

ارتباط بین کشاورزی پایدار و امنیت غذایی خانوارهای روستایی: مطالعه موردی شهرستان بستان آباد

جبرئیل واحدی هالان، محمد قهرمانزاده، سید علی حسینی یکانی، حمید سابقی^۱

تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۱۲/۰۳

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۴/۰۲/۱۳

چکیده

دوام و بقای نسل بشر همواره بر تأمین غذا و رفع نیازهای تغذیه‌ای استوار بوده است. از این رو شناسایی عامل‌های موثر بر امنیت غذایی می‌تواند به عنوان مولفه‌ای مهم در رفع بازدارنده‌های موجود بر سر راه دستیابی به یک وضعیت پایدار تغذیه‌ای قلمداد شود. این پژوهش در پی پاسخ‌دهی به این پرسش است که آیا عملیات کشاورزی پایدار می‌تواند منجر به بهبود وضعیت امنیت غذایی خانوارهای روستایی شود؟ بدین منظور ابتدا اقداماتی که به عنوان اقدام‌های عملیات کشاورزی پایدار در کشت سیب‌زمینی مرسوم‌اند، شناسایی شدند. آنگاه سیب‌زمینی‌کاران شهرستان بستان آباد به عنوان جامعه آماری انتخاب و به طور تصادفی با ۱۴۸ نفر از آنان در سال زراعی ۱۴۰۰-۰۱ مصاحبه حضوری به عمل آمد. نخست، وضعیت امنیت غذایی خانوارها بوسیله شاخص امتیاز تنوع غذایی خانوار (HDDS) محاسبه شد. پس از آن مدل رگرسیونی پوآسن به منظور ارزیابی عوامل موثر بر امنیت غذایی خانوارهای روستایی استفاده شد. در گام بعد مبتنی بر نتایج مدل پوآسن، از روش‌های یادگیری ماشینی شامل شبکه عصبی پرسپترون چندلایه و جنگل تصادفی به منظور پیش‌بینی وضعیت امنیت غذایی خانوارها بهره گرفته شد. نتایج موید آن بود که به طور میانگین، کشاورزان مورد بررسی با امتیاز تنوع غذایی ۸/۶، از وضعیت مناسب امنیت غذایی برخوردار می‌باشند. همچنین بر مبنای نتایج مدل پوآسن، مولفه‌هایی چون انجام اقدام‌های مربوط به عملیات کشاورزی پایدار، هزینه‌های صرف شده برای خرید غذا طی یک هفته گذشته و سطح زیرکشت سیب‌زمینی از جمله عامل‌های موثر بر امتیاز تنوع غذایی خانوارهای روستایی بستان‌آباد ارزیابی شدند. نتایج مدل‌های یادگیری ماشینی نیز گویای دقت بالاتر الگوریتم شبکه عصبی پرسپترون چندلایه در پیش‌بینی امنیت غذایی خانوارها و موید تأثیر انکارناپذیر عملیات کشاورزی پایدار در تعیین امنیت غذایی خانوارهای مورد بررسی بود. با این تفاسیر آموزش روش‌های کشت پایدار سیب‌زمینی به واسطه برگزاری دوره‌های آموزشی-ترویجی و همچنین تأمین مالی کشاورزان در راستای گسترش روش‌های کشت پایدار، می‌تواند نقش موثری در بهبود امنیت غذایی آنان داشته باشد.

طبقه‌بندی JEL: P25, R0, R20

واژگان کلیدی: امتیاز تنوع غذایی خانوار، امنیت غذایی، مدل پوآسن، یادگیری ماشینی

۱ - به ترتیب محقق پسادکتری و استاد (نویسنده مسول) گروه اقتصاد کشاورزی دانشکده کشاورزی دانشگاه تبریز، دانشیار دانشگاه ادیت کوان، مرکز تحقیقات چشم انداز کشاورزی لایب نیتس کشور آلمان، و دانش آموخته کارشناسی ارشد اقتصاد محیط زیست، دانشگاه علامه طباطبائی تهران.

مقدمه

نقش تغذیه در سلامت، افزایش کارایی و یادگیری انسان‌ها و ارتباط آن با توسعه اقتصادی، امری انکارناپذیر است. لذا، در اولویت‌بندی هدف‌های توسعه هر کشور، دستیابی به امنیت غذایی اهمیت ویژه‌ای دارد. بنابر تعریف کنفرانس جهانی غذا، امنیت غذایی زمانی وجود دارد که همه مردم در هر زمان به غذای کافی، سالم و مغذی، دسترسی فیزیکی و اقتصادی داشته باشند و غذای دسترس، نیازمندی‌های یک رژیم تغذیه‌ای سازگار با ترجیح‌های آن‌ها را برای یک زندگی فعال و سالم فراهم کند. این تعریف که در سطح گسترده‌ای پذیرفته شده است، به ابعاد گوناگونی اشاره دارد که مهم‌ترین آن‌ها، چهار مولفه موجود بودن غذا^۱، دسترسی به غذا^۲، بهره‌مندی غذایی^۳ و پایداری در دریافت غذا^۴ می‌باشد (Carletto et al., 2013).

پرداختن به سوء تغذیه و کمبود مواد مغذی در بخش روستایی یک اولویت حیاتی بین‌المللی است، به خصوص که جامعه‌های روستایی بیشترین آسیب و زیان را از سوء تغذیه می‌بینند (Deaconu et al., 2019). در منطقه‌های روستایی، دسترسی به غذا بر منابع موجود در محیط و توانایی به دست آوردن غذا از راه تولید محصول‌های کشاورزی متکی است. به طور خاص، در منطقه‌های روستایی، وجود گوناگونی در محصول‌های تولیدی کشاورزی با هدف خودمصرفی، کیفیت و گوناگونی رژیم غذایی خانواده را افزایش می‌دهد (Chegere and Stage, 2020). به رغم اینکه جامعه روستایی با دارا بودن بخش کشاورزی به عنوان پایه و رکن مهم فعالیت در هر کشور، محور اصلی تامین امنیت غذایی جامعه بوده و دربرگیرنده بیش از ۷۸ درصد منابع تامین امنیت غذایی جامعه است (Rostami et al., 2015)، لیکن برخی بررسی‌های به عمل آمده گویای آن است که میزان ناامنی غذایی در جوامع روستایی به مراتب بیشتر از جامعه‌ها و نقطه‌های شهری می‌باشد (Savari et al., 2014).

داوری در زمینه وضعیت امنیت غذایی منطقه‌های مختلف، نیازمند بررسی و ارزیابی و اندازه‌گیری دقیق این مولفه حیاتی می‌باشد. بدین منظور شاخص‌های بسیاری وجود دارد که از جمله آن‌ها، امتیاز تنوع غذایی خانوار^۵ است که ابزاری برای اندازه‌گیری ظرفیت اقتصادی یک خانوار برای

¹ Food Availability

² Food Access

³ Food Utilization

⁴ Food Stability

⁵ Household Dietary Diversity Score (HDDS)

ارتباط بین کشاورزی پایدار... ۶۷

دسترسی به انواع غذاها در یک دوره زمانی معین می‌باشد. این ابزار به طور گسترده برای تعیین کیفیت مصرف غذا، از جمله سطح تنوع غذایی که یک خانواده به آن دسترسی دارد، استفاده می‌شود (Kennedy et al., 2011).

