

تحلیل عوامل مؤثر بر کاربرد کشاورزی دقیق در استان مازندران با رویکرد مدل‌سازی ساختاری تفسیری

امید جمشیدی^{۱*} و فاطمه شفیعی^۲

(دریافت: ۱۴۰۲/۰۳/۲۱؛ پذیرش: ۱۴۰۲/۰۵/۲۲)

چکیده

طی دهه‌های گذشته کشاورزی متعارف با کاربرد بی‌رویه برخی از نهاده‌های شیمیایی باعث بروز مشکلاتی جدی در محیط‌زیست و سلامت انسان‌ها شده است. در پاسخ به این مشکلات در طی سال‌های اخیر رویکرد کشاورزی دقیق به‌عنوان یکی از رهیافت‌های کشاورزی پایدار، بیش از پیش مورد توجه قرار گرفته است. استان مازندران که از جمله استان‌های مهم تولیدکننده محصولات کشاورزی در کشور بوده، وضعیت نامناسبی از نظر مصرف سموم و کودهای شیمیایی داشته و همزمان نیازمند افزایش بهره‌وری در واحد سطح است. در همین راستا هدف این تحقیق تحلیل عوامل مؤثر بر کاربرد کشاورزی دقیق در استان مازندران بود. این پژوهش کاربردی با رویکرد کیفی و با بهره‌گیری از روش مدل‌سازی ساختاری-تفسیری به انجام رسید. در این تحقیق با مرور نظام‌مند منابع تحقیقاتی به شناسایی عوامل مؤثر بر کاربرد کشاورزی دقیق اقدام شد. سپس داده‌های لازم در قالب پرسشنامه از پاسخگویان جمع‌آوری شد. جامعه آماری تحقیق را خبرگان حوزه کشاورزی دقیق استان تشکیل دادند و نمونه‌گیری برای پل خبرگان، هدفمند و با استفاده از روش نمونه‌گیری قضاوتی بود. تحلیل تحقیقات پیشین نشان داد که به طور کلی ۱۰ عامل بر کاربرد کشاورزی دقیق مؤثر است. نتایج حاصل از پژوهش حاکی از این بود که عامل‌های فنی و حرفه‌ای، اجتماعی و فردی تأثیرپذیرترین عامل‌ها در کاربرد کشاورزی دقیق و عامل‌های اقتصادی، وضعیت اراضی و نظام بهره‌برداری و عامل سیاست‌گذاری و برنامه‌ریزی کلان به‌عنوان تأثیرگذارترین عوامل شناخته شدند. توجه ویژه به این متغیرها در زمین به‌کارگیری کشاورزی دقیق می‌تواند به رشد و توسعه کشاورزی پایدار در استان مازندران کمک کند و بهره‌وری بیشتر را نیز به همراه داشته باشد.

واژه‌های کلیدی: کشاورزی دقیق، کشاورزی پایدار، عوامل مؤثر، مدل‌سازی ساختاری تفسیری، تحلیل میک مک.

^۱ استادیار گروه ترویج و آموزش کشاورزی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری، ساری، ایران.
^۲ استادیار گروه ترویج و آموزش کشاورزی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری، ساری، ایران.

* نویسنده مسئول، پست الکترونیک: o.jamshidi@sanru.ac.ir



تولید غذا و امنیت غذایی به‌عنوان یکی از چالش‌های بنیادی و اساسی در جهان امروز مطرح هستند (آرایش و صبوری، ۱۳۹۴). این در حالی است که جمعیت زمین به‌سرعت در حال افزایش است (Barnes *et al.*, 2019) و این جمعیت نیاز فزاینده‌ای به تولید غذا دارد و از سوی دیگر نیز مسئله تغییر اقلیم، امنیت غذایی قسمت قابل توجهی از کره زمین را به مخاطره انداخته است (Rosenzweig *et al.*, 2020). موارد مذکور موجب شده است که این سیاره در قرن بیست و یکم با چالش‌های عمده، اقتصادی، اجتماعی و محیط‌زیستی مواجه شود (Yarashynskaya & Prus, 2022). بخش کشاورزی نیز از این امر مستثنی نبوده و در حال حاضر با محدودیت منابع فشارهای فزاینده‌ای را متحمل شده است. این در حالی است که کشاورزی در بسیاری از کشورهای خصوصاً در حال پیشرفت، به‌عنوان بخشی کلیدی و محوری اقتصاد عمل می‌کند (Benton, 2016). از این‌رو کشاورزی به تبعیت از سایر بخش‌های اقتصادی نیازمند به‌کارگیری فنون نوین مدیریتی در بدنه خود برای تولید غذای بیشتر و باکیفیت‌تر به‌عنوان مهم‌ترین نیاز مادی بشر است (آرایش و صبوری، ۱۳۹۴).

طی دهه‌های گذشته نیاز به تولید محصولات غذایی سبب رشد و گسترش کشاورزی متعارف شد (Castle *et al.*, 2016)؛ اما نظام‌های کشاورزی متعارف (conventional agriculture)، علیرغم تولید بالاتر محصولات کشاورزی (Yarashynskaya & Prus, 2022)، با مدیریت نادرست آب و مصرف بی‌رویی کودها، علف‌کش‌ها و آفت‌کش‌های شیمیایی که از مهم‌ترین منابع‌های آلودگی محیط‌زیستی هستند، اثرات منفی جبران‌ناپذیری را بر پیکر محیط‌زیست جهانی وارد کرده است (Castle *et al.*, 2016). این مسائل موجب شده است تا نظام‌های کشاورزی متعارف مورد انتقاد شدید قرار گیرند و یک اجماع جهانی در حمایت از محیط‌زیست طبیعی به وجود آید تا نوعی کشاورزی را توسعه دهد که بتواند ضمن افزایش بهره‌وری، کمترین آسیب را به محیط‌زیست وارد کند (Yarashynskaya & Prus, 2022). به‌طور کلی این عوامل سبب شد تا حفظ محیط‌زیست، امنیت و بهداشت غذایی به یکی از چالش‌های بشر در عصر حاضر تبدیل شود و جوامع بین‌المللی در پی یافتن راهبردهای مناسبی برای حل این معضلات و دستیابی به نظام‌های کشاورزی پایدار باشند (آرایش و صبوری، ۱۳۹۴; Castle *et al.*, 2016).

با افزایش نگرانی‌های زیست‌محیطی مصرف‌کنندگان، دولت‌ها و جوامع مختلف در سرتاسر جهان و شرکت‌های تولیدی درصدد توسعه برنامه‌های دوستدار محیط‌زیست برآمدند (Yarashynskaya & Prus, 2022). یکی از این راهبردهای محیط‌زیستی مهم که ظرفیت افزایش بهره‌وری در بخش کشاورزی را نیز دارد، کشاورزی دقیق است (Brouder *et al.*, 2018; Yarashynskaya & Prus, 2022). این نوع از کشاورزی پاسخی به سه چالش مهم نیاز به افزایش تولید به دلیل افزایش جمعیت، کاهش هزینه‌ها از طریق کاهش مصرف نهاده‌ها و حفظ محیط‌زیست در فرآیند تولید است (حسینی و همکاران، ۱۳۸۹؛ ایزدی و حیاتی، ۱۳۹۱) که هم‌اکنون بسیاری از کشورها نیز در حال توسعه و کاربرد آن هستند (Castle *et al.*, 2016). تاریخچه شروع کشاورزی دقیق به سال ۱۹۲۹ و انجام آزمایش‌های خاک، شروع تحلیل‌های فضایی برای کشت در کنار مدیریت تغذیه مزارع برمی‌گردد (Zhang, 2016). در دهه ۱۹۸۰ اصول و مبانی کشاورزی دقیق توسط دکتر پیر روبرت (Pierre Robert) که به پدر کشاورزی دقیق مشهور بود، تئوریزه شد. در ۱۹۸۵ استفاده عملیاتی از سیستم موقعیت‌یاب جهانی (Global Positioning System) (GPS) در کشاورزی شروع شد اما توسعه و تجاری شدن کشاورزی دقیق و همچنین در دسترس قرار گرفتن فناوری‌های آن برای عموم از دهه ۱۹۹۰ آغاز شد (Yarashynskaya & Prus, 2022). در سال ۱۹۹۲ نیز اولین حس‌گر تحت عنوان دکتر خاک (Soil Doctor) معرفی و استفاده شد. طی سال‌ها و دهه‌های بعد نرخ پذیرش فناوری‌های مرتبط با کشاورزی بالاتر رفت به‌طوری‌که تا سال ۲۰۰۵ تنها ۱۲ درصد از ذرت‌کاران و ۱۴ درصد از گندم‌کاران آمریکا از فناوری‌های نرخ متغیر (Variable Rate Technology) (VRT) استفاده می‌کردند (Zhang, 2016). ذکر این نکته ضروری است که سرعت رشد و گسترش کشاورزی دقیق به‌طور عمومی کمتر از انتظارات بوده است (Paustian & Theuvsen, 2017) و این در حالی است که توزیع بسیار نابرابری نیز در سطح جهان دارد (Zhang, 2016) به‌طوری‌که کشاورزی دقیق در کشورهای توسعه یافته با سرعت زیاد در حال رشد بوده اما در کشورهای در حال توسعه یا توسعه‌نیافته سرعت رشد و گسترش آن بسیار کم بوده است (Yarashynskaya & Prus, 2022). این امر منجر به ظهور جریان‌های مختلف تحقیقاتی در خصوص عوامل مؤثر بر به‌کارگیری کشاورزی دقیق بر اساس مناطق جغرافیایی، فناوری‌های خاص کشاورزی دقیق، نوع تولید کشاورزی و گروه‌های ذینفع شده است (Yarashynskaya & Prus, 2022; Zhang, 2016).

تاکنون تعریف‌های متعددی از کشاورزی دقیق ارائه شده است که در این تحقیق تعریف انجمن بین‌المللی کشاورزی دقیق (International Society of Precision Agriculture) (ISPA, 2022) مدنظر قرار گرفته است. در این تعریف «کشاورزی دقیق یک استراتژی مدیریتی است که داده‌های زمانی، مکانی و فردی را جمع‌آوری، پردازش و تجزیه و تحلیل می‌کند سپس آن را با اطلاعات دیگر ترکیب می‌کند تا با پشتیبانی از فرایندهای تصمیم‌گیری مدیریتی، موجب بهبود کارایی استفاده از منابع، بهره‌وری، کیفیت، سودآوری و پایداری تولید کشاورزی شود». این تعریف از کشاورزی دقیق نه تنها از طرف مراجع صنعتی بلکه مراجع تحقیقاتی و دانشگاهی نیز مورد پذیرش واقع شده است (Yarashynskaya & Prus, 2022). در کشاورزی سنتی هر مزرعه به‌عنوان یک واحد تلقی می‌شود و بر اساس برآورد میانگینی از وضعیت شرایط زراعی هر مزرعه، نهاده‌ها اعم از کودها و سم‌های شیمیایی و بذر در اختیار واحد قرار می‌گیرد (Brouder *et al.*, 2018) و این امر باعث افزایش مصرف نهاده‌ها و در نتیجه هزینه تولیدی شده و زیان مالی چشم‌گیری را بر کشاورزی وارد می‌کند (عیدی و همکاران، ۱۳۹۹، Castle *et al.*, 2016). این در حالی است که در کشاورزی دقیق، نوع و میزان نهاده‌ها بر اساس نیاز قسمت‌های مختلف مزرعه در اختیار قرار خواهد گرفت. به عبارتی خودکار شدن عملیات کشاورزی و هدایت ماشین‌های کشاورزی بدون راننده، کاربرد مقادیر متغیر در سم، کود و بذر و نیز عمق کاشت متفاوت با توجه به شرایط ویژه هر قسمت مزرعه را موجب شده است (دهقانی، ۱۴۰۰، Castle *et al.*, 2016) و این امر منجر به کاهش ضایعات، افزایش درآمد، محافظت بهینه از مزارع، استفاده بهینه از نهاده‌ها و حفظ کیفیت محیط‌زیست می‌شود (حسینی و همکاران، ۱۳۸۹؛ عیدی و همکاران، ۱۳۹۹؛ دهقانی، ۱۴۰۰؛ Govaerts *et al.*, 2020; Yarashynskaya & Prus, 2022; Castle *et al.*, 2016; Paustian & Theuvsen, 2017; Brouder *et al.*, 2018).

