضریب تبیین مربوط به مولفه‌های زیست پذیری اجتماعی و تجدید پذیری زیست محیطی بوده است، نیاز به توجه بیشتر به منابع طبیعی و توانمندسازی منابع انسانی فعال در این بخش احساس می‌شود. زیرا بیشتر سیاست ها و برنامه های توسعه کشاورزی در ایران بر افزایش بهره وری و کارایی متمرکز بوده و به ابعاد عدالت و رفاه اجتماعی، دوام و ثبات و سازگاری کمتر توجه می‌شود (Valizadeh & Hayati, ۲۰۲۱). با این حال، مطالعه حاضر نشان داد که پایداری کشاورزی فقط مربوط به تولید و بهره‌وری محصول نیست. پایداری کشاورزی یک پدیده چند بعدی است و سیاستگذاران باید ابعاد دیگری از کارایی مانند را در نظر بگیرند.

منابع

-
- اسدی، علی، حسینی، سیدمحمود، عبداله زاده، غلامحسین، و قره قانی، اردوان. (۱۳۸۸). تحلیل عوامل بازدارنده توسعه کشت های گلخانه ای (مطالعه موردی استان اصفهان). *تحقیقات اقتصاد و توسعه کشاورزی ایران (علوم کشاورزی ایران)*، ۴۰(۱)، ۹۵-۱۰۵.
- جمشیدی، امید. (۱۳۹۰). تحلیل پایداری نظام کشت گلخانه‌ای در استان البرز. پایان‌نامه کارشناسی ارشد رشته توسعه روستایی. دانشگاه تهران.
- حبیبی، آرش؛ کلاهی، بهاره. (۱۴۰۱). *مدل‌یابی معادلات ساختاری و تحلیل عاملی*. تهران: جهاد دانشگاهی، چاپ دوم.
- سبحانی، سیدمحمدجواد، جمشیدی، امید، و نوروزی، عباس. (۱۳۹۷). بررسی تأثیر دانش, نگرش و رضایت مندی گلخانه داران عضو تعاونی شهرستان پاکدشت بر سطح پایداری گلخانه ها. *تحقیقات اقتصاد و توسعه کشاورزی ایران (علوم کشاورزی ایران)*، ۴۹(۲)، ۲۹۳-۳۰۹.