پایداری بخش کشاورزی از جمله مهم‌ترین عامل‌های موثر بر وضعیت امنیت غذایی و تنوع غذایی خانوارهای روستایی قلمداد می‌شود، زیرا نخستین مؤلفه امنیت غذایی، تأمین مواد غذایی است که در ارتباط مستقیم با بخش کشاورزی بوده و وابستگی بالایی به شرایط و میزان تولید محصول-ها دارد (Tubiello et al. 2007). پایداری در کشاورزی را می‌توان به عنوان عاملی برای پایداری اقتصادی-اجتماعی و پایداری بوم‌شناختی و نیز زیست محیطی در نظر گرفت. کشاورزی پایدار از طریق بکارگیری سامانه‌های تولید یکپارچه، افزون بر تضمین دوام و بقای بخش کشاورزی و پایداری تولیدهای آن، ضامن بهبود درآمد کشاورز بوسیله یکپارچگی زیست محیطی و پایداری اجتماعی می‌باشد (Smith et al. 2017). سطح‌های درآمدی بالاتر قادر است شانس برخورداری خانوارهای کشاورزی از غذاهای گوناگون‌تر، سالم‌تر و باکیفیت‌تر را افزایش دهد. بنابراین اقدام‌های مربوط به کشاورزی پایدار، طی سال‌های گذشته با توجه به برتری‌های آن در بهبود سلامت خاک، عملکرد محصول‌ها و فرآورده‌ها و درآمدهای کشاورزان، عامل موثری در بهبود وضعیت امنیت غذایی و همچنین گوناگونی غذایی خانوارهای روستایی و کشاورزان خرده مالک بوده است (Ogunniyi et al., 2018).

منطقه‌های روستایی استان آذربایجان شرقی با امتیاز ۵/۳۶ برای شاخص FGT، نسبت به بسیاری دیگر از منطقه‌های روستایی کشور، در وضعیت نامساعدتری قرار دارد (Rezaeifar et al., 2022). از سوی دیگر به نظر می‌رسد که شهرستان بستان‌آباد در این استان به دلیل موقعیت جغرافیایی و تغییرپذیری‌های آب و هوایی و خشکسالی‌های اخیر، به ویژه با توجه به رابطه‌های اقتصادی ضعیف در مقایسه با شهرستان‌های مرکزی استان در سطح پایین‌تری از لحاظ امنیت غذایی قرار دارد (Mohsenzadeh Harris et al., 2022). نتیجه برخی تحقیقات انجام شده نیز گویای آن است که امروزه فشار قابل‌توجهی بر بخش کشاورزی علی‌الخصوص در کشورهای در حال توسعه برای پاسخگویی به نیازمندی‌های جمعیت رو به رشد وجود دارد. این امر با افزایش تقاضا برای نیازمندی‌های ضروری مانند غذا، مواد خام برای صنایع و سوخت‌های زیستی تشدید می‌شود. با این حال، به نظر می‌رسد رشد تولیدهای کشاورزی به خوبی با این تقاضا همخوانی لازم را ندارد که این امر ممکن است بخش کشاورزی و خانوارهای روستایی را با آسیب و زیان‌های زیست

محیطی و اقتصادی فراوانی روبرو کند. بنابراین توجه به جنبه‌های پایداری کشاورزی به همراه تولیدهای گوناگون‌تر این بخش از جمله الزام‌های ادامه حیات این بخش و فعالان آن، به‌ویژه در منطقه‌هایی با وضعیت امنیت غذایی مناسبی ندارند، دارای اهمیت است (Ojo et al., 2021). با این تفاسیر بررسی و ارزیابی‌ها در زمینه وضعیت امنیت غذایی خانوارها به ویژه در منطقه‌های مواجه با ناامنی غذایی که شهرستان بستان‌آباد نیز به عنوان یکی از این منطقه‌های در معرض خطر شناخته می‌شود، می‌تواند با شناسایی عامل‌های دخیل در امنیت غذایی، آسیب‌های موجود را شناسایی کرده و در پی دستیابی به راه‌حل‌های مناسب و مقتضی برآید.

در پژوهش‌های مختلف انجام شده، از جنبه‌های گوناگونی تعیین وضعیت امنیت غذایی مدنظر قرار گرفته است. با این حال، در همه موارد، تعیین دقیق وضعیت امنیت غذایی فرد دشواری‌های خاص خود را دارد. در بین روش‌های مرسوم بررسی وضعیت امنیت غذایی، هیچ روش خودکامی موجود نیست و نیاز به توسعه یک نظام و رویکرد خودکار برای پیش‌بینی وضعیت بهینه و دقیق امنیت غذایی بیش از پیش احساس می‌شود (Razzaq et al., 2021). در این بین رویکردهای یادگیری ماشینی را می‌توان مدنظر قرار داد، که قادرند با دریافت اطلاعات با استفاده از مدل‌های آماری یا محاسباتی، به‌طور خودکار به منظور شناسایی دقیق عامل‌های موردبررسی (که امنیت غذایی نیز می‌تواند یکی از این عامل‌ها باشد) و بهبود عملکرد پژوهش موثر واقع شوند. درواقع رویکردهای یادگیری ماشینی شامل استفاده از آمار، روش‌های ریاضیاتی برای یافتن الگوریتم‌های دقیق و کارآمد برای پیش‌بینی وضعیت امنیت غذایی می‌باشند که تعیین وضعیت امنیت غذایی افراد را در سریع‌ترین زمان ممکن امکان‌پذیر می‌سازند (Okori and Obua, 2011). مدل‌های یادگیری ماشینی برای استخراج خودکار ویژگی‌های مرتبط از مجموعه معینی از داده‌های جمع‌آوری‌شده ناهمگن برای پیش‌بینی امنیت غذایی با یک میزان معین فراوانی و در یک مقیاس جغرافیایی مشخص بکار می‌روند. با این توجیه و تفسیر به‌وسیله رویکردهای یادگیری ماشینی می‌توان تعیین وضعیت امنیت غذایی را با پایش داده‌ها تضمین کرد (Gavahi et al., 2021).