به طور کلی استفاده از کشاورزی دقیق و فناوری‌های آن موجب کاهش مصرف نهاده‌ها (حسینی و همکاران، ۱۳۸۹؛ آرایش و صبوری، ۱۳۹۴؛ یزدانی‌فر و همکاران، ۱۳۹۴؛ عیدی و همکاران، ۱۳۹۹؛ Castle *et al.*, 2016; Brouder *et al.*, 2018; Yarashynskaya & Prus, 2022; Paustian & Theuvsen, 2017; Yarashynskaya & Prus, 2022; Brouder *et al.*, 2018; Paustian & Theuvsen, 2017; ۱۳۹۹؛ عیدی و همکاران، ۱۳۹۴؛ Castle *et al.*, 2016)، کنترل آفت‌کش‌ها و مدیریت خاک (یزدانی‌فر و همکاران، ۱۳۹۴؛ Yarashynskaya & Prus, 2022; Paustian & Theuvsen, 2017; Castle *et al.*, 2016)؛ افزایش و صبور، ۱۳۹۴)، بیشینه کردن عملکرد (یزدانی‌فر و همکاران، ۱۳۹۴؛ Castle *et al.*, 2016) و در نهایت پلی در جهت رسیدن به کشاورزی پایدار و تضمین امنیت غذایی در کنار حفظ محیط‌زیست (عیدی و همکاران، ۱۳۹۹؛ آرایش و صبوری، ۱۳۹۴؛ Paustian & Theuvsen, 2017; Zhang, 2016; Saiz-Rubio & Rovira-Más, 2020) می‌شود به طوری که برخی محققین معتقدند که کشاورزی دقیق سهم قابل‌توجهی در دستیابی به اهداف توسعه پایدار هزاره دارد (Yarashynskaya & Prus, 2022; Paustian & Theuvsen, 2017). از طرفی از لحاظ اجتماعی نیز پذیرش و به‌کارگیری این نوع کشاورزی دارای مزایایی است که از مهم‌ترین آن‌ها می‌توان به دستیابی به حاکمیت غذایی، بهبود معیشت و کاهش شکاف فناوری در بین کشورها اشاره کرد (Yarashynskaya & Prus, 2022; Govaerts *et al.*, 2020). افزایش تولید محصول (در مقایسه با کشاورزی سنتی) به تغذیه مردم در کشورهای در حال توسعه و تنوع بخشیدن به تولیدات زراعی برای بقیه جهان نیز کمک زیادی می‌کند (Govaerts *et al.*, 2020; Saiz-Rubio & Rovira-Más, 2020). کشاورزی دقیق ابزاری است که معیشت و هویت کشاورزان را به‌واسطه کاربست فناوری‌ها و پردازش اطلاعات تغییر و بازسازی می‌کند (Saiz-Rubio & Rovira-Más, 2020; Paustian & Theuvsen, 2017). به عبارتی این نوع کشاورزی راهکاری مدیریتی است که ظرفیت تغییر نظام‌های کشاورزی مرسوم و معیشت کشاورزی را دارا است (Govaerts *et al.*, 2020; Yarashynskaya & Prus, 2022).

اگرچه در کشاورزی دقیق، فناوری مهم‌ترین موضوع در مدیریت مزرعه است (آرایش و صبوری، ۱۳۹۴) و از سامانه‌های متعددی از جمله (Remote Sensing) RS، (Geographic Information System) GIS، GPS و VRT بهره می‌گیرد (Khanal *et al.*, 2017; Yarashynskaya & Prus, 2022; Wang *et al.*, 2018; Zhang, 2016) و پیچیدگی و هزینه‌بر بودن فناوری‌ها باعث شده است که توجه اقتصادی آن با تردیدهایی مواجه شود (آرایش و صبوری، ۱۳۹۴) اما به نظر می‌رسد با توجه به چالش‌های عمده‌ای که جهان، در زمین آب، غذا، آلودگی محیط‌زیست و منابع انرژی با آن‌ها روبرو است، نسل‌های آینده ناگزیر به روی آوردن چنین شیوه‌هایی خواهند بود (Govaerts *et al.*, 2020). تحقیقات داخلی نشان داده است که سامانه

تحلیل عوامل مؤثر بر کاربرد کشاورزی دقیق در استان مازندران با رویکرد مدل سازی...

کشاورزی متداول یا مرسوم به واسطه کاربرد بی‌رویه نهاده‌های شیمیایی آسیب‌های زیادی به محیط‌زیست، منابع طبیعی و سلامتی انسان‌ها (عیدی و همکاران، ۱۳۹۹) وارد کرده است. در همین راستا توسعه فناوری‌های کشاورزی دقیق در ایران، طی چند سال گذشته مورد توجه مراجع علمی قرار گرفته است (آرایش و صبوری، ۱۳۹۴) اما رشد و توسعه عملیاتی و تجاری آن محدود بوده است. در استان مازندران نیز که به‌عنوان قطب تولید بسیاری از محصولات کشاورزی در کشور مطرح است و در بخش تولیدات کشاورزی و دامی، قسمت عمده‌ای از نیازهای کشور از این منطقه تأمین می‌شود (سازمان مدیریت و برنامه‌ریزی استان، ۱۳۹۷) اما برخی مطالعات حاکی از آن است که این تولیدات با استفاده زیاد از نهاده‌ها به‌ویژه سموم و کودهای شیمیایی همراه بوده است و این امر موجب پیامدهای منفی محیط‌زیستی از یک‌طرف و تهدید سلامت مصرف‌کنندگان از طرف دیگر شده است (اسدالله‌پور و همکاران، ۱۳۹۹). همچنین، مطابق با آخرین آمار منتشرشده از سوی آژانس بین‌المللی تحقیقات سرطان (International Agency for Research on Cancer (IARC) سازمان بهداشت جهانی، کشور ایران بعد از کشور هندوستان و پاکستان رتبه سوم (۶/۷ درصد) میزان سرطان را در بین کشورهای جنوب مرکزی آسیا دارا بوده است (WHO, 2020). همچنین، نتایج برخی مطالعات حاکی از آن بود که استان‌های شمالی و مرکزی نسبت به سایر مناطق کشور بیشترین خطر ابتلا به سرطان را داشته‌اند (استاد قادری و همکاران، ۱۴۰۰).

اگرچه استان مازندران از جمله استان‌های مهم کشاورزی کشور و تولیدکننده عمده برخی از این نوع محصولات است اما این تولیدات با استفاده زیاد از نهاده‌ها به‌ویژه سموم و کودهای شیمیایی همراه بوده و به سزاکارهای تولید محصولات سالم و ارگانیک توجه شایانی نشده است (جمشیدی و شفیعی، ۱۴۰۲). مطابق آمار در سال ۱۴۰۰ بیش از ۱۰۵ هزار تن انواع کود شیمیایی و ۵ هزار تن انواع سموم شیمیایی در استان مازندران مصرف شده است (سند توسعه کشاورزی، ۱۴۰۱) که این میزان نسبت به ۱۰ سال قبل رشد چند برابری داشته در حالی که میزان بهره‌وری به همین نسبت افزایش پیدا نکرده است و در مقایسه با کشورهای توسعه یافته راندمان سطح زیر کشت پایین است (حسینی‌کردخیلی و همکاران، ۱۳۹۹). استان مازندران از جمله مهم‌ترین مناطق تولید محصولات کشاورزی خصوصاً باغی است و از ظرفیت‌های بالقوه‌ای همچون موقعیت جغرافیایی، تنوع آب و هوایی، جذابیت توریستی، نیروی کار جوان و تحصیل‌کرده برخوردار است (امیرنژاد و همکاران، ۱۳۹۹). همچنین علیرغم پایین بودن عملکرد میانگین، بخش مهمی از تولیدکنندگان پیشرو استان دارای عملکرد مطلوب و بالایی هستند. این شکاف عملکردی ناشی از مدیریت صحیح و بهینه مزارع و باغات در کنار استفاده از فناوری‌ها و تجهیزات مدرن و به‌روز است. وجود دانشگاه تخصصی کشاورزی در استان در کنار مرکز ترویج و توسعه تکنولوژی‌های هراز که دارای فناوری‌های مدرن و به‌روز اجرای کشاورزی دقیق در استان هستند حاکی از وجود این فناوری‌ها و دانش کاربرد آن‌ها در بین نیروهای متخصص است؛ اما بررسی‌ها حاکی از به‌کارگیری بسیار پایین این فناوری‌ها در استان است. این مسائل در کنار ظرفیت‌های بی‌بدیل این استان برای توسعه کشاورزی فناورانه موجب شد که این تحقیق با هدف پاسخ به این سؤال انجام شود که چه عواملی بر کاربرد کشاورزی دقیق در استان مذکور مؤثر است؟ و میزان تأثیرگذاری و تأثیرپذیری هر کدام از این عوامل تا چه میزان برآورد می‌شود؟

روش پژوهش

پژوهش حاضر از لحاظ هدف کاربردی و از حیث روش توصیفی-پیمایشی و با رویکرد کیفی تحلیل شده است. برای انجام این تحقیق، ابتدا عوامل مؤثر بر کاربرد کشاورزی دقیق با استفاده از ادبیات تحقیق استخراج شده است (جدول ۲). در این تحقیق به‌منظور پیکربندی عوامل مؤثر بر کاربرد کشاورزی دقیق از رویکرد کیفی مدل‌سازی ساختاری تفسیری (International Agency for Research on Cancer (IARC) (ISM) که روشی مؤثر و کارا برای موضوعاتی است که در آن متغیرهای کیفی، در سطوح متفاوت اهمیت، بر یکدیگر آثار متقابل دارند (باصولی و همکاران، ۱۴۰۰)؛ استفاده شده است. گروه پاسخگویان این تحقیق خبرگان و کارشناسان مطلع از کشاورزی دقیق در استان مازندران بودند. این افراد خبره کسانی بودند که با کشاورزی دقیق و ابعاد و عملیات آن آشنایی داشتند و یا در این حوزه فعال بودند. بر اساس نظریه وارفیلد در مدل‌سازی ساختاری-تفسیری باید تعداد خبرگان بین ۱۲ تا ۲۵ نفر انتخاب شود (آذر و همکاران، ۱۳۹۲؛ بهمنی و نامیان، ۱۳۹۹) که در این تحقیق نیز از ۲۳ خبره کشاورزی دقیق شامل کارشناسان سازمان جهاد کشاورزی استان مازندران و فعالان بخش خصوصی استفاده شد. در این پژوهش نمونه‌گیری، هدفمند و با استفاده از روش نمونه‌گیری قضاوتی بود. در این روش افرادی برای نمونه

انتخاب می‌شوند که برای ارائه اطلاعات موردنظر در بهترین موقعیت قرار دارند. به عبارتی دیگر طرح نمونه‌گیری قضاوتی زمانی مطرح می‌شود که طبقه محدودی از افراد دارای اطلاعاتی هستند که محقق به دنبال آن‌ها است (رجب‌پور، ۱۳۹۴). ابزار اصلی تحقیق پرسشنامه بود که بر اساس متغیرهای استخراج شده از مرور منابع پیشین و در قالب ISM تهیه و پس از بررسی روایی محتوایی آن توسط اساتید و متخصصان امر در اختیار پاسخگویان قرار گرفت.