- **مفیدی چلان، مرتضی، بارانی، حسین، عابدی سروستانی، احمد، معتمدی، جواد و دربان استانه، علیرضا. (۱۳۹۶). تبیین شاخص‌های ارزیابی پایداری زیست محیطی-بوم شناختی سامان‌های عرفی مرتعی با تاکید بر مراتع ییلاقی سهند .*تحقیقات مرتع و بیابان ایران*. ۲۴(۲)، ۳۰۹-۳۲۴.**
- Andrianto, H., & Faizal, A. (۲۰۲۰, October). Development of smart greenhouse system for hydroponic agriculture. In *2020 international conference on information technology systems and innovation (ICITSI)* (pp. ۳۳۵-۳۴۰). IEEE.
- Bathaei, A., & Štreimikienė, D. (۲۰۲۳). A Systematic Review of Agricultural Sustainability Indicators. *Agriculture*, *13*(۲), ۲۴۱.
- Colapinto, C., Jayaraman, R., Ben Abdelaziz, F., & La Torre, D. (۲۰۲۰). Environmental sustainability and multifaceted development: multi-criteria decision models with applications. *Annals of Operations Research*, *293*(۲), ۴۰۵-۴۳۲.
- Hair Jr, J. F., Matthews, L. M., Matthews, R. L., & Sarstedt, M. (۲۰۱۷). PLS-SEM or CB-SEM: updated guidelines on which method to use. *International Journal of Multivariate Data Analysis*, *1*(۲), ۱۰۷-۱۲۳.
- Hair, J. F., Risher, J. J., Sarstedt, M., & Ringle, C. M. (۲۰۱۹). When to use and how to report the results of PLS-SEM. *European business review*, *31*(۱), ۲-۲۴.
- Hayati, D., Ranjbar, Z., & Karami, E. (۲۰۱۱). Measuring agricultural sustainability. *Biodiversity, biofuels, agroforestry and conservation agriculture*, *5*(۱), ۷۳-۱۰۰.
- Henseler, J., Ringle, C. M., & Sarstedt, M. (۲۰۱۵). A new criterion for assessing discriminant validity in variance-based structural equation modeling. *Journal of the academy of marketing science*, *43*, ۱۱۵-۱۳۵.
- Karanisa, T., Achour, Y., Ouammi, A., & Sayadi, S. (۲۰۲۲). Smart greenhouses as the path towards precision agriculture in the food-energy and water nexus: Case study of Qatar. *Environment Systems and Decisions*, *42*(۴), ۵۲۱-۵۴۶.
- Kavga, A., Thomopoulos, V., Barouchas, P., Stefanakis, N., & Liopa-Tsakalidi, A. (۲۰۲۱). Research on innovative training on smart greenhouse technologies for economic and environmental sustainability. *Sustainability*, *13*(۱۹), ۱۰۵۳۶.
- Kirci, P., Ozturk, E., & Celik, Y. (۲۰۲۲). A novel approach for monitoring of smart greenhouse and flowerpot parameters and detection of plant growth with sensors. *Agriculture*, *12*(۱۰), ۱۷۰۵.
- Maja, M. M., & Ayano, S. F. (۲۰۲۱). The impact of population growth on natural resources and farmers' capacity to adapt to climate change in low-income countries. *Earth Systems and Environment*, *5*(۱) ۲۷۱-۲۸۳.
- Maraveas, C. (۲۰۲۲). Incorporating artificial intelligence technology in smart greenhouses: Current State of the Art. *Applied Sciences*, *13*(۱), ۱۴.
- Muhie, S. H. (۲۰۲۲). Novel approaches and practices to sustainable agriculture. *Journal of Agriculture and Food Research*, *10*, ۱۰۰۴۴۶.
- Tripathy, P. K., Tripathy, A. K., Agarwal, A., & Mohanty, S. P. (۲۰۲۱). MyGreen: An IoT-enabled smart greenhouse for sustainable agriculture. *IEEE Consumer Electronics Magazine*, *10*(۴), ۵۷-۶۲.
- Tsafaras, I., Campen, J. B., Stanghellini, C., De Zwart, H. F., Voogt, W., Scheffers, K., ... & Al Assaf, K. (۲۰۲۱). Intelligent greenhouse design decreases water use for evaporative cooling in arid regions. *Agricultural Water Management*, *250*, ۱۰۶۸۰۷.
- Ullah, I., Fayaz, M., Aman, M., & Kim, D. (۲۰۲۲). An optimization scheme for IoT based smart greenhouse climate control with efficient energy consumption. *Computing*, *104*(۲), ۴۳۳-۴۵۷.
- Valizadeh, N., & Hayati, D. (۲۰۲۱). Development and validation of an index to measure agricultural sustainability. *Journal of Cleaner Production*, *280*, ۱۲۳۷۹۷.
- Zhang, X., Yao, G., Vishwakarma, S., Dalin, C., Komarek, A. M., Kanter, D. R., ... & Davidson, E. A. (۲۰۲۱). Quantitative assessment of agricultural sustainability reveals divergent priorities among nations. *One Earth*, *4*(۹), ۱۲۶۲-۱۲۷۷.

Evaluation of biological sustainability indicators of smart greenhouses

Morteza Alidadi[۱], Mostafa Rahmati-Joneidabad[۲], Seyed Mohammad Javad Sobhani [۳*]
Mohammadreza Zare Bavani[۲]

Email: Mj.sobhani@asnrukh.ac.ir

Introduction:

In many developing countries, natural resource conservation has not been a priority despite an increase in production, resulting in reduced agricultural productivity and compromised sustainability. Sustainable agriculture, as a rapidly expanding concept, emphasizes the economic, environmental, and social dimensions of producing food and energy for present and future generations. Smart agriculture, including the intelligentization of agricultural production units and greenhouses, is a key solution to address sustainability challenges by optimizing crop production through environmental control and reducing the impact of climate change. While sustainability is interpreted differently across fields and regions, there is a consensus on the need to use sustainability indicators to measure changes. This study aims to evaluate and validate the environmental sustainability indicators of smart greenhouses, which are unique to each region and country. By adopting a sustainability perspective, this study contributes to a better understanding of the multidimensional nature of agricultural sustainability and the need to consider the social and environmental implications of agricultural practices. The results of this study can help policymakers and practitioners in the field of smart agriculture to develop and implement sustainable agricultural practices that maximize productivity while minimizing environmental and social impacts. Therefore, this study was conducted with the aim of evaluating and validating the environmental sustainability indicators of smart greenhouses.