در رابطه با اثرگذاری‌های کشاورزی پایدار بر وضعیت امنیت غذایی خانوارها، بررسی‌ها و ارزیابی‌های پرشماری انجام پذیرفته است. ازجمله (Ogunniyi et al (2018) با بکارگیری روش جورسازی بر مبنای نمره تمایل^۱ اثرگذاری‌های فناوری آبیاری بر عملکرد محصول‌های کشاورزی، درآمد و امنیت غذایی خانوارهای کشاورزی در نیجریه را بررسی کردند. نتایج گویای اثرگذاری‌های مثبت

¹ Propensity Score Matching (PSM)

فناوری آبیاری بر متغیرهای مورد بررسی بود. (Mgomezulu and Kennedy Machila (2018) به بررسی اثر فناوری درخت کود گلوری گیدیا^۱ بر وضعیت معیشتی خانوارهای کشاورزی در بخش کاسونگوی مالاوی با استفاده از روش جورسازی برمبنای نمره تمایل پرداختند. نتایج دال بر بهبود درآمد کشاورزان بکارگیرنده گلوری گیدیا به اندازه ۵۴ دلار در ماه بود. Huluka and Wondimagegnhu (2019) عامل‌های موثر بر گوناگونی غذایی خانوارهای ذخیره‌گاه زیست‌کره یایو در اتیوپی را بوسیله مدل‌های حداقل مربعات معمولی، پروبیت ترتیبی و پواسن بررسی و ارزیابی کردند. یافته‌های پژوهش بیانگر آن بود که سرمایه انسانی، سرمایه‌های طبیعی و فیزیکی مهم‌ترین عامل‌های تعیین‌کننده شاخص تنوع غذایی خانوار می‌باشند. (Akraši et al (2020) با استفاده از رگرسیون پواسن و شاخص تنوع غذایی خانوار، راهبردهای گوناگون‌سازی درآمد و امنیت غذایی خانوارها در میان کشاورزان تولیدکننده برنج در ناحیه شمالی تونگو غنا را بررسی و ارزیابی کرده و نتیجه گرفتند گوناگونی درآمد اثرگذاری‌های مثبتی بر امنیت غذایی دارد. (Cordero-Ahiman et al (2021) در بررسی عامل‌های موثر بر تنوع غذایی خانوارهای روستایی اکوادور، از مدل پواسن استفاده کردند. برابر یافته‌های پژوهش وسعت خانه‌سراها، شمار اعضای خانوار، هزینه‌های غذایی سرانه، سطح زیرکشت زمین‌های زراعی، سطح تحصیلات و وضعیت تاهل سرپرست خانوار از جمله عامل‌های موثر بر تنوع غذایی خانوارها ارزیابی شدند. Setsoafia et al (2022) مدل رگرسیون سوئیچینگ درونزای چندگانه^۲ را برای تجزیه و تحلیل اثرگذاری‌های کشاورزی پایدار بر درآمد و امنیت غذایی خانوارهای روستایی غنا استفاده کردند. نتایج گویای وجود ارتباط مثبت میان عملیات کشاورزی پایدار و درآمدها و امنیت غذایی کشاورزان بود. (Mgomezulu et al (2023) با بکارگیری روش رگرسیون سوئیچینگ درونزای تصحیح شده با انتخاب^۳، اثرگذاری‌های کشاورزی پایدار بر فقر خانوار و امنیت غذایی را در مالاوی تجزیه و تحلیل کردند. نتایج موید آن بود که کشاورزان بکارگیرنده عملیات کشاورزی پایدار در مقایسه با هم‌نوعان خود از امنیت غذایی بالاتری داشته‌اند. با این وجود، شواهد محکمی که دال بر کاهش تنگدستی خانوارها در پی پذیرش پیوسته این شیوه‌ها باشد، به چشم نمی‌خورد.

(Karbasi and Mohammadzadeh (2018) عامل‌های موثر بر امنیت غذایی در ایران را با تأکید بر نقش پایداری کشاورزی بررسی کردند. بدین منظور شاخص امنیت غذایی AHFSI و روش

¹ Gliricidia Fertilizer Tree Technology

² Multinomial Endogenous Switching Regression Model

³ Selectivity-corrected Endogenous Switching Regression models

جوهانسون-جوسلیوس را به کار بردند. برابر نتایج به دست آمده، درآمد سرانه، گوناگونی زراعی، واردات محصول‌های کشاورزی و شاخص کشاورزی پایدار تأثیر مثبت و معنی‌دار و متغیرهای ضریب جینی و سیاست‌های حمایتی دولت از بخش کشاورزی اثر منفی و معنی‌دار بر امنیت غذایی خانوارهای شهری و روستایی در کوتاه‌مدت و بلندمدت داشته‌اند. (Allahdadi et al (2024 اثرگذاری‌های رویکرد کشاورزی پایدار از منظر بوم‌شناختی در تأمین امنیت غذایی ایران را به روش کتابخانه‌ای بررسی و ارزیابی کردند. بنابر نتایج، توجه به رابطه‌های متقابل محیط زیست و کشاورزی به منظور دستیابی به امنیت غذایی، امری ضروری است.

در زمینه به‌کارگیری روش‌های یادگیری ماشینی در پیش‌بینی امنیت غذایی خانوارها نیز بررسی و ارزیابی‌های انجام شده قابل توجهی به چشم می‌خورد که می‌توان به برخی از آن‌ها اشاره کرد. از جمله (Razzaq et al (2021 با استفاده از روش‌های یادگیری ماشینی همچون ماشین بردار پشتیبان^۱، بیز ساده^۲، k نزدیکترین همسایه^۳، جنگل تصادفی^۴ و شبکه عصبی^۵ به ارزیابی وضعیت امنیت غذایی خانوارهای روستایی در پاکستان پرداختند. نتایج معیارهای ارزیابی، گویای دقت بالای الگوریتم جنگل تصادفی نسبت به دیگر الگوریتم‌های به‌کار رفته بود. (Ahn et al (2023 الگوریتم جنگل تصادفی را به منظور پیش‌بینی وضعیت امنیت غذایی خانوارهای روستایی در غرب آفریقا استفاده کردند. نتایج گویای آن بود که درآمد خانوارها، هزینه کودهای شیمیایی و هزینه مواد غذایی از جمله مهم‌ترین مولفه‌های موثر بر امنیت غذایی خانوارهای مورد بررسی می‌باشند. (Dan et al (2023 با به‌کارگیری الگوریتم‌های یادگیری ماشینی همچون شبکه عصبی مصنوعی^۶ (ANN)، رگرسیون لاجستیک^۷ (LR) و شبکه عصبی پرسپترون چندلایه-شبکه عصبی عمیق^۸ (MLP-DNN) و متغیرهای اقتصادی-اجتماعی به بررسی و ارزیابی ناامنی غذایی در نیجریه پرداختند. دقت مدل‌های ANN، LR و MLP-DNN به ترتیب برابر با ۹۳، ۹۳ و ۹۸ درصد بود که به منزله برتری مدل MLP-DNN قلمداد شد. (Jarraya and Farah (2023 محدودیت‌هایی که در به‌کارگیری روش‌های یادگیری ماشینی برای پیش‌بینی امنیت غذایی وجود

^۱ Support Vector Machine (SVM)

^۲ Naïve Bayes

^۳ k-nearest neighbors

^۴ Random Forest (RF)

^۵ Neural Network

^۶ Artificial Neural Network (ANN)

^۷ Logistic Regression (LR)

^۸ Multy Layer Perceptron- Deep Neural Network (MLP-DNN)

ارتباط بین کشاورزی پایدار... ۷۱

دارد را ارزیابی و از جمله محدودیت‌های موجود به کم بودن شمار مشاهداتی که تجزیه و تحلیل می‌شوند اشاره کردند.