روش ساختاری-تفسیری ISM

روش ISM توسط وارفیلد در سال ۱۹۷۳ ایجاد شده و در تحقیقات گسترده‌ای مورد بهره‌برداری قرار گرفته است. این روش با ارائه فرایند سلسله مراتبی، ساختارهای سیستمی پیچیده را مدل‌سازی می‌کند و در تصمیم‌گیری مورد استفاده قرار می‌گیرد (Kubule et al., 2019). ISM فرایندی متعامل است که در آن، مجموعه‌ای از عناصر مختلف و مرتبط با همدیگر در یک مدل سیستماتیک جامع ساختار بندی می‌شوند (آذر و همکاران، ۱۳۹۲). این روش روابط میان معیارها را به صورت علت و معلولی و وابستگی‌های متقابل میان کل عناصر یک سیستم مشخص می‌کند (Shahabadkar et al., 2012). در این روش ابتدا به شناسایی عوامل مؤثر بر موضوع تحقیق پرداخته می‌شود و سپس روابط بین این عوامل و وابستگی میان آن‌ها تشریح می‌شود (کشاورز، ۱۳۹۸).

در این تکنیک، مجموعه‌ای از عناصر مختلف متفاوت به طور مستقیم و غیرمستقیم در یک مدل جامع سیستماتیک ساخته می‌شوند. برای هر مشکل پیچیده‌ای که مورد بررسی قرار می‌گیرد، تعدادی از عوامل ممکن است مربوط به یک مسئله یا مشکل باشد. با این حال، روابط مستقیم و غیرمستقیم بین عوامل، وضعیت را بسیار دقیق تر از معیارهای فردی که در انزوا قرار دارد، توصیف می‌کند (Attri et al., 2013). ISM روش مناسبی برای تحلیل تأثیر یک عنصر بر سایر عناصر یک سیستم است. این روش، ترتیب و جهت روابط پیچیده میان عناصر یک سیستم را بررسی می‌کند. به عبارت دیگر الگوی ISM روشی است که به وسیله آن می‌توان بر پیچیدگی بین عناصر غلبه کرد (آذر و همکاران، ۱۳۹۲). مدلی که با استفاده از این روش شناسایی به دست می‌آید، ساختاری از یک مسئله یا موضوع پیچیده، یک سیستم یا حوزه مطالعاتی را نشان می‌دهد که الگویی به دقت طراحی شده است (Kumar & Dixit, 2018). از جمله ویژگی‌های این روش، به قابل درک بودن آن برای طیف وسیعی از کاربران، یکپارچگی آن در ترکیب نظرهای دریافتی از خبرگان و قابلیت کارکرد آن در مطالعه سامانه‌های پیچیده دارای اجزای متعدد می‌توان اشاره کرد (باصولی و همکاران، ۱۴۰۰). برای اجرای تکنیک ISM سه مرحله اصلی باید طی شود که در ادامه هریک از آن‌ها تشریح شده و یافته‌های تحقیق نیز بر اساس این مراحل ارائه شده است.

شناسایی ابعاد و عوامل مؤثر بر توسعه کشاورزی دقیق

در این تحقیق برای شناسایی و دسته‌بندی عوامل مؤثر بر کاربرد کشاورزی دقیق، از مرور منابع تحقیقاتی پیشین بهره گرفته شد.

تعیین رابطه مفهومی بین ابعاد و شاخص‌ها با استفاده از ISM

تعیین رابطه مفهومی بین ابعاد و شاخص‌ها در روش ISM دارای چهار مرحله به شرح زیر است:

تشکیل ماتریس خودتعاملی ساختاری

در این گام و بر اساس نظرات استخراج شده از خبرگان، رابطه اثرگذاری و اثرپذیری میان هر جفت از مسائل استخراج شده، تعریف شد. خروجی این مرحله به صورت ماتریس ساختاری خودتعاملی (SSIM) خواهد بود که روابط زوجی میان مسائل مربوط به کشاورزی دقیق را نشان می‌دهد. این ماتریس یک ماتریس، به ابعاد تعداد عوامل است که در سطر و ستون آن عوامل به ترتیب ذکر می‌شوند (Attri et al., 2013). به عبارتی این ماتریس برای تجزیه و تحلیل ارتباط بین عناصر تشکیل و برای نشان دادن ارتباطات بین آن‌ها از نمادهای جدول ۱ استفاده می‌کند؛

جدول ۱- نمادها و روابط آن‌ها در تشکیل ماتریس خودتعاملی ساختاری

O	X	A	V
عدم وجود رابطه بین I و J	رابطه دو سویه بین I و J	متغیر J بر I تأثیر دارد	متغیر I بر J تأثیر دارد

تشکیل ماتریس دستیابی اولیه

برآیند نظرات خبرگان که در پرسشنامه‌ها انعکاس یافته است، بر مبنای قاعده رأی اکثریت (مد) خواهد بود. در این مرحله ماتریس ساختاری خودتاملی ساختاری برحسب قواعد زیر به ماتریسی با اعداد ۰ و ۱ تبدیل می‌شود که ماتریس دستیابی اولیه (RM) نامیده می‌شود (Faisal et al., 2010)

الف) اگر خانه i, j در ماتریس SSIM نماد V گرفته است، خانه مربوط در ماتریس دستیابی عدد ۱ و در خانه قرینه آن عدد ۰ درج می‌شود.

ب) اگر خانه i, j در ماتریس SSIM نماد A گرفته است، خانه مربوط در ماتریس دستیابی عدد ۰ و در خانه قرینه آن عدد ۱ درج می‌شود.

ج) اگر خانه i, j در ماتریس SSIM نماد X گرفته است، خانه مربوط در ماتریس دستیابی عدد ۱ و در خانه قرینه آن عدد ۱ درج می‌شود.

د) اگر خانه i, j در ماتریس SSIM نماد O گرفته است، خانه مربوط در ماتریس دستیابی عدد ۰ و در خانه قرینه آن عدد ۰ درج می‌شود.

تشکیل ماتریس دستیابی نهایی

برای تولید ماتریس دستیابی نهایی باید اصل انتقال پذیری را در روابط مسائل وارد و ماتریس دستیابی اولیه را سازگار کرد. برابر اصل انتقال پذیری در صورتی که متغیر الف با متغیر ب در ارتباط باشد و متغیر ب با متغیر ج مرتبط باشد، در نتیجه متغیر الف نیز باید با متغیر ج در ارتباط باشد. برای به دست آوردن ماتریس دستیابی نهایی ماتریس مجاورت را باید به ماتریس واحد اضافه کرد و در صورت تغییر نکردن درایه‌های ماتریس، به توان n خواهد رسید (رجب پور، ۱۳۹۴) و بدین ترتیب ماتریس دستیابی نهایی سازگار شده به دست خواهد آمد.

تعیین روابط و سطح بندی بین ابعاد و شاخص‌ها

برای تعیین سطح مسائل در مدل نهایی، به ازای هر یک از آن‌ها، سه مجموعه دستیابی، مقدم و مشترک تشکیل می‌شود. این مجموعه‌ها در ساختار ماتریس نهایی و طراحی سیستم نقش اساسی دارند. مجموعه دستیابی شامل مسئله‌هایی است که دیگر مسائل از آن تأثیر می‌پذیرند. به‌طور مشابه مجموعه مقدم شامل مسئله‌هایی است که بر مسئله مذکور تأثیر می‌گذارند. مجموعه مشترک نیز اشتراک مجموعه دستیابی و مجموعه خروجی است (Jena et al., 2017). پس از تعیین این مجموعه‌ها نوبت به تعیین سطح شاخص‌ها می‌رسد. منظور از سطح عوامل این است که شاخص‌ها بر سایر شاخص‌ها تأثیرگذارند یا از سایر شاخص‌ها تأثیر می‌پذیرند. شاخص‌هایی که در بالاترین سطح (۱) قرار می‌گیرند، تحت تأثیر سایر شاخص‌ها هستند و شاخص دیگری را تحت تأثیر قرار نمی‌دهند. در اولین جدول شاخصی دارای بالاترین سطح است که مجموعه دستیابی و عناصر مشترک آن کاملاً یکسان باشند. پس از شناسایی این شاخص یا شاخص‌ها، آن‌ها از جدول حذف می‌شوند و با سایر شاخص‌های باقیمانده جدول بعدی تشکیل می‌شود. این فرایند تا جایی که تمام شاخص‌ها سطح بندی شوند ادامه می‌یابد (Attri et al., 2013).

طراحی مدل ساختاری تفسیری عوامل موثر بر توسعه کشاورزی دقیق

برای ترسیم مدل ساختاری تفسیری، با در نظر گرفتن مجموعه دستیابی و مجموعه مقدم ماتریس نهایی، ارتباطات متقابل میان عوامل ترسیم می‌شود (Jena et al., 2017). یکی دیگر از اقدامات این گام، دسته بندی مسائل بر اساس قدرت اثرگذاری (نفوذ) و اثرپذیری (وابستگی) آن‌ها است. اثرگذاری (نفوذ) یک مسئله، به معنای تعداد مسائلی است که از آن مسئله اثر می‌پذیرند. اثرپذیری (وابستگی) نیز به معنای مجموعه مسائلی است که بر مسئله مورد نظر، تأثیرگذار هستند. در این تحقیق برای بررسی قدرت نفوذ-وابستگی از تحلیل میک مک استفاده شد.

تحلیل میک مک MicMac قدرت نفوذ-وابستگی

جمع سطری مقادیر در ماتریس دستیابی نهایی برای هر عنصر بیانگر میزان نفوذ و جمع ستونی نشانگر میزان وابستگی خواهد بود. شاخص‌هایی که در سطوح پایین تر مدل قرار دارند، به دلیل دارا بودن قدرت پیش برندگی بیشتر به‌عنوان شاخص هادی و شاخص‌هایی که در سطوح بالاتر قرار دارند، به دلیل وابستگی به شاخص‌های هادی، پیرو محسوب می‌شوند (باصولی و همکاران، ۱۴۰۰). در تحلیل ISM بر اساس قدرت نفوذ و وابستگی، متغیرها در چهار دسته از عناصر طبقه بندی می‌شوند؛

متغیرهای خودمختار: این دسته شامل متغیرهایی است که دارای قدرت نفوذ و وابستگی ضعیف و متوسط هستند. این متغیرها به نسبت غیر متصل به سیستم هستند و دارای ارتباطات کم و ضعیف با سیستم هستند.

متغیرهای وابسته: این نوع از متغیرها دارای قدرت نفوذ کم ولی وابستگی به نسبت بالا هستند. این دسته از متغیرها معمولاً متغیرهای نتیجه یا هدف هستند.

متغیرهای متصل (پیوندی): سومین دسته متغیرهایی هستند که دارای قدرت نفوذ زیاد و وابستگی زیاد هستند. این متغیرها غیر ایستا هستند، زیرا هر نوع تغییر در آنها می‌تواند سیستم را تحت تأثیر قرار دهد و در نهایت بازخورد سیستم نیز می‌تواند این متغیرها را دوباره تغییر دهد.