Research Methodology:

This study targeted greenhouse managers in Isfahan province who utilized intelligent greenhouse management equipment in their production units due to the technological nature of the subject and climatic conditions. The agricultural Jihad Organization's statistics showed that there were ۳۰۳ greenhouse units in the province, of which ۱۷۰ were selected as the statistical sample. Isfahan province, known for its advanced technology and high greenhouse production, ranks fourth in greenhouse products in Iran, accounting for ۱۲,۳۳٪ of the country's greenhouse products.The data collection tool in this research is a questionnaire designed by the researcher in the form of a ۵-option Likert scale including "very low", "low", "moderate", "much", "very much". To develop a measurement tool, the study identified three components of economic justification, environmental renewability, and social viability by systematically reviewing previous research on sustainable agriculture:

Economic justification

SEC۱ Increasing crop productivity using precision agriculture
SEC۲ reduction of consumption inputs in smart agriculture
SEC۳ increasing the income of smart greenhouses compared to traditional production units
SEC٤ Improving the quality and marketability of products
SEC۵ Optimal management of water consumption in smart greenhouses
SEC٦ Optimum energy consumption in smart greenhouses

Environmental renewal

SEM۱ Use of biological and non-chemical control to control pests and weeds
SEM۲ use of bio and green fertilizers
SEM۳ Planting modified and resistant seed varieties
SEM٤ Utilization of renewable energies
SEM۵ planning of recycling process and waste management
SEM٦ Modifying and meeting the needs of the soil or planting bed

Social viability

SSC۱ Employing expert and educated personnel in the production unit
SSC۲ desire to learn and acquire knowledge of smart technologies
SSC۳ Reducing human error in smart greenhouse management
SSC٤ Creating sustainable employment for local youth in the region

Confirmatory factor analysis (CFA) was used to measure the factor structure of the environmental sustainability measurement index. The calculated indices in the research measurement model showed good validity and reliability. One of the advantages of using CFA to evaluate environmental sustainability indicators of smart greenhouses is its ability to systematically measure the validity and reliability of the measurement tool. This approach can be used continuously in similar environments in the future. This study contributes to the literature by providing a systematic approach to measure environmental sustainability in smart greenhouses, which can inform policymakers and practitioners in sustainable agriculture to maximize productivity while minimizing environmental and social impacts.

Results:

Descriptive statistics revealed that most greenhouse owners were between the ages of ۳۱-۴۰ and held university degrees, and the majority of production units were personally owned. Given the need for human and financial resources, there is potential for developing the cooperative sector and knowledge-based companies in this field.

The study introduced ۱۵ indicators for measuring the environmental sustainability of greenhouses, and factor loading values and t values for each index showed that all identified factors played an important role in explaining the sustainability of smart greenhouses. The factor load values for the selected markers (above ۰٫۵) were statistically significant at the error level of one percent (P<۰٫۰۱).The confirmatory model revealed that the components of social livability and environmental renewability had a greater role than economic justification in explaining the underlying variable of sustainability, with path coefficients of ۰٫۸۴۴ and ۰٫۸۵۸, respectively. The results highlight the importance of paying more attention to natural resources and empowering active human resources in the sector. While most agricultural policies in Iran prioritize increasing productivity and efficiency, less attention is given to aspects of justice, social welfare, durability, stability, and compatibility. The study emphasizes that agricultural sustainability is a multidimensional phenomenon, and policymakers should consider other dimensions of efficiency beyond crop production and productivity.

Conclusion:

This study has made a significant contribution to the development of scientific concepts and sustainability evaluation indicators in new technologies in the field of agriculture.Despite numerous studies on agricultural sustainability, few efforts have been made to design and validate sustainability measurement indicators specifically for smart agriculture, particularly in greenhouse production units. Valid and reliable indicators are crucial for the agricultural sector worldwide, as farmers, policy makers, decision makers, and agricultural extension workers require accurate information about agricultural activities.

However, in most cases, these stakeholders lack the tools to evaluate such information, leading to incorrect decisions, policies, and actions due to the absence of documented knowledge and indices on the sustainability of smart agriculture. Therefore, this article presents a multi-step process for designing and validating sustainability indicators for smart greenhouses in future research. This process is essential to improve the accuracy and reliability of sustainability information and promote sustainable agricultural practices in the greenhouse sector.

The development and validation of the environmental sustainability index in this study can have a significant impact on the direction of agricultural policies in the field of intelligentizing greenhouse activities. Researchers, decision-makers, and policymakers face significant challenges in achieving greenhouse sustainability, and this study provides valuable insights and recommendations for addressing these challenges.

Keywords

"Smart agriculture", "Sustainability", "Economic justification", "Environmental renewal", "Social viability".