مرور نتایج پژوهش‌های انجام شده پیشین گویای آن است که کشت پایدار محصول‌های کشاورزی و به عبارت دیگر کشاورزی پایدار، اثرگذاری‌های به‌سزایی در امنیت و گوناگونی غذایی خانوارهای روستایی دارد. از این‌رو این پژوهش در نظر دارد به این مسئله بپردازد که آیا در ناحیه‌های روستایی شهرستان بستان‌آباد که تولید سیب‌زمینی از جمله فعالیت‌های عمده کشاورزی است، اجرای عملیات کشت پایدار سیب‌زمینی، توانسته در بهبود امنیت غذایی کشاورزان نقش موثری ایفا کند یا خیر؟ بنابر آمارهای جهاد کشاورزی، حدود ۱۹۷ هزار تن از سیب زمینی کشور در استان آذربایجان شرقی تولید شده که از این میزان حدود ۴۰ هزار تن (۲۰ درصد) مربوط به شهرستان بستان‌آباد بوده است. لذا این پژوهش به دنبال آن است که ضمن محاسبه امتیاز تنوع غذایی خانوارهای روستایی و شناسایی عامل‌های موثر بر آن با تأکید بر نقش عملیات کشاورزی پایدار، بهترین الگوریتم یادگیری ماشینی که قادر به پیش‌بینی امنیت غذایی خانوارهای روستایی باشد را شناسایی کند. نتایج این پژوهش می‌تواند در راستای بهبود وضعیت امنیت غذایی در ناحیه‌های روستایی شهرستان بستان‌آباد، اطلاعات سودمندی را در اختیار سیاست‌گذاران و متولیان امر قرار دهد.

روش تحقیق

روش‌شناسی این پژوهش در چهار بخش ارائه شده است. در آغاز فعالیت‌هایی که به عنوان راهکارهای عملیات کشاورزی پایدار در کشت سیب‌زمینی شناخته شده‌اند بررسی شده است. آنگاه امتیاز تنوع غذایی خانوارهای روستایی تولیدکننده سیب‌زمینی محاسبه شده و درگام بعد با استفاده از روش رگرسیون پواسن عامل‌های موثر بر امتیاز تنوع غذایی آن‌ها شناسایی شده‌اند. در نهایت با به‌کارگیری الگوریتم‌های یادگیری ماشینی، مبتنی بر نتایج رگرسیون پواسن، بهترین الگوریتم یادگیری ماشینی که قادر به تعیین وضعیت امتیاز تنوع غذایی خانوارهای روستایی باشد، مشخص شده است.

معیارهای ارزیابی پایداری کشت سیب‌زمینی: به منظور ارزیابی اثرگذاری‌های عملیات کشاورزی پایدار بر امتیاز تنوع غذایی خانوارهای روستایی، لازم است در ابتدا فعالیت‌هایی که در تولید سیب‌زمینی تأثیرگذار بوده و به عنوان راهکارهای کشاورزی پایدار شناخته می‌شوند، شناسایی شوند. بدین منظور با توجه به بررسی و ارزیابی‌های انجام ده (Mishra et al (2018 و Davodi

(2011) Maghsoudi and فعالیت‌هایی که به عنوان شاخص‌های عملیات کشاورزی پایدار در نظر گرفته شدند، عبارتند از: تغییر سامانه‌ها و روش‌های آبیاری به بارانی و قطره‌ای، بهینه‌سازی مصرف کودهای شیمیایی، بهینه‌سازی مصرف آفت‌کش‌ها، حفظ پسماندهای گیاهی در کشتزار، استفاده از بذرهای اصلاح‌شده، استفاده از کشت گیاهان پوششی، استفاده از کودهای دامی، استفاده از حبوبات، کشت محصول‌های جایگزین، استفاده از رقم‌های مقاوم، استفاده از کودهای سبز، استفاده از پوسان (کمپوست)، شخم کمینه (حداقل)، حفاظت خاک، آبیاری در شب، اصلاح زمین (خاک)، شخم عمود بر شیب، رعایت تناوب زراعی، استفاده از نظام آیش و مدیریت منابع آب.

شاخص تنوع غذایی خانوار^۱: گوناگونی غذایی به وسیله امتیاز تنوع غذایی که توسط FANTA^۲ توسعه پیدا کرده است که به عنوان شاخصی برای ارزیابی دستیابی خانوارها به مواد غذایی ارزیابی می‌شود (Swindale A and Bilinsky, 2006). امتیاز با شمارش گروه‌های غذایی مختلف مصرف‌شده توسط خانوار در ۲۴ ساعت گذشته با استفاده از فهرست ترجیحی ۱۲ گروه غذایی مرجع سازمان خواروبار و کشاورزی (فائو) ایجاد شد. گروه‌های غذایی مرجع استفاده شده در جدول (۱) ارائه شده است.

جدول (۱) گروه‌های غذایی به کار رفته برای محاسبه امتیاز تنوع غذایی خانوارهای روستایی
Table (1) Food groups used for the computation of the household dietary diversity scores

گروه Group	متغیر variable	مواد غذایی Foodstuffs
A	غلات Cereals	ذرت، برنج، گندم، سورگوم، ارزن و غذاهای دیگری که از این‌ها تولید می‌شود مانند نان Maize, rice, wheat, sorghum, millet or any other grains or foods made from these (such as bread, noodles, porridge)
B	حبوبات Pulses/legumes	لوبیا، نخود، بادام زمینی، آجیل، دانه‌ها یا غذاهای تهیه شده از این‌ها Dried beans, dried peas, groundnuts, nuts, seeds or foods made from these
C	سبزی‌ها Household dimension (person)	گوجه فرنگی، پیاز، هویج، برگ‌ها Tomato, onion, carrot, leaves
D	میوه‌ها Fruits	همه میوه‌ها از جمله آب میوه ۱۰۰ درصد All fruits including 100% fruit juice
E	ریشه‌ها و غده‌ها Roots and tubers	کاساوا، سیب‌زمینی شیرین، کوکویا Cassava, yam, cocoyam

¹ Dietary Diversity Indicator

² Food and Nutrition Technical Assistance

ادامه جدول (۱) گروه‌های غذایی به کار رفته برای محاسبه امتیاز تنوع غذایی خانوارهای روستایی
Table (1) Food groups used for the computation of the household dietary diversity scores