متغیرهای مستقل: متغیرهایی که دارای قدرت نفوذ زیاد ولی وابستگی کم هستند جزء متغیرهای نفوذی یا به عبارت دیگر محرک قرار می‌گیرند (Jena et al., 2017; رجب‌پور، ۱۳۹۴).

یافته‌ها و بحث

ویژگی‌های فردی و حرفه‌ای پاسخگویان

با توجه به نتایج مندرج در جدول ۲ میانگین سن پاسخگویان ۴۰/۵ سال، سابقه شغلی ۱۳/۵ و میانگین سابقه فعالیت در حوزه‌های کشاورزی دقیق ۶/۵ سال بود. حدود ۸۳ درصد از خبرگان را مردان و ۱۷ درصد را زنان تشکیل دادند. ۷۴ درصد از پاسخگویان سازمان جهاد کشاورزی استان مازندران و مابقی دارای شغل آزاد و عضو هیئت‌علمی بودند. همچنین ۲۲ درصد از آنها دارای مدرک تحصیلی دکتری، ۵۲ درصد کارشناسی ارشد و مابقی کارشناسی و فوق‌دیپلم بودند. بر اساس نتایج ۶۰ درصد از پاسخگویان کارشناس، ۲۲ درصد مدیر و مابقی ۱۸ درصد نیز هیئت‌علمی و با شغل آزاد بودند.

شناسایی عوامل مؤثر بر کاربرد کشاورزی دقیق

با تحلیل آخرین و مرتبط‌ترین تحقیقات داخلی و خارجی صورت گرفته، در مجموع ۱۰ عامل، به‌عنوان عوامل مؤثر بر کاربرد کشاورزی دقیق استخراج و شناسایی شد (جدول ۳) و در ادامه مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت.

جدول ۲- ویژگی‌های فردی و حرفه‌ای پاسخگویان مورد مطالعه

متغیر	سطوح متغیر	فراوانی	درصد	میانگین	کمینه	بیشینه
سن (سال)	۴۰ و کمتر	۱۴	۶۱	۴۰/۵	۲۴	۵۹
	۴۰-۵۵	۶	۲۶			
جنسیت	مرد	۱۹	۸۳	-	-	-
	زن	۴	۱۷	-	-	-
سطح تحصیلات	دکتری	۵	۲۲	-	-	-
	کارشناسی ارشد	۱۲	۵۲			
	کارشناسی	۳	۱۳			
	کاردانی	۳	۱۳			
سابقه شغلی (سال)	کمتر از ۱۰ سال	۶	۲۶	۱۳/۵	۴	۲۸
	۱۰ سال و بیشتر	۱۴	۶۰			
	هیئت‌علمی	۳	۱۳			

تحلیل عوامل مؤثر بر کاربرد کشاورزی دقیق در استان مازندران با رویکرد مدل سازی...

ادامه جدول ۲

متغیر	سطوح متغیر	فراوانی	درصد	میانگین	کمینه	بیشینه
سابقه کار در حوزه کشاورزی دقیق	کمتر از ۱۰ سال	۱۶	۷۰	۶/۵	۲	۱۵
	۱۰ سال و بیشتر	۷	۳۰			
نوع شغل	کارمند جهاد کشاورزی استان مازندران	۱۷	۷۴			
	هیئت علمی	۳	۱۳			
	آزاد	۳	۱۳			

جدول ۳- عوامل مؤثر بر کاربرد کشاورزی دقیق در منابع

عوامل اصلی	زیرعامل	تحقیقات مرتبط
عامل اطلاعاتی، آموزشی	(برگزاری کلاس‌ها، دوره‌ها و محتواهای رسانه‌ای، تبلیغات و ترویج شیوه‌های نوین کشاورزی)	شیرخانی و همکاران (۱۳۹۵)؛ قلی‌خانی فراهانی (۱۳۹۴)؛ آرایش و صبوری (۱۳۹۴)؛ زارع مهرجردی و همکاران (۱۳۹۴)؛ حسینی و همکاران (۱۳۸۹)؛ Fountas <i>et al.</i> (2006); Pandit & Student (2012); Paustian & Theuvsen (2017); Tamirat <i>et al.</i> (2018); Michels <i>et al.</i> (2020); Castle <i>et al.</i> (2016); Yarashynskaya & Prus (2022); Wang <i>et al.</i> (2018); Tey & Bridal (2012)
عامل اقتصادی	در دسترس بودن بودجه، اعتبارات و مشوق‌های مالی، هزینه‌ها و سودآوری، وضعیت اقتصادی کشاورزان و هزینه بالای تجهیزات	عیدی و همکاران (۱۳۹۹)؛ یزدانی‌فر و همکاران (۱۳۹۴)؛ زارع مهرجردی و همکاران (۱۳۸۹)؛ حسینی و همکاران (۱۳۹۴)؛ Fountas <i>et al.</i> (2006); Kernecker <i>et al.</i> (2020); Barnes <i>et al.</i> (2019); Yarashynskaya & Prus (2022); Tey & Bridal (2012)
عامل فنی و حرفه‌ای	(اجرای پایلوت طرح، وجود نرم‌افزارها و سهولت کاربرد، زمان‌بر بودن اجراء وجود دانش فنی استفاده از تجهیزات)	حسینی و همکاران (۱۳۸۹)؛ آرایش و صبوری (۱۳۹۴)؛ زارع مهرجردی و همکاران (۱۳۹۴)؛ بهجویی و همکاران (۱۳۹۳)؛ Pandit & Student (2012); Kernecker <i>et al.</i> (2020); Castle <i>et al.</i> (2016); Barnes <i>et al.</i> (2019); Yarashynskaya & Prus (2022); Wang <i>et al.</i> (2018)
عامل مدیریتی	(مدیریت صحیح مزارع و باغات، مدیریت ارتباط با مراجع تحقیقاتی، مدیریت تجهیزات و داده‌ها)	عیدی و همکاران (۱۳۹۹)؛ قلی‌خانی فراهانی (۱۳۹۴)؛ آرایش و صبوری (۱۳۹۴)؛ زارع مهرجردی و همکاران (۱۳۹۴)؛ حسینی و همکاران (۱۳۸۹)؛ Isgin <i>et al.</i> (2008); Kernecker <i>et al.</i> (2020); Michels <i>et al.</i> (2020); Wang <i>et al.</i> (2018); Tey & Bridal (2012)
عامل تکنولوژیکی	(در دسترس بودن فناوری‌ها، توسعه مکانیزاسیون، پیچیدگی فناوری‌ها)	ولی‌زاده و همکاران (۱۴۰۰)؛ عیدی و همکاران (۱۳۹۹)؛ زارع مهرجردی و همکاران (۱۳۹۴)؛ Fountas <i>et al.</i> (2006); Tamirat <i>et al.</i> (2018); Kernecker <i>et al.</i> (2020); Kernecker <i>et al.</i> (2020); Michels <i>et al.</i> (2020); Castle <i>et al.</i> (2016); Barnes <i>et al.</i> (2019); Yarashynskaya & Prus (2022); Brouder <i>et al.</i> (2018); Tey & Bridal (2012)
عامل فردی	(دانش و آگاهی کشاورزان، ریسک‌پذیری کشاورزان، دانش فنی کارشناسان)	ولی‌زاده و همکاران (۱۴۰۰)؛ شیرخانی و همکاران (۱۳۹۵)؛ قلی‌خانی فراهانی (۱۳۹۴)؛ بهجویی و همکاران (۱۳۹۳)؛ Isgin <i>et al.</i> (2008); Tamirat <i>et al.</i> (2018); Castle <i>et al.</i> (2016); Barnes <i>et al.</i> (2019); Yarashynskaya & Prus (2022); Brouder <i>et al.</i> (2018); Tey & Bridal (2012)

ادامه جدول ۳

تحقیقات مرتبط	زیرعامل	عوامل اصلی
قلی خانی فراهانی (۱۳۹۴)؛ آرایش و صبوری (۱۳۹۴)؛ حسینی و همکاران (۱۳۸۹)؛ بهجویی و همکاران (۱۳۹۳)؛ Barnes <i>et al.</i> (2019); Yarashynskaya & Prus (2022); Brouder <i>et al.</i> (2018); Tey & Bridal (2012)	توجه به کشاورزی دقیق در برنامه‌ریزی کلان کشاورزی، اولویت‌بخشی کشاورزی دقیق در برنامه‌ریزی، اطلاع پیدا کردن سیاست‌گذاران از منافع کشاورزی دقیق	عامل سیاست‌گذاری و برنامه‌ریزی کلان
قلی خانی فراهانی (۱۳۹۴)؛ عیدی و همکاران (۱۳۹۹)؛ Kernecker <i>et al.</i> (2020); Barnes <i>et al.</i> (2019); Yarashynskaya & Prus (2022); Tey & Bridal (2012)	(عملکرد سازمان‌ها و نهادهای مروج فناوری‌های نو، اعتماد عملکرد و اثربخشی سازمان‌های تحقیقاتی، ارتباط کشاورز و مراجع دانشگاهی و تحقیقاتی، هماهنگی میان بخشی بین سازمان‌ها، ایجاد نهادهای حمایت‌کننده)	عامل سازمانی و نهادی
یزدانی‌فر و همکاران (۱۳۹۴)؛ آرایش و صبوری (۱۳۹۴)؛ Michels <i>et al.</i> (2020); Yarashynskaya & Prus (2022); Brouder <i>et al.</i> (2018); Tey & Bridal (2012)	(مشارکت کشاورزان و مراجع تحقیقاتی، ترویج پروژه‌های مشابه موفق، کار جمعی و تیم‌سازی و شبکه‌سازی)	عامل اجتماعی
حسینی و همکاران (۱۳۸۹)؛ زارع مهرجردی و همکاران (۱۳۹۴)؛ بهجویی و همکاران (۱۳۹۳)؛ Isgin <i>et al.</i> (2008); Pandit & Student (2012); Paustian & Theuvsen (2017); Tamirat <i>et al.</i> (2018); Kernecker <i>et al.</i> (2020); Michels <i>et al.</i> , 2020; Castle <i>et al.</i> (2016); Barnes <i>et al.</i> (2019); Yarashynskaya & Prus (2022); Tey & Bridal (2012)	(خرد بودن اراضی، پراکندگی اراضی، تغییرات کاربری، حاصلخیزی کم، نوع نظام بهره‌برداری، عملکرد نظام بهره‌برداری)	عامل وضعیت اراضی و نظام بهره‌برداری

تشکیل ماتریس خودتعاملی ساختاری (SSIM) Structural Self-Interaction Matrix

بر اساس نمادها و روابط آن‌ها ماتریس خودتعاملی ساختاری عوامل مؤثر بر کاربرد کشاورزی دقیق به شرح جدول ۴ به دست آمد.

جدول ۴- ماتریس خودتعاملی ساختاری عوامل مؤثر بر کاربرد کشاورزی دقیق

X1	X2	X3	X4	X5	X6	X7	X8	X9	X10	عوامل اثرگذار بر توسعه کشاورزی دقیق
	X	V	A	V	V	A	V	A	X	۱- عامل اطلاعاتی، آموزشی
		X	X	O	O	A	X	A	X	۲- عامل اقتصادی
			A	X	O	X	A	X	X	۳- عامل فنی و حرفه‌ای
				V	V	A	A	A	O	۴- عامل مدیریتی
					V	A	X	O	V	۵- عامل تکنولوژیکی
						X	A	A	O	۶- عامل فردی
							O	V	X	۷- عامل سیاست‌گذاری و برنامه‌ریزی کلان
								V	V	۸- عامل سازمانی و نهادی
									X	۹- عامل اجتماعی
										۱۰- عامل وضعیت اراضی و نظام بهره‌برداری

تحلیل عوامل مؤثر بر کاربرد کشاورزی دقیق در استان مازندران با رویکرد مدل سازی...

تشکیل ماتریس دستیابی اولیه (RM) و تشکیل ماتریس نهایی

ماتریس دستیابی نهایی عوامل مؤثر بر توسعه کشاورزی دقیق پس از سازگار کردن روابط وارد شده در ماتریس به شرح جدول ۵ به دست آمد. همان گونه که مشخص است دو سلول از ماتریس دستیابی نهایی در اثر سازگاری درونی ماتریس تغییر پیدا کرد که در جدول نشان داده شده است.

جدول ۵- ماتریس دستیابی نهایی عوامل مؤثر بر توسعه کشاورزی دقیق

عوامل اثرگذار بر توسعه کشاورزی دقیق	X1	X2	X3	X4	X5	X6	X7	X8	X9	X10
X1 عامل اطلاعاتی، آموزشی	۱	۱	۱	۰	۱	۱	۰	۱	۰	۱
X2 عامل اجتماعی	۱	۱	۱	۰	۰	۰	۰	۱	۱	۱
X3 عامل فنی و حرفه‌ای	۰	۱	۱	۰	۱	۰	۱	۰	۱	۱
X4 عامل وضعیت اراضی و نظام بهره‌برداری	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۰	۰
X5 عامل سازمانی و نهادی	۰	۰	۰	۰	۱	۱	۰	۱	۰	۱
X6 عامل فردی	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۱	۱	۰	۰
X7 عامل تکنولوژیکی	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱
X8 عامل سیاست‌گذاری و برنامه‌ریزی کلان	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱
X9 عامل اقتصادی	۱	۱	۱	۰	۰	۰	۰	۱	۱	۱
X10 عامل مدیریتی	۱	۱	۱	۰	۰	۰	۰	۱	۱	۱

* سلول‌هایی که پس از سازگاری درونی تغییر پیدا کرده‌اند.

تعیین روابط و سطح‌بندی بین ابعاد و شاخص‌ها

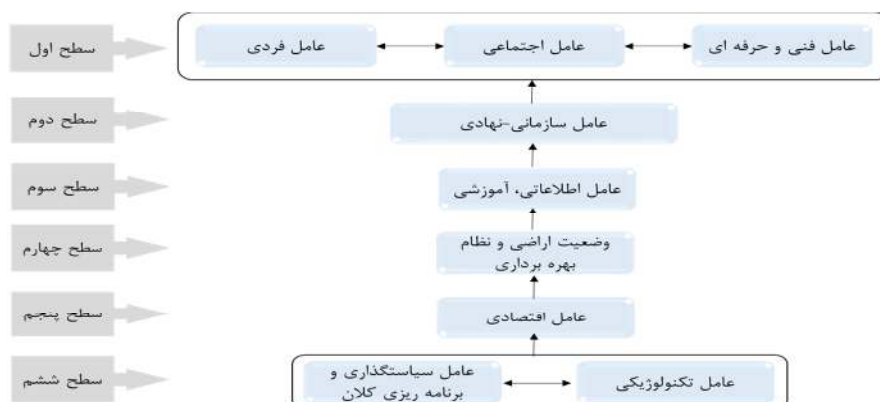
در جدول ۶ سطوح عوامل مؤثر بر کاربرد کشاورزی دقیق نشان داده شده است.

جدول ۶- تعیین سطوح عوامل مؤثر بر کاربرد کشاورزی دقیق

عوامل	مجموعه دستیابی (سطرها)	مجموعه مقدم (ستون‌ها)	مشترک	سطح
X1 عامل اطلاعاتی، آموزشی	۱۰-۸-۶-۵-۳-۲-۱	۱۰-۹-۸-۷-۴-۲-۱	۸-۱	۳
X2 عامل اجتماعی	۱۰-۹-۸-۴-۳-۲-۱	۱۰-۹-۸-۷-۴-۳-۲-۱	۱۰-۹-۸-۴-۳-۲-۱	۱
X3 عامل فنی و حرفه‌ای	۱۰-۹-۷-۵-۳-۲	۱۰-۹-۸-۷-۵-۴-۳-۲-۱	۱۰-۹-۷-۵-۳-۲	۱
X4 عامل وضعیت اراضی و نظام بهره‌برداری	۶-۵-۴-۳-۲-۱	۹-۸-۷-۴-۲	۴	۴
X5 عامل سازمانی و نهادی	۱۰-۸-۶-۵-۳	۸-۷-۵-۴-۳-۱	۸-۵	۲
X6 عامل فردی	۷-۶	۹-۸-۷-۶-۵-۴-۱	۷-۶	۱
X7 عامل تکنولوژیکی	۱۰-۹-۷-۶-۵-۴-۳-۲-۱	۱۰-۷-۶-۳	۷	۶
X8 عامل سیاست‌گذاری و برنامه‌ریزی کلان	۱۰-۹-۸-۶-۵-۴-۳-۲-۱	۸-۵-۲-۱	۸	۶
X9 عامل اقتصادی	۱۰-۹-۶-۴-۳-۲-۱	۱۰-۹-۸-۷-۳-۲	۹	۵
X10 عامل مدیریتی	۱۰-۹-۷-۳-۲-۱	۱۰-۹-۸-۷-۵-۳-۲-۱	۱۰-۹-۷-۳-۲-۱	۱

طراحی مدل ساختاری تفسیری عوامل مؤثر بر کاربرد کشاورزی دقیق

در این مرحله ناظر به سطوح تعیین شده و ماتریس دستیابی نهایی، مدل ساختاری تفسیری عوامل مؤثر بر کاربرد کشاورزی دقیق ترسیم شده است. این مدل در نگاره ۱ نشان داده شده است.



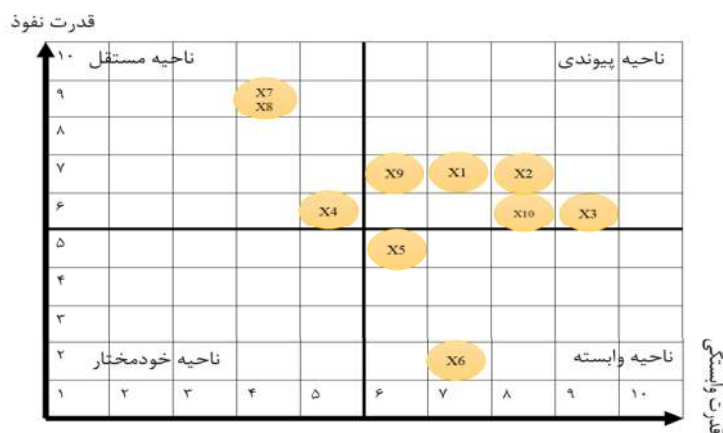
نگاره ۱- مدل عوامل مؤثر بر کاربرد کشاورزی دقیق در استان مازندران

تحلیل میک مک MicMac قدرت نفوذ- وابستگی

درجه قدرت نفوذ و وابستگی عوامل مؤثر بر کاربرد کشاورزی دقیق در جدول ۷ و نگاره ۲ نشان داده شده است. همان گونه که مشخص است عامل سازمانی و نهادی (X5) و فردی (X6) در دسته شاخص های وابسته یعنی دارای قدرت نفوذ کم و وابستگی زیاد قرار گرفتند. از سوی دیگر شاخص ها عامل وضعیت اراضی و نظام بهره برداری (X4)، عامل تکنولوژیکی (X7) و عامل سیاست گذاری و برنامه ریزی کلان (X8) دارای قدرت نفوذ قوی اما وابستگی ضعیف یا به عبارتی متغیرهای مستقل بودند. بقیه متغیرهای تحقیق از جمله عامل اطلاعاتی، آموزشی (X1)، عامل اجتماعی (X2)، عامل فنی و حرفه ای (X3)، عامل اقتصادی (X9) و عامل مدیریتی (X10) از قدرت نفوذ بالا و وابستگی زیادی برخوردار بودند.

جدول ۷- درجه قدرت نفوذ و وابستگی عوامل مؤثر بر کاربرد کشاورزی دقیق

عوامل اثرگذار بر کاربرد کشاورزی دقیق	X10	X9	X8	X7	X6	X5	X4	X3	X2	X1
نفوذ	۶	۷	۹	۹	۲	۵	۶	۶	۷	۷
وابستگی	۸	۶	۴	۴	۷	۶	۵	۹	۸	۷



نگاره ۲- نمودار قدرت-وابستگی (تحلیل میک مک)

نتیجه گیری و پیشنهادات

کشاورزی دقیق، از جمله جدیدترین فناوری‌ها در عرصه‌ی کشاورزی است که بر اساس سه اصل افزایش عملکرد، افزایش بهره‌وری اقتصادی و کاهش اثرات سوء زیست‌محیطی دنبال می‌شود. کاربرد و توسعه فناوری‌های کشاورزی دقیق معطوف به آماده بودن زیرساخت‌ها و شرایط اقتصادی و اجتماعی لازم است. هدف این تحقیق شناسایی و تحلیل مؤثر بر کاربرد کشاورزی دقیق در استان مازندران با رویکرد ISM بود. با بررسی منابع و تحلیل محتوای تحقیقات پیشین، ۱۰ عامل اساسی مؤثر بر کاربرد کشاورزی دقیق شناسایی شدند. سپس در قالب مدل سازی ساختاری-تفسیری از پل خبرگان و صاحب‌نظران خواسته شد که نحوه ارتباط این عوامل و اثرگذاری آن‌ها را مشخص کنند. بر اساس نتایج ISM مشخص شد که عامل‌های فنی و حرفه‌ای، اجتماعی و فردی تأثیرپذیرترین عامل‌ها و عوامل سیاست‌گذاری و برنامه‌ریزی کلان و تکنولوژیکی تأثیرگذارترین عامل‌ها در کاربرد کشاورزی دقیق در استان مازندران بودند.

از دید خبرگان و صاحب‌نظران، عامل سیاست‌گذاری و برنامه‌ریزی کلان از جمله عوامل مهم تأثیرگذار بر کاربرد کشاورزی دقیق است. مشابه تحقیق حاضر، در تحقیقات عیدی و همکاران (۱۳۹۹)؛ قلی‌خانی فراهانی (۱۳۹۴)؛ بهجویی و همکاران (۱۳۹۳)؛ (Barnes *et al.*, (2019); Zhang, 2016; Yarashynskaya & Prus (2022); Brouder *et al.*, (2018) نیز به مسائلی از جمله، عدم توجه به کشاورزی دقیق در برنامه‌ریزی کلان کشاورزی، اولویت پایین کشاورزی دقیق در برنامه‌ریزی، ناآگاهی سیاست‌گذاران از منافع کشاورزی دقیق اشاره شده است. توسعه کشاورزی دقیق نیاز به سیاست‌های برنامه‌ریزی کلانی دارد که بتوانند زمینه‌های مناسبی را برای پذیرش و اجرای کشاورزی دقیق فراهم کنند. در این راستا توسعه زیرساخت‌های فنی و فناوری ضروری به نظر می‌رسد. عوامل زیرساختی مورد نیاز برای پذیرش کشاورزی دقیق، شامل ارتقاء شبکه‌های ارتباطی، ایجاد سامانه‌های اطلاعات مکانی (GIS)، ارتقاء سرعت اینترنت و دسترسی به فناوری‌های پیشرفته در زمینه کشاورزی است. سیاست‌های برنامه‌ریزی کلان باید به ایجاد و توسعه این زیرساخت‌ها توجه ویژه‌ای داشته باشند. همچنین ارتقاء آموزش و آموزش حرفه‌ای از جمله محورهای مهم سیاست‌گذاری کلان پذیرش و توسعه کشاورزی دقیق است. آموزش حرفه‌ای کشاورزان در زمین کشاورزی دقیق از اهمیت بالایی برخوردار است. سیاست‌های برنامه‌ریزی کلان باید به ایجاد برنامه‌های مهارتی و آموزش حرفه‌ای، ارتقاء سطح دانش و مهارت کشاورزان در زمین کشاورزی دقیق و ایجاد مکانیسم‌های حمایتی در خدمت کشاورزان برای دسترسی به آموزش‌های لازم توجه کنند. از طرفی کشاورزی دقیق نیاز به سرمایه‌گذاری اولیه برای خرید و نصب تجهیزات و فناوری‌های مورد نیاز دارد؛ بنابراین، سیاست‌های برنامه‌ریزی کلان باید به ایجاد بستری مناسب برای ارائه وام‌ها و تسهیلات مالی به کشاورزان برای تجهیزات و فناوری‌های کشاورزی دقیق توجه کنند. این سیاست‌ها شامل ایجاد سامانه‌های مالی، بانکی و اعتباری مناسب، ارائه وام‌های با شرایط ویژه و ایجاد تسهیلات مالی برای تأمین سرمایه‌گذاری‌های کشاورزی دقیق می‌شود. همچنین، حمایت از تحقیق و توسعه در زمین کشاورزی دقیق می‌تواند به پیشرفت و بهبود این نوع کشاورزی کمک کند.