گروه Group	متغیر variable	مواد غذایی Foodstuffs
F	گوشت قرمز و مرغ Meat and poultry	گوشت گاو، گوشت مرغ Beef, chicken
G	تخم پرندگان Expenses (million Rials)	تخم مرغ و ... Poultry eggs and so on
H	ماهی و غذاهای دریایی Fish and seafood	ماهی، میگو Fish, prawns
I	شیر و فرآورده‌های آن Milk and milk products	شیر، پنیر، ماست یا دیگر فرآورده‌های شیر Milk, cheese, yogurt or other milk products
J	روغن‌ها و چربی‌ها Oils and fats	روغن، چربی یا کره ای که به غذا اضافه می شود یا برای پخت و پز استفاده می شود Oil, fats or butter added to food or used for cooking
K	شیرینی‌جات Oils and fats	شکر، عسل، آبمیوه‌های شیرین شده، غذاهای شیرین (شکلات، آب نبات، کلوچه و کیک) Sugar, honey, sweetened juice drinks, sugary foods (chocolates, candies, cookies and cakes)
L	چاشنی‌ها، ادویه‌ها Condiments, spices	ادویه ها، چاشنی ها (سس سویا، سس تند)، قهوه، چای Spices, condiments (soy sauce, hot sauce), coffee, tea

Source: Kennedy et al (2011)

منبع : یافته های تحقیق

شاخص تنوع غذایی خانوار به شرح زیر تعریف می‌شود:

$$HDDS(0 - 12) = \sum (A + B + C + D + E + F + G + H + I + J + K + L) \quad (۱)$$

در رابطه (۱)، HDDS بیانگر شاخص تنوع غذایی خانوار است که با در نظر گرفتن ۱۲ گروه غذایی برای یک دوره زمانی ۲۴ ساعته محاسبه می‌شود. به عبارت دیگر نام‌های گروه‌های غذایی دوازده‌گانه که طی ۲۴ ساعت گذشته در خانواده فرد به مصرف رسیده‌اند، پرسش می‌شوند. دامنه امتیاز این شاخص از یک تا ۱۲ می‌باشد. در صورتی که گروه غذایی در خانواده فرد مصرف شده باشد، امتیاز یک و در غیر این صورت، امتیاز صفر به آن گروه تعلق می‌گیرد (Swindale A and Bilinsky, 2006). میانگین شاخص HDDS برای جامعه آماری مورد بررسی از نسبت مجموع امتیازهای محاسبه شده به شمار نمونه‌های مورد بررسی برابر رابطه (۲) محاسبه می‌شود (Swindale A and Bilinsky, 2006):

$$Average HDDS = \frac{\sum (HDDS)}{\text{Total Number of Households}} \quad (۲)$$

به‌طور کلی، خانوارها از نظر تنوع غذایی به سه دسته تقسیم می‌شوند: اگر $HDDS \leq 4$ باشد، وضعیت تنوع غذایی خانوار ضعیف است؛ اگر HDDS بین ۵ تا ۷ باشد، وضعیت متوسط به شمار

می‌آید؛ و اگر $HDDS \geq 8$ باشد، وضعیت مناسب امنیت غذایی به‌شمار می‌آید (Akrasi et al., 2020).

رگرسیون پواسن^۱: در این پژوهش، متغیر وابسته عبارت است از شمار گروه‌های غذایی که خانوار طی ۲۴ ساعت گذشته مصرف کرده‌اند. بنابراین متغیر وابسته، حالت شمارشی دارد و عامل‌های موثر بر آن را نمی‌توان با مدل‌های مرسوم بررسی کرد. متغیر وابسته پژوهش (y)، یک متغیر شمارشی عدد صحیح غیر منفی گسسته^۲ است. در صورتی که Y ، یک متغیر تصادفی پواسن باشد، تابع چگالی احتمال آن را می‌توان به‌صورت رابطه (۳) نمایش داد (Greene, 2008):

$$f(y_i | x_i) = P(Y_i = y_i) = \frac{e^{-\lambda_i} \lambda_i^{y_i}}{y_i!}, y_i = 0, 1, 2, 3, \dots \quad (3)$$

که در آن y_i شمار گروه‌های غذایی مصرف شده توسط خانوارها طی یک هفته گذشته، x_i متغیرهایی که بر انتخاب و مصرف گروه‌های مختلف غذایی توسط خانوارها تاثیر می‌گذارند و λ_i نیز نشانگر تعداد مورد انتظار رویدادها می‌باشد. اگر فرض شود که مشاهددهای مستقل از هم می‌باشند، در این صورت تابع لگاریتم درستنمایی مرتبط با برآورد را می‌توان در قالب رابطه (۴) نشان داد:

$$\ln L(\beta) = \sum_{i=1}^n [y_i x_i' \beta - \exp(x_i' \beta) - \ln y_i!] \quad (4)$$

در رابطه (۴)، $\ln L$ نشان‌دهنده تابع لگاریتم درستنمایی و β فراسنجه‌های مجهولی است که بایستی برآورد شود.

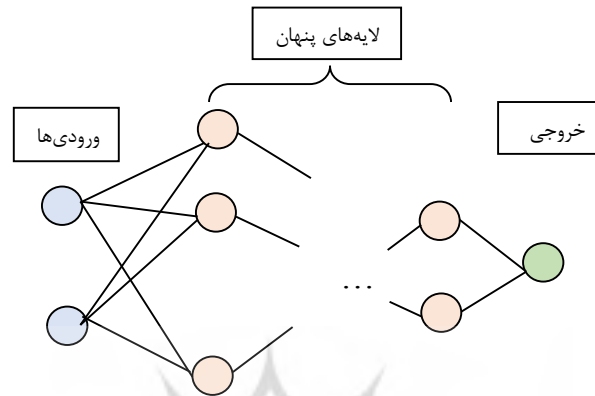
شبکه عصبی پرسپترون چندلایه^۳: پرسپترون چند لایه (MLP)، نوعی شبکه عصبی مصنوعی اولیه است که از شمار محدودی لایه پیوسته تشکیل شده است. یک MLP دست کم دارای سه لایه شامل لایه ورودی، لایه پنهان و لایه خروجی می‌باشد. یک MLP را می‌توان به عنوان یک گراف (نگاره) جهت‌دار در نظر گرفت که مجموعه‌ای از بردارهای ورودی را به مجموعه‌ای از بردارهای خروجی متصل می‌کند و از چندین لایه گره متصل به لایه بعدی تشکیل شده است. این اتصال‌ها را به طور کلی سیناپس می‌نامند (Pinkus, 1999). پرسپترون چندلایه، یک پرسپترون تعمیم‌یافته است که ضعف پرسپترون در تشخیص داده‌های خطی جدانشدنی را برطرف می‌نماید. لایه‌های MLP به طور کامل به هم متصل هستند؛ به این معنی که هر نورون در هر لایه با همه نورون‌های لایه پیشین مرتبط بوده و این اتصال، نشان‌دهنده جمع وزنی

¹ Poisson Regression

² Discrete Nonnegative Integer-Valued Count Variable

³ Multi-layer perceptron (MLP)

می‌باشد (Miglani and Kumar, 2019). چهارچوب یک مدل پرسپترون چندلایه در شکل (۱) نشان داده شده است.