از جمله مهم‌ترین عوامل تأثیرگذار در کاربرد کشاورزی دقیق، مسائل تکنولوژیکی است. با توجه به پیچیدگی بالای فناوری‌های کشاورزی دقیق و همچنین لزوم مهارت کافی کشاورزان در به کار بردن آن، موارد فنی مانند اجرای پایلوت طرح، وجود نرم‌افزارها و سهولت کاربرد، زمان بر بودن اجرا و وجود دانش فنی استفاده از تجهیزات از جمله عوامل مهم در کاربرد کشاورزی دقیق است. تحقیقات یزدانی‌فر و همکاران (۱۳۹۴)؛ آرایش و صبوری (۱۳۹۴)؛ زارع مهرجردی و همکاران (۱۳۹۴)؛ بهجویی و همکاران (۱۳۹۳)؛ (Pandit & Student (2012); Kernecker *et al.* (2020); Zhang, 2016; Castle *et al.* (2016); Barnes *et al.* (2018); Wang *et al.* (2018); Yarashynskaya & Prus (2022); *al.* (2019) نیز به عوامل فنی و حرفه‌ای در پذیرش یا توسعه کشاورزی دقیق اشاره کرده‌اند. ذکر این نکته ضروری است که کشاورزان باید با فناوری‌های کشاورزی دقیق مانند حسگرها، پهپادها، سخت‌افزار و نرم‌افزار مکانیزاسیون، تلماتیک (Telematics) و داده‌های مرتبط آشنا شوند. ارائه دوره‌های آموزشی، کارگاه‌ها و دوره‌های آموزشی برخط نیز می‌تواند بهبود دانش و مهارت کشاورزان در استفاده از این فناوری‌ها را تسهیل کند. از طرفی پیشنهاد می‌شود با راه‌اندازی پروژه‌های پایلوت در مزارع کشاورزان پیشرو و شرکت سایر کشاورزان در این پروژه‌ها و آزمایشگاه‌های مرتبط با کشاورزی دقیق، به کشاورزان کمک کرد تا از نزدیک با فناوری‌ها و روش‌های جدید آشنا شوند و مهارت‌های خود را بهبود ببخشند.

عامل اقتصادی یکی از مهم‌ترین عامل‌های تأثیرگذار در کاربرد کشاورزی دقیق در استان مازندران بود. در دسترس بودن بودجه، اعتبارات و مشوق‌های مالی، هزینه‌ها و سودآوری، وضعیت اقتصادی کشاورزان و هزینه بالای تجهیزات موردنیاز از جمله مؤلفه‌های این عامل بودند. نتایج تحقیقات عیدی و همکاران (۱۳۹۹)؛ زارع مهرجردی و همکاران (۱۳۹۴)؛ Kernecker (2022); Yarashynskaya & Prus (2019); Barnes *et al.* (2020); *et al.* نیز حاکی از اهمیت مسائل اقتصادی و اعتباری در کاربرد یا پذیرش فناوری‌های کشاورزی دقیق بود. کشاورزی یک فعالیت اقتصادی است و در بسیاری از مواقع کشاورزان با توجه به توجیه‌پذیر بودن تجهیزات و فناوری‌ها از لحاظ اقتصادی از آن‌ها استفاده می‌کنند. در همین راستا تحقیق Watcharaanantapong *et al.* (2014) نشان داد که عوامل اقتصادی مانند انتظارات اقتصادی، هزینه‌ها و سودآوری، دسترسی به سرمایه و اعتبار و نیازهای مالی کشاورزان بر پذیرش فناوری‌های کشاورزی دقیق در تولید پنبه در ایالات متحده تأثیر مهمی دارند. در کاربرد کشاورزی دقیق، کشاورزان باید ارزیابی دقیقی از هزینه‌ها و فواید آن داشته باشند. بررسی هزینه‌های تجهیزات، نصب و راه‌اندازی، آموزش، نگهداری و سایر هزینه‌های مرتبط با فناوری‌های کشاورزی دقیق در مقابل فوایدی مانند افزایش بهره‌وری، کاهش هدر رفت منابع، بهبود کیفیت محصولات و کاهش هزینه‌های انرژی و خدمات، مواردی است که باید مدنظر قرار گیرد. اگرچه در وهله نخست هزینه‌های تجهیزات کشاورزی دقیق ممکن است بالا به نظر برسد اما باید توجه کرد که کشاورزان می‌توانند با به‌کاربردن آن، فعالیت تولیدی خود را بهینه‌سازی کنند و عملکرد بالاتری داشته باشند. این بهره‌برداری بهینه از تجهیزات می‌تواند به کاهش هزینه‌ها و افزایش سودآوری کمک کند. در همین راستا پیشنهاد می‌شود که خدمات مشاوره و راهنمایی به کشاورزی به‌منظور کمک به تصمیم‌گیری در خصوص مسائل اقتصادی کشاورزی دقیق از طرف بخش ترویج یا سایر بخش‌های تخصصی وزارت جهاد کشاورزی به کشاورزان ارائه شود. همچنین پیشنهاد می‌شود نسبت به شناسایی و معرفی شرکت‌های فعال در زمین کشاورزی دقیق برای ارائه مشاوره‌های تخصصی اقدام شود.

وضعیت اراضی و نظام بهره‌برداری از دیگر عوامل مهم تأثیرگذار بر کاربرد کشاورزی دقیق در استان مازندران است. وضعیت اراضی، از جمله خرد بودن و پراکندگی، می‌تواند تأثیر زیادی بر توسعه کشاورزی دقیق داشته باشد. در صورتی که اراضی خرد باشند و یا پراکندگی داشته باشند، می‌توانند به مشکلاتی مانند دشواری در اجرای عملیات کشاورزی دقیق، کارایی پایین، افزایش هزینه‌ها، کنترل و مدیریت پیچیده‌تر و کاهش قابلیت توسعه و بهره‌وری در کشاورزی دقیق منجر شوند؛ بنابراین، برنامه‌ریزی کلان و اجرای سیاست‌ها و پروژه‌هایی که برای بهبود وضعیت اراضی متناسب با کشاورزی دقیق پیشنهاد می‌شوند، می‌توانند، کمک کنند تا این مشکلات رفع شوند و توسعه کشاورزی دقیق بهبود یابد. تحقیقات مختلفی نیز به اهمیت عوامل مرتبط با اراضی و نظام بهره‌برداری همچون خرد بودن اراضی، تغییر کاربری، حاصلخیزی کم، سنتی بودن نظام بهره‌برداری اشاره کرده‌اند (زارع مهرجردی و همکاران، ۱۳۹۴؛ Michels *et al.*, 2020; Kernecker *et al.*, 2020; Tamirat *et al.*, 2018; Yarashynskaya & Prus, 2022; Barnes *et al.*, 2019; Castle *et al.*, 2016). در این راستا پیشنهاد می‌شود که حمایت‌ها و آموزش‌های فنی و مشاوره‌ای از کشاورزان در کاربرد کشاورزی دقیق صورت گیرد و در راستای یکپارچه‌سازی اراضی که لازمه اجرای کشاورزی دقیق است، اقدامات لازم صورت پذیرد. همچنین آماده‌سازی اراضی برای اجرای کشاورزی دقیق، شامل تسطیح و آماده‌سازی مناسب زمین، حذف موانع طبیعی و انسانی و بهینه‌سازی سامان آبیاری و زهکشی می‌تواند به بهبود وضعیت اراضی و کاهش مشکلات مربوط به خرد بودن و پراکندگی آن‌ها کمک کند.

بر اساس نتایج تحقیق، عامل اطلاعاتی، آموزشی از جمله عوامل تأثیرگذار و تأثیرپذیر در توسعه کاربرد کشاورزی دقیق است که تحقیقات مختلفی نیز از جمله عیدی و همکاران (۱۳۹۹)؛ یزدانی فر و همکاران (۱۳۹۴)؛ شیرخانی و همکاران (۱۳۹۵)؛ Paustian & Theuvsen (2017); Tamirat *et al.* (2018); Michels *et al.* (2020); Castle *et al.* (2016); Yarashynskaya & Prus (2022); Wang *et al.* (2018) به آن اشاره کرده‌اند. همان‌گونه که Rogers *et al.* (2014) بیان کرده است، اطلاعات کلید و محور نشر نوآوری است. دسترسی به اطلاعات دقیق و به‌هنگام و تداوم در معرض قرار گرفتن کشاورزان با اطلاعات مرتبط با کشاورزی دقیق (Tey & Brindal, 2012) می‌تواند سبب بهبود دانش و آگاهی کشاورزان از این فناوری‌ها و در نهایت توسعه پذیرش و کاربرد آن شود. البته باید توجه داشت که برای افزایش آگاهی کشاورزان و در نهایت پذیرش کشاورزی دقیق، عامل کلیدی، آموزش است. با آموزش مناسب به کشاورزان، آن‌ها می‌توانند از فناوری‌های پیشرفته کشاورزی دقیق بهره‌گیرند و بر پیچیدگی‌های آن فائق آیند. ذکر این نکته ضروری است که آموزش به کشاورزان نه تنها باعث افزایش دانش و مهارت‌های آن‌ها

تحلیل عوامل مؤثر بر کاربرد کشاورزی دقیق در استان مازندران با رویکرد مدل سازی...

در حوزه کشاورزی دقیق می‌شود، بلکه باعث ایجاد انگیزه، اعتماد به نفس و افزایش تمایل آن‌ها در کاربرد آن می‌شود. امروزه در دسترس بودن منابع آموزشی برخط بسیار زیاد است. کشاورزان می‌توانند از منابع آموزشی برخط، نظیر ویدئوها، کتاب‌ها، مقالات و وبینارها استفاده کنند تا دانش و مهارت خود را در زمین کشاورزی دقیق بهبود بخشند. همچنین امروزه با فراگیر شدن استفاده از رسانه‌ها جمعی حتی در قشر کشاورزان، استفاده از ظرفیت این پلتفرم‌ها برای ارائه آموزش و حتی تبلیغ فناوری‌های کشاورزی دقیق توصیه می‌شود.

همان‌گونه که (Auernhammer & Demmel, 2015) بیان می‌کنند کشاورزی دقیق تنها با استفاده از یکسری فناوری‌های پیشرفته محقق نمی‌شود بلکه کشاورزی دقیق دربرگیرنده مجموعه‌ای منسجم از فناوری، مدیریت و سازماندهی درست است. تاریخچه به وجود آمدن کشاورزی دقیق نیز حاکی از وجود نهادها و سازمان‌های تحقیقاتی و حمایتی متعدد بوده است. این سازمان‌ها و مراجع تحقیقاتی و عملیاتی به‌عنوان نهادهای حمایت‌کننده حاصل دستاوردهای خود را در اختیار کشاورزان قرار داده‌اند. در تحقیقات مختلفی از جمله قلی‌خانی فراهانی (۱۳۹۴); (Barnes et al., 2019); Kernecker et al. (2020); Yarashynskaya & Prus (2022); Tey & Bridal (2012) نیز بر اهمیت عوامل سازمانی-نهادی در کاربرد کشاورزی دقیق اشاره شده است. در این راستا پیشنهاد می‌شود که مراجع تحقیقاتی موجود در استان از جمله مرکز ترویج و توسعه تکنولوژی هراز، دانشگاه‌ها و مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی استان نگاه ویژه‌تری به کشاورزی دقیق داشته و آن را در اولویت‌های تحقیقاتی خود قرار دهند. همچنین نهاد ترویج نیز یافته‌های حاصل از این تحقیقات را در یک ساختار اثربخش به کشاورزان منتقل نماید.

همان‌گونه که (Tey & Bridal, 2012) معتقدند ویژگی‌های فردی و حرفه‌ای که از جمله عوامل مهم توسعه کشاورزی دقیق به شمار می‌رود، اشاره به پیش زمینه‌های شخصی و شخصیتی کشاورزان به‌عنوان مهم‌ترین تصمیم‌گیرندگان مزارع دارد. این عامل یکی از مهم‌ترین عوامل تأثیرپذیر در توسعه کشاورزی دقیق بود. تحقیقات مختلفی نیز به اهمیت عوامل فردی در پذیرش و یا کاربرد کشاورزی دقیق اشاره کرده‌اند، از جمله؛ یزدانی‌فر و همکاران (۱۳۹۴)؛ قلی‌خانی فراهانی (۱۳۹۴)؛ آرایش و صوری (۱۳۹۴)؛ زارع مهرجردی و همکاران (۱۳۹۴)؛ (Castle et al., 2020); Kernecker et al. (2020); Pandit & Student (2012); Wang et al., (2018); Yarashynskaya & Prus (2022); Barnes et al. (2019); (2016). در حوزه عوامل فردی، ریسک‌پذیری پایین کشاورزان به‌عنوان یک عامل محدودکننده در پذیرش کشاورزی دقیق شناخته می‌شود. در این راستا ارتقاء دانش و آگاهی کشاورزان درباره کشاورزی دقیق، اصول و تکنیک‌های آن، مزایا و معایب و چالش‌ها می‌تواند ریسک‌پذیری آن‌ها را کاهش دهد. کشاورزان باید با مزایا و معایب استفاده از فناوری‌های کشاورزی دقیق آشنا شوند و برای انتخاب و استفاده از آن‌ها در فعالیتهای کشاورزی خود تصمیم‌گیری هوشمندانه انجام دهند. همچنین، علاوه بر دانش و مهارت‌های تخصصی کشاورزی دقیق، توسعه مهارت‌های عمومی مانند مدیریت زمان، مهارت‌های ارتباطی، مدیریت منابع و دانش رایانه‌ای نیز بسیار مهم است. ارتقاء این مهارت‌ها می‌تواند کشاورزان را در پذیرش و کاربرد کشاورزی دقیق بهبود بخشد.

مسائل اجتماعی از جمله مشارکت کشاورزان و مراجع تحقیقاتی، ترویج پروژه‌های مشابه موفق، کار جمعی و تیم‌سازی و شبکه‌سازی از عوامل تأثیرپذیر در توسعه کاربرد کشاورزی دقیق است که در تحقیقات (Michels et al., 2020); Yarashynskaya & Prus (2022); Brouder et al. (2018); Tey & Bridal (2012) نیز به آن اشاره شده است؛ بنابراین، پیشنهاد می‌شود با تشکیل گروه‌های کشاورزی و تبادل تجربیات با سایر کشاورزانی که از فناوری‌های کشاورزی دقیق استفاده می‌کنند، شرایط را برای ارتقاء دانش و مهارت کشاورزان مهیا کرد. این گروه‌ها می‌توانند به اشتراک‌گذاری تجارب، راهکارها و چالش‌هایی که در حوزه کشاورزی دقیق وجود دارد، کمک کنند. همچنین، تبادل تجربیات با کشاورزان دیگر، به‌خصوص کشاورزانی که تجربه موفق در استفاده از کشاورزی دقیق دارند، می‌تواند بسیار سودمند باشد.

سپاسگزاری

این مقاله مستخرج از طرح پژوهش با عنوان "تحلیل عوامل مؤثر بر کاربرد کشاورزی دقیق در استان مازندران با رویکرد مدل سازی ساختاری تفسیری (ISM)" با کد ۰۸-۱۴۰۲-۰۱، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری است. بدین‌وسیله از حمایت مادی و معنوی معاونت پژوهشی دانشگاه سپاسگزاری می‌شود.

منابع

- آذر، ع، خسروانی، ف.، و جلالی، ر. (۱۳۹۲). تحقیق در عملیات نرم (رویکردهای ساختاردهی مسئله)، تهران: انتشارات سازمان مدیریت صنعتی.
- آرایش، م.، و صیوری، م. (۱۳۹۴). الزام های آموزش به کارگیری کشاورزی دقیق از دیدگاه محققان کشاورزی استان ایلام. پژوهش مدیریت آموزش کشاورزی، شماره ۳۵، صص ۵۴-۳۵. doi.org/10.22092/jaeear.2016.106340
- استادقادر، م.، حنفی بجد، ا.، نعمت‌اللهی، ش.، و هلاکویی نائینی، ک. (۱۴۰۰). آنالیز فضایی عوامل مؤثر بر سرطان کولورکتال با استفاده از مدل رگرسیون وزنی جغرافیایی در ایران. مجله اپیدمیولوژی ایران، دوره ۱۷، شماره ۱۷، صص ۱-۱۲.
- اسداله‌پور، ع.، امیدی نجف آبادی، م.، و فرج اله حسینی، س.ج. (۱۳۹۹). موانع گذار به کشاورزی ارگانیک در بین شالیکاران استان مازندران. علوم ترویج و آموزش کشاورزی ایران، دوره ۱۶، شماره ۱، صص ۲۴۶-۲۳۵. doi.org/10.22034/iaeej.2020.205833.1469
- امیرنژاد، ح.، حسینی یکانی، س. ع.، مجاوریان، س.، کشیری کلایی، ف.، و تسلیمی، مهسا. (۱۳۹۹). تعیین راهبردهای توسعه‌ی بخش کشاورزی استان مازندران. اقتصاد و توسعه کشاورزی (علوم و صنایع کشاورزی)، دوره ۴، شماره ۳۴، صص ۴۴۵-۴۲۱. doi.org/10.22067/jead.2021.17798.0
- ایزدی، ن.، و حیاتی، د. (۱۳۹۱). سازه های مؤثر بر دانش کشاورزی دقیق: مورد مطالعه اعضای شرکت های خدمات مشاوره‌ای ترویج شهرستان شیراز. علوم ترویج و آموزش کشاورزی ایران، دوره ۸، شماره ۲، صص ۴۸-۳۵. dori.net/dor/20.1001.1.20081758.1391.8.2.3.8
- باصولی، م.، درخش، س.، اسعدی، م. (۱۴۰۰). شاخص‌های فرهنگی جذب گردشگران سلامت: مدل‌سازی ساختاری تفسیری. نشریه فرهنگ و ارتقاء سلامت، دوره ۵، شماره ۱، صص ۸۲-۷۲.
- بهجویی، ا.، فرجی، م.، و ظریفیان، ش. (۱۳۹۳). شناسایی و اولویت‌بندی موانع مؤثر بر کاربرد فناوری کشاورزی دقیق در استان آذربایجان شرقی از دیدگاه اعضای سازمان نظام مهندسی کشاورزی و منابع طبیعی استان آذربایجان شرقی، اولین همایش الکترونیکی یافته‌های نوین در محیط‌زیست و اکوسیستم‌های کشاورزی، تهران، ۱ آذر، صص ۹-۱
- بهمنی، پ.، و نامیان، ف. (۱۳۹۹). طراحی مدل اقتصاد گردشگری شهری با رویکرد ساختاری-تفسیری. مطالعات ساختار و کارکرد شهری، دوره ۷، شماره ۲۵، صص ۱۷۷-۱۵۷. doi.org/10.22080/USFS.2020.17545.1891
- جمشیدی، ا.، و شفیعی، ف. (۱۴۰۲). تحلیل عوامل بازدارنده و پیش‌برنده تولید محصولات کشاورزی سالم و ارگانیک: پژوهشی کیفی در استان مازندران. تحقیقات اقتصاد و توسعه کشاورزی ایران، دوره ۲-۵۴، شماره ۲، صص ۴۳۸-۴۱۷. doi.org/10.22059/IJAEDR.2022.347121.669168
- حسینی کردخیلی، س. س.، شیرازی، ب.، و مهدوی، ا. (۱۳۹۹). سیاست‌گذاری زنجیره تأمین دیجیتال در حوزه کشاورزی دقیق استان مازندران به روش AHP، سیزدهمین کنفرانس بین‌المللی انجمن ایرانی تحقیق در عملیات، شاهرود، ۱۶ الی ۱۹ شهریور، صص ۳۳۴-۳۲۸.
- حسینی، س. م.، چیدری، م.؛ و بردبار، م. (۱۳۸۹). بررسی زیربناهای امکان کاربرد کشاورزی دقیق از دیدگاه کارشناسان جهاد کشاورزی استان فارس. علوم ترویج و آموزش کشاورزی ایران، دوره ۶، شماره ۲، صص ۴۹-۳۵.
- دهقانی، ب. (۱۴۰۰). فناوری‌های نوپدید در کشاورزی و غذا با رویکرد زنجیره تأمین. تهران: انتشارات تربیت مدیر.
- رجب‌پور، ا. (۱۳۹۴). مدل‌سازی ساختاری تفسیری از عوامل مؤثر بر آمادگی الکترونیکی. فصلنامه مطالعات مدیریت فناوری اطلاعات، دوره ۴، شماره ۱۳، صص ۸۵-۶۹.
- زارع مهرجردی، م.، خدایی، م.، ضیاآبادی، م.، و فتحی، ف. (۱۳۹۴). امکان سنجی کاربرد تکنولوژی های کشاورزی دقیق در تولید محصول پسته شهرستان رفسنجان از دیدگاه کارشناسان کشاورزی. پژوهش های ترویج و آموزش کشاورزی، دوره ۸، شماره ۳، صص ۱-۹.
- سازمان مدیریت و برنامه ریزی استان مازندران. (۱۳۹۷). چکیده مطالعات آمایش استان مازندران. معاونت هماهنگی برنامه و بودجه، گروه برنامه ریزی، آمایش و بهره‌وری. منتشر نشده

تحلیل عوامل موثر بر کاربرد کشاورزی دقیق در استان مازندران با رویکرد مدل سازی...