شکل (۱) چهارچوب مدل پرسپترون چندلایه

Figure (1) Multilayer Perceptron (MLP) model structure

منبع: Miglani and Kumar (2020)

Source: Miglani and Kumar (2020)

ارتباط بین لایه ورودی تا لایه پنهان را می‌توان در قالب رابطه (۵) نشان داد (Gao et al., 2020):

$$H_1 = f(W_1 X + B_1) \quad (5)$$

که در آن H_1 نشانگر نخستین لایه پنهان، X نشانگر ورودی، W_1 نماد فراسنجه‌های وزن، B_1 نیز نماد پارامترهای وزن و f یک تابع فعال‌سازی غیرخطی می‌باشد. تابع فعال‌سازی در طول لایه‌های پنهان، روش‌های مشابه را تکرار می‌کند تا خروجی لایه‌های پنهان را دریافت کند. هر لایه نیز فراسنجه‌های وزنی و اریب متفاوتی دارد. به منظور نشان دادن ارتباط بین لایه‌های پنهان و لایه خروجی از رابطه (۶) استفاده می‌شود (Gao et al., 2020):

$$\gamma = G(W_L H_L + B_L) \quad (6)$$

که در آن γ نماد خروجی مدل، H_L بیانگر آخرین لایه پنهان، L نشانگر شمار لایه‌های پنهان، G هم‌نشان‌دهنده تابع فعال‌سازی است که به‌طور معمول تحت عنوان Softmax شناخته می‌شود. بدین ترتیب، رابطه‌های بین ورودی و خروجی ایجاد می‌شود. اگر وزن W یا اریب B در یک یا چند نورون اندکی تغییر کند، خروجی متفاوتی از آن نورون مشاهده خواهد شد (Gao et al., 2020).

جنگل تصادفی^۱: الگوریتم جنگل تصادفی از جمله بهترین الگوریتم‌های یادگیری ماشینی است که توسط بریمن^۲ در سال ۲۰۰۱ مبتنی بر توسعه درخت تصمیم ارائه شده است (Makhija et al., 2021). مدل RF مجموعه‌ای از پیش‌بینی‌کننده‌های درختی مرتبط با مقدارهای مختلف بردارهای تصادفی نمونه‌برداری شده به طور مستقل می‌باشد. در مرحله آموزش، یک مدل جنگل تصادفی درخت‌های تصمیم مرتبط با دکور^۳ را می‌سازد و خروجی مدل کلی با میانگین‌گیری مقدارهای خروجی همه درخت‌ها به دست می‌آید. مبنای کار روش جنگل تصادفی ترکیب چندین درخت تصمیم است که در ساخت آن چندین نمونه Boot-Strap از داده‌ها شرکت دارند که در ساخت هر درخت، شماری از متغیرهای ورودی به طور تصادفی شرکت می‌کنند. روش Boot-Strap شیوه نمونه‌گیری با جای‌گذاری است؛ بنابراین، با تکرار عملیات نمونه‌گیری، تعدادی مجموعه داده OOB^۴ از مجموع آموزشی به وجود می‌آید که می‌توان، برای هر مجموعه داده آموزشی، یک درخت تصمیم محاسبه کرد و میزان خطای مدل برازش داده شده را با استفاده از این نمونه‌های OOB برآورد کرد (Breiman et al., 2002). اگر شمار داده‌هایی که به منزله داده‌های آموزشی برای ساخت مدل استفاده می‌شوند N، شمار کل متغیرهای پیش‌بینی‌کننده M و شمار کل این درخت‌ها در مدل n باشد، برای ساخت درخت M در آغاز نمونه اصلی به دو قسمت نمونه آموزشی و نمونه آزمایشی تقسیم می‌شود. از نمونه آموزشی، بار دیگر و به حجم k نمونه‌گیری می‌شود و یک سوم از نمونه آموزشی جدید، به منزله نمونه بیرون از کیسه (OOB)، از مجموعه داده‌های آموزشی جدا می‌شود. در حقیقت، OOB در هر درخت، نقش نمونه امتحانی را برای آن درخت ایفا می‌کند. در گام بعد شمار m متغیر به تصادف از بین M متغیر توضیحی انتخاب می‌شود ($m < M$). در نهایت نسبت به پیش‌بینی متغیر موردنظر (در این پژوهش، امتیاز تنوع غذایی خانوارها) بر مبنای متغیرهای توضیحی انتخاب شده، اقدام می‌شود (Breiman, 2001).

معیارهای نیکوئی برازش: ضروری است اعتبار مدل‌های برآورد شده به وسیله معیارهای نیکوئی برازش ارزیابی شوند که در این پژوهش از دو معیار ضریب تعیین^۵ و شاخص پراکندگی^۶ برابر رابطه‌های (۷) و (۸) برای ارزیابی استفاده خواهد شد.

$$R^2 = 1 - \frac{\sum_{i=1}^N (A_i - \hat{P}_i)^2}{\sum_{i=1}^N (A_i - \bar{A})^2} \quad (7)$$

^۱ Random Forest (RF)

^۲ Breiman

^۳ Decor-Related

^۴ Out of Bag

^۵ Coefficient of Determination

^۶ Scatter Index (SI)

ارتباط بین کشاورزی پایدار... ۷۷

$$SI = \frac{RMSE}{\bar{A}} \quad (۸)$$

در رابطه‌های فوق N بیانگر شمار مشاهده‌های، A_i ، $\hat{P}_i$ و $\bar{A}$ به ترتیب بیانگر اعداد مشاهده، اعداد پیش‌بینی شده و میانگین اعداد مشاهده شده است (Ahmad et al., 2017).

جامعه آماری: جامعه آماری این پژوهش کشاورزان تولیدکننده سیب‌زمینی در شهرستان بستان آباد می‌باشد. حجم نمونه به وسیله فرمول کوکران و بر مبنای واریانس امتیاز تنوع غذایی خانوارهای روستایی به عنوان صفت موردنظر، برابر با ۱۴۸ نفر به صورت رابطه (۹)، تعیین شد.

$$n = \frac{Nt^2s^2}{Nd^2 + t^2s^2} \cong 148 \quad (۹)$$

در رابطه (۹)، n شمار نمونه موردنیاز، N شمار کل جمعیت هدف (کشاورزان تولیدکننده سیب‌زمینی در شهرستان بستان آباد) که حدود ۴۰۰۰ نفر می‌باشند، t ضریب اطمینان در فاصله ۹۵ درصد برابر با ۱/۹۶ و s^2 واریانس امتیاز تنوع غذایی خانوارهای روستایی (۱/۹۹) می‌باشد. همچنین d خطای قابل‌پذیرش است که مقدار آن در سطح اطمینان ۹۵ درصد معادل ۰/۰۵ در نظر گرفته می‌شود. اطلاعات موردنیاز برای سال زراعی ۱۴۰۱-۱۴۰۰ با تکمیل پرسشنامه‌ها از کشاورزان تولیدکننده سیب‌زمینی در شهرستان بستان آباد جمع‌آوری شد.