سند توسعه کشاورزی. (۱۴۰۱). سازمان جهاد کشاورزی استان مازندران. بخش زراعت و اصلاح نباتات، منتشر نشده.

شیرخانی، م.، پزشکی راد، غ.، و صدیقی، ح. (۱۳۹۵). ارزیابی میزان آگاهی کارشناسان کشاورزی استان تهران نسبت به کشاورزی دقیق. *تحقیقات اقتصاد و توسعه کشاورزی ایران (علوم کشاورزی ایران)*، دوره ۴۷، شماره ۳، صص ۶۵۷-۶۷۲.

عیدی، ا.، کاظمیه، ف.، طریفیان، ش.، و میرلو، س. (۱۳۹۹). تحلیل مسائل و مشکلات کشاورزی دقیق از دیدگاه کارشناسان جهاد کشاورزی شهرستان ارومیه. *نشریه دانش کشاورزی و تولید پایدار*، دوره ۳۰، شماره ۱، صص ۲۲۳-۲۱۱.

قلی خانی فراهانی، ن. (۱۳۹۴). تحلیل و بررسی موانع موجود در پذیرش کشاورزی دقیق توسط کشاورزان پیشرو ایران. همایش بین‌المللی پژوهش‌های کاربردی در کشاورزی، شرکت تعاونی علم گستران پیشتاز ایرانیان. تهران، ۱ خرداد

کشورز، م. (۱۳۹۸). شناسایی عوامل تأثیرگذار در توسعه گردشگری پایدار شهری با استفاده از مدل سازی ساختاری تفسیری (ISM)، مطالعه موردی شهر خرم‌آباد. *گردشگری شهری*، دوره ۶، شماره ۱، صص ۱۳۴-۱۲۱: doi.org/10.22059/jut.2019.246390.414

ولی‌زاده، ن.، حاجی، ل.، و خان‌نژاد، س. (۱۴۰۰). واکاوی رانه‌های پذیرش پهنادهای کشاورزی در زراعت گندم. *علوم ترویج و آموزش کشاورزی ایران*، دوره ۱۷، شماره ۲، صص ۲۶۳-۲۵۱: dorl.net/dor/20.1001.1.20081758.1400.17.2.16.4

یزدانی‌فر، ع.، نوراله نوری‌وندی، آ.، و عمانی، ا. (۱۳۹۴). موانع بازدارنده استفاده از کشاورزی دقیق در تعاونی‌های زراعی شهرستان دزفول. *مجله تعاون و کشاورزی*، دوره ۴، شماره ۱۶، صص ۷۵-۵۷.

- Attri, R., Dev, N., and Sharma, V. (2013). Interpretive structural modelling (ISM) approach: An overview. *Research Journal of Management Sciences*, 2319(2), 1171.
- Auernhammer, H., and Demmel, M. (2015). *State of the Art and future requirements. Precision Agriculture Technology for Crop Farming*, CRC Press, 299-346
- Barnes, A. P., Soto, I., Eory, V., Beck, B., Balafoutis, A., Sánchez, B., ... and Gómez-Barbero, M. (2019). Exploring the adoption of precision agricultural technologies: A cross regional study of EU farmers. *Land use policy*, 80, 163-174: doi.org/10.1016/j.landusepol.2018.10.004
- Benton, T. (2016). The many faces of food security. *International Affairs*, 92(6), 1505-1515: doi.org/10.1111/1468-2346.12755
- Brouder, S. M., Volenec, J. J., and Arnall, D. B. (2018). Precision agriculture: Finding sustainable solutions for agriculture. *Agronomy Journal*, 110(6), 1-2: doi.org/10.5772/intechopen.101759
- Castle, M. H., Lubben, B. D., and Luck, J. D. (2016). *Factors influencing the adoption of precision agriculture technologies by nebraska producers*. Lincoln, NE, USA: UNL Digital Commons.
- Faisal, M. N. (2010). Analysing the barriers to corporate social responsibility in supply chains: an interpretive structural modelling approach. *International Journal of Logistics: Research and Applications*, 13(3), 179-195.
- Fountas, S., Pedersen, S.M., and Blackmore, S. (2005). *ICT in precision agriculture – diffusion of technology*: doi.org/10.13140/2.1.1586.5606.
- Govaerts, B., Sayre, K. D., Lichter, K., Díaz-Zorita, M., and Duitama, J. (2020). Precision agriculture for smallholder farmers in developing countries. *Agronomy for Sustainable Development*, 40(2), 1-17.
- Isgin, T., Bilgic, A., Forester, D., and Batte, M.T. (2008). Using count data models to determine the factors effecting farmers quantity decisions of precision farming technology adoption. *Computers and Electronics in Agriculture*. 62(2), 231-242
- ISPA. *International Society of Precision Agriculture*. Precision Ag Definition, Available at: <https://www.ispag.org>
- Jena, J., Sidharth, S., Thakur, L. S., Kumar Pathak, D., and Pandey, V. C. (2017). Total interpretive structural modeling (TISM): Approach and application. *Journal of Advances in Management Research*, 14(2), 162-181: doi.org/10.1108/JAMR-10-2016-0087
- Kerneckner, M., Knierim, A., Wurbs, A., Kraus, T., and Borges, F. (2020). Experience versus expectation: Farmers' perceptions of smart farming technologies for cropping systems across Europe. *Precision Agriculture*, 21, 34-50: doi.org/10.1007/s11119-019-09651-z
- Khanal, S., Fulton, J., and Shearer, S. (2017). An overview of current and potential applications of thermal remote sensing in precision agriculture. *Computers and Electronics in Agriculture*, 139, 22-32: doi.org/10.1016/j.compag.2017.05.001
- Kubule, A., indzere, Z., and muiziece, I. (2019). Modelling of the bioeconomy system using interpretive structural modeling. *Agronomy Research*, 17(4), 1665-1678: doi.org/10.15159/ar.19.170

- Kumar, A., and Dixit, G. (2018). An analysis of barriers affecting the implementation of e-waste management practices in India: A novel ISM-DEMATEL approach. *Sustainable Production and Consumption*, 14, 36-52: doi.org/10.1016/j.spc.2018.01.002
- Michels, M., Fecke, W., Feil, J. H., Musshoff, O., Pigisch, J., and Krone, S. (2020). Smartphone adoption and use in agriculture: Empirical evidence from Germany. *Precision Agriculture*, 21, 403-425: doi.org/10.1007/s11119-019-09675-5
- Pandit, M., and Student, G. (2012). *Adoption and Non-adoption of Precision farming Technologies by Cotton farmers*. Department of Agricultural Economics and Agribusiness Louisiana State University. Selected Paper prepared for presentation at the Agricultural & Applied Economics Association's 2012 AAEA Annual Meeting, Seattle, Washington. Available at <https://ageconsearch.umn.edu/record/125004/files/nested_main%20_1_.pdf>
- Paustian, M., and Theuvsen, L. (2017). Adoption of precision agriculture technologies by German crop farmers. *Precision agriculture*, 18, 701-716.
- Rogers, E. M., Singhal, A., and Quinlan, M. M. (2014). Diffusion of innovations. In *An integrated approach to communication theory and research* (pp. 432-448). Oxfordshire, Routledge.
- Rosenzweig, C., Mbow, C., Barioni, L. G., Benton, T. G., Herrero, M., Krishnapillai, M., ... & Portugal-Pereira, J. (2020). Climate change responses benefit from a global food system approach. *Nature Food*, 1(2), 94-97: doi.org/10.1038/s43016-020-0031-z
- Saiz-Rubio, V., and Rovira-Más, F. (2020). From smart farming towards agriculture 5.0: A review on crop data management. *Agronomy*, 10(2), 207: doi.org/10.3390/agronomy10020207
- Shahabaddkar, P., Hebbal, S. S., and Prashant, S. (2012). Deployment of interpretive structural modeling methodology in supply chain management-an overview. *International Journal of Industrial Engineering & Production Research*, 23(3), 195-205.
- Tamirat, T. W., Pedersen, S. M., and Lind, K. M. (2018). Farm and operator characteristics affecting adoption of precision agriculture in Denmark and Germany. *Acta Agriculturae Scandinavica, Section B—Soil & Plant Science*, 68(4), 349-357: doi.org/10.1080/09064710.2017.1402949
- Tey, Y. S., and Brindal, M. (2012). Factors influencing the adoption of precision agricultural technologies: A review for policy implications. *Precision agriculture*, 13, 713-730.
- Wang, H., Chen, C., Wang, Y., Li, Y., and Zhang, M. (2018). Big data-driven precision agriculture. *Journal of Integrative Agriculture*, 17(9), 1979-1992.
- Watcharaanantapong, P., Roberts, R. K., Lambert, D. M., Larson, J. A., Velandia, M., English, B. C., ... & Wang, C. (2014). Timing of precision agriculture technology adoption in US cotton production. *Precision agriculture*, 15, 427-446: doi.org/10.1007/s11119-013-9338-1
- WHO. (2020). Cancer today, Estimated number of new cases in 2020, all cancers, both sexes, all ages. Available at: <<https://gco.iarc.fr/today/online-analysis->>.
- Yarashynskaya, A., and Prus, P. (2022). Precision agriculture implementation factors and adoption potential: the case study of polish agriculture. *Agronomy*, 12(9), 2226: doi.org/10.3390/agronomy12092226
- Zhang, Q. (2016). *Precision agriculture technology for crop farming*. Oxfordshire, Taylor & Francis.

Article Type: Research Article

DOR: [20.1001.1.20081758.1402.19.1.9.9](https://doi.org/20.1001.1.20081758.1402.19.1.9.9)

Analysis of Factors Affecting Precision Agriculture Implementation in Mazandaran Province Using Interpretive Structural Modeling

O. Jamshidi^{1*} and F. Shafiee²

(Received: Jun. 11. 2023; Accepted: Aug. 13. 2023)

Abstract

During the past decades, with the indiscriminate use of some chemical inputs conventional agriculture has caused serious environmental and human health problems. In response to these problems, precision agriculture, as one of the sustainable agriculture approaches, has received more attention in recent years. Mazandaran province, which is one of the important agricultural producers in the country, has an un-favorable situation in terms of the use of pesticides and chemical fertilizers; that is while, the efficient utilization of resource on a per-unit area basis is necessary due to limited land. In this regard, the aim of this research was to analyze the factors affecting the application of precision agriculture in Mazandaran province. This applied research was conducted qualitatively using the Interpretive Structural Modeling (ISM) method. This study applied a systematic review of internal and external research sources to identify the factors affecting the application of precision agriculture. Then, the required data were collected in the form of a questionnaire from the respondents. The statistical population of this research consisted of experts in the field of precision agriculture in Mazandaran province, 23 of whom were selected by a purposeful and judgmental sampling method. The analysis of previous research and sources showed that generally, 10 factors are effective in the application of precision agriculture. The results of the ISM analysis indicated that technical and professional, social, and individual factors are the most influential factors in the application of precision agriculture. Furthermore, economic factors, land condition, system of operation and management, and policy-making and macro planning factors were the other most influential factors. Paying special attention to these variables in the field of applying precision agriculture can help the growth and development of sustainable agriculture in Mazandaran province and increase productivity.

Keywords: Precision agriculture, Sustainable agriculture, Factors affecting, Interpretive structural modeling, MICMAC analysis.

¹ Assistant Professor, Department of Agricultural Extension and Education, Sari Agricultural Sciences and Natural Resources University, Sari, Iran.

² Assistant Professor, Department of Agricultural Extension and Education, Sari Agricultural Sciences and Natural Resources University, Sari, Iran.

* Corresponding Author, Email: o.jamshidi@sanru.ac.ir