نتایج و بحث

در جدول (۲) آمار توصیفی متغیرهای اقتصادی به کار رفته در فرآیند تحقیق نوشته شده است. با توجه به اینکه میانگین امتیاز تنوع غذایی خانوار برابر با ۸/۶ و به عبارتی بالاتر از ۸ است، می‌توان نتیجه گرفت که کشاورزان تولیدکننده سیب‌زمینی در شهرستان بستان آباد به لحاظ امنیت غذایی دارای وضعیت مناسبی می‌باشند. کشاورزان مورد بررسی از ۲۰ مورد راهکارهای عملیات کشاورزی پایدار به طور میانگین ۱۱ مورد را انجام می‌دهند. میانگین عملکرد کشاورزان تولیدکننده سیب‌زمینی برابر با ۳۷/۴۴ تن در هکتار می‌باشد. میانگین سطح زیرکشت سیب‌زمینی در منطقه مورد بررسی و ارزیابی نیز معادل ۵/۴۲ هکتار است. کشاورزان طی یک هفته پیش از مصاحبه، به طور میانگین حدود ۲/۳ میلیون تومان صرف تهیه مواد غذایی خانواده خود نموده‌اند.

جدول (۲) آمار توصیفی متغیرهای اقتصادی مورد مطالعه

Table (2) Descriptive statistics of the economic variables

متغیر Variable	میانگین Mean	انحراف معیار Std.dev	کمینه Minimum	بیشینه Maximum
امتیاز تنوع غذایی خانوار HDDS	8.6	1.83	3	12
شمار عملیات کشاورزی پایدار Number of sustainable farming operations	11	2	4	20
عملکرد در هکتار Yield (ton/hect)	37.44	12.24	1	70
سطح زیرکشت (هکتار) Area (hec)	5.42	6.50	0.4	40
هزینه مواد غذایی طی یک هفته گذشته (ریال) Food expenditure per last week (Rials)	23636490	20785480	1000000	90000000

Source: Research findings

منبع: یافته های تحقیق

در جدول (۳) آمار توصیفی بعضی از متغیرهای فردی و اجتماعی کشاورزان تولیدکننده سیبزمینی در شهرستان بستان آباد گزارش شده است. ملاحظه می شود حدود ۸۰ درصد از کشاورزان مورد بررسی و ارزیابی دارای تحصیلاتی در حد دیپلم و پایین تر از آن بوده اند. سن ۸۵ درصد از کشاورزان بالای ۳۰ سال است که دلیلی بر بی رغبتی نسل جدید روستانشینان نسبت به ادامه فعالیت های کشاورزی بوده و مسئله ای نگران کننده برای آینده کشاورزی منطقه قلمداد می شود. نزدیک به نصف کشاورزان (۴۵ درصد) عضو تعاونی های کشاورزی می باشند. ضمن اینکه ۷۳ درصد کشاورزان تاکنون در کلاس های آموزشی-ترویجی برگزار شده است، شرکت نکرده اند. در جدول (۴)، نتایج به دست آمده از بررسی عامل های موثر بر امتیاز تنوع غذایی خانوارهای تولیدکننده سیبزمینی با استفاده از مدل پوآسن گزارش شده است. ملاحظه می شود که ضریب های همه متغیرهای به کار رفته در الگو، معنی دار و دارای تاثیر مثبت بر امتیاز تنوع غذایی خانوار می باشند. باتوجه به جدول (۴)، در صورتی که شمار عملیات کشاورزی پایدار یک مورد افزایش پیدا کند، لگاریتم شمار مورد انتظار^۱، امتیاز تنوع غذایی خانوار ۰/۰۲۱ واحد افزایش پیدا خواهد کرد. صرف مبالغ بالاتر برای تامین مواد غذایی خانوار و همچنین افزایش سطح زیرکشت سیب-زمینی، منجر به افزایش شمار یادشده به ترتیب به اندازه ۰/۰۲۶ و ۰/۰۰۹ واحد می گردد.

¹ The expected log count

ارتباط بین کشاورزی پایدار...۷۹

جدول (۳) آمار توصیفی برخی ویژگی‌های فردی و اجتماعی کشاورزان

Table (3) Descriptive statistics of farmer's personal and social characteristics

متغیر Variable	طبقات Classes	فراوانی (نفر) Frequency	فراوانی نسبی (درصد) Relative frequency (percentage)
تحصیلات Education	بی‌سواد Illiterate	27	18.24
	ابتدایی Elementary	17	11.50
	راهنمایی Middle	33	22.29
	دیپلم Diploma	40	27.04
	فوق دیپلم Associate Degree	15	10.13
	لیسانس Bachelor's degree	12	8.10
	فوق لیسانس Master	4	2.70
بازه سنی کشاورزان Age range of farmers	< 30	22	14.87
	31 < age < 40	40	27.02
	41 < age < 60	62	41.90
	> 61	24	16.21
عضویت در تعاونی Membership in a cooperative	بله=۱ Yes=1	67	45.28
	خیر=۰ No=0	81	54.72
شرکت در کلاس‌های ترویجی برگزار شده Extension class	0	109	73.65
	1	19	12.84
	2	12	8.11
	> 2	8	5.40

Source: Research findings

منبع: یافته‌های تحقیق

جدول (۴) تعیین عوامل موثر بر امتیاز تنوع غذایی خانوارها با استفاده از مدل پواسن

Table (4) Determination of factors affecting HDDS using the Poisson model

متغیر variable	ضریب Coefficients	انحراف استاندارد Std.dv	نسبت خطر IRR
تعداد عملیات کشاورزی پایدار Number of sustainable farming operations	0.021***	0.012	1.021
هزینه مواد غذایی طی یک هفته گذشته (ریال) Food expenditure per last week (Rials)	0.026*	0.038	1.026
سطح زیر کشت (هکتار) Area (hec)	0.009**	0.004	1.009
Prob > chi2	0.000		
Log-Likelihood	-307.699		
Pseudo R2	0.043		

Source: Research findings (***, ** and * are significant at 1, 5 and 10 percent)

باتوجه به اینکه درک مفهوم لگاریتم شمار مورد انتظار ممکن است که دشوار باشد، لذا به منظور توجیه و تفسیر نتایج به دست آمده، از مولفه دیگری به نام نسبت خطر^۱ (IRR) استفاده می‌شود که در واقع بیانگر عدد نپر به توان ضریب مورد نظر می‌باشد. نتایج برآورد نسبت‌های خطر، گویای آن است که هر سه متغیر اثر مثبتی بر امتیاز تنوع غذایی خانوار از خود بر جای می‌گذارند. برابر جدول (۴) هر مورد افزایش در شمار عملیات کشاورزی پایدار، منجر به افزایش نسبت خطر امتیاز تنوع غذایی خانوار به اندازه ۱/۰۲۱ برابر می‌شود. این امر بدان سبب است که رعایت اصول کشاورزی پایدار می‌تواند با افزایش درآمد کشاورز، منجر به بهبود قدرت خرید وی شده و مقدار و گوناگونی محصولات خوراکی که می‌تواند خریداری کند را افزایش دهد. به عنوان مثال انجام آبیاری در شب، نظر به بالا بودن سرعت تبخیر آب در کشور، می‌تواند با جلوگیری از تبخیر آب، باعث بهبود کارایی مصرف آب و تولید مقدار بیشتری محصول در واحد سطح شود. به‌کارگیری بذره‌های اصلاح‌شده و رقم‌های مقاوم می‌تواند با افزایش مقاومت در برابر تنش‌های محیطی، مصرف نهاده‌ها را نیز کاهش داده و ضمن صرفه‌جویی در هزینه‌های تولید، عملکرد بالاتری را نیز برای محصول به ارمغان بیاورد. دیگر اقدام‌ها و عملیات کشت پایدار نیز می‌تواند به گونه‌ای بر عملکرد کشاورز و در نتیجه قدرت خرید و امنیت غذایی وی تاثیرگذار باشد.

افزایش هزینه‌هایی که کشاورز طی یک هفته گذشته صرف خرید مواد غذایی برای خانواده خود می‌کند باعث می‌شود تا نسبت خطر امتیاز تنوع غذایی خانوار ۱/۰۲۶ برابر افزایش یابد. بدیهی است که بالا بودن مبلغ صرف شده برای غذا می‌تواند تنوع غذای خریداری شده توسط خانوارهای کشاورزی را نیز افزایش دهد. در نهایت بر اساس جدول (۴) می‌توان استدلال کرد، افزایش هر هکتار سطح زیرکشت سیب‌زمینی منجر به افزایش نسبت خطر امتیاز تنوع غذایی خانوار به اندازه ۱/۰۰۹ برابر می‌شود. سطح زیرکشت بالاتر می‌تواند تولید مقدارهای بالاتر محصول را به همراه داشته باشد. هرچقدر محصول بیشتری توسط کشاورز تولید شود، به همان میزان درآمد بالاتری نصیب وی خواهد شد و لذا کشاورز امکان بیشتری برای خرید نیازمندی‌های خوراکی خود و خانواده‌اش و ارتقاء وضعیت امنیت غذایی خواهد داشت.

در ادامه پژوهش به این مسئله پرداخته می‌شود که آیا با استفاده از الگوریتم‌های یادگیری ماشینی می‌توان الگوی مشخصی را برای وضعیت امنیت غذایی خانوارهای روستایی در شهرستان بستان‌آباد تعیین کرد؟ بدین منظور با به‌کارگیری الگوریتم شبکه عصبی مصنوعی پرسپترون چندلایه و الگوریتم جنگل تصادفی نسبت به پیش‌بینی وضعیت امتیاز تنوع غذایی خانوارهای موردبررسی اقدام شد.

¹ Logs of Expected Counts

ارتباط بین کشاورزی پایدار... ۸۱

بنابر نتایج جدول (۴) ترکیب‌های (سناریوهای) مختلف متغیرهایی که برای پیش‌بینی امتیاز تنوع غذایی خانوارها به کار رفته‌اند عبارتند از: ۱- تعداد عملیات کشاورزی پایدار (TA) -۲ هزینه مواد غذایی طی یک هفته گذشته (TC) -۳ سطح زیرکشت سیب‌زمینی (MZ) -۴ تعداد عملیات کشاورزی پایدار و هزینه مواد غذایی طی یک هفته گذشته (TA, TC) -۵ تعداد عملیات کشاورزی پایدار و سطح زیرکشت سیب‌زمینی (TA, MZ) -۶ هزینه مواد غذایی طی یک هفته گذشته و سطح زیرکشت سیب‌زمینی (TC, MZ) -۷ شمار عملیات کشاورزی پایدار و هزینه مواد غذایی طی یک هفته گذشته و سطح زیرکشت سیب‌زمینی (TA, TC, MZ).

هدف بعدی یافتن بهترین الگوریتم یادگیری ماشینی است که توانایی پیش‌بینی امتیاز تنوع غذایی خانوارهای روستایی بستان‌آباد را بر مبنای سناریوهای مطرح شده، با کمترین میزان خطا داشته باشد. بدین منظور می‌توان از الگوریتم‌های بسیاری بهره گرفت، لیکن همان‌گونه که در قسمت مواد و روش‌ها نیز اشاره شد، باتوجه به پرکاربرد بودن الگوریتم‌های شبکه عصبی مصنوعی و الگوریتم‌های مبتنی بر درختان تصمیم‌گیری، از الگوریتم‌های شبکه عصبی پرسپترون چند لایه (ANN-MLP) و جنگل تصادفی (RF) همانند بررسی‌ها و ارزیابی‌های انجام شده (Deleglise et al., 2021; Razzaq et al., 2021) بهره گرفته شد. در جدول (۵) مقدارهای معیارهای آماری R^2 و SI برای مدل‌های یادشده با در نظر گرفتن سناریوها (ترکیب‌های مختلف متغیرها) آورده شده است. بررسی مقدارهای محاسبه شده برای آماره‌های ضریب تعیین و شاخص پراکندگی گویای آن است که الگوریتم شبکه عصبی پرسپترون چندلایه در مقایسه با الگوریتم جنگل تصادفی، دارای قدرت توضیح‌دهندگی بهتری می‌باشد. در رابطه با الگوریتم شبکه عصبی پرسپترون چندلایه (ANN-MLP) نیز ترکیب (سناریو) چهارم یعنی، شمار عملیات کشاورزی پایدار و هزینه‌های صرف شده برای مواد غذایی طی یک هفته گذشته، با ضریب تعیین ۰/۵۶ و شاخص پراکندگی ۰/۱۸، بهترین سناریوی ممکن جهت پیش‌بینی امتیاز تنوع غذایی خانوارهای روستایی در شهرستان بستان‌آباد می‌باشد. سناریوی اول (شمار عملیات کشاورزی پایدار) به تنهایی با ضریب تعیین ۰/۴۸ و شاخص پراکندگی ۰/۲۰ در رتبه دوم به لحاظ قدرت توضیح‌دهندگی قرار دارد. نکته قابل توجه، وجود متغیر شمار عملیات کشاورزی پایدار (TA) است، که هم در سناریوی چهارم و هم در سناریوی اول حضور دارد و گویای اثرگذاری‌های چشمگیر این متغیر در تعیین وضعیت امتیاز تنوع غذایی خانوارهای تولیدکننده سیب‌زمینی در ناحیه‌های روستایی شهرستان بستان‌آباد می‌باشد.

در رابطه با الگوریتم جنگل تصادفی (RF) نیز می‌توان اذعان کرد که سناریوی ششم یعنی سطح زیرکشت سیب‌زمینی و هزینه‌های صرف شده برای مواد غذایی طی یک هفته گذشته (TC, MZ) به ترتیب با ضریب تعیین و شاخص پراکندگی ۰/۴۰ و ۰/۲۰ مناسب‌ترین سناریو می‌باشد.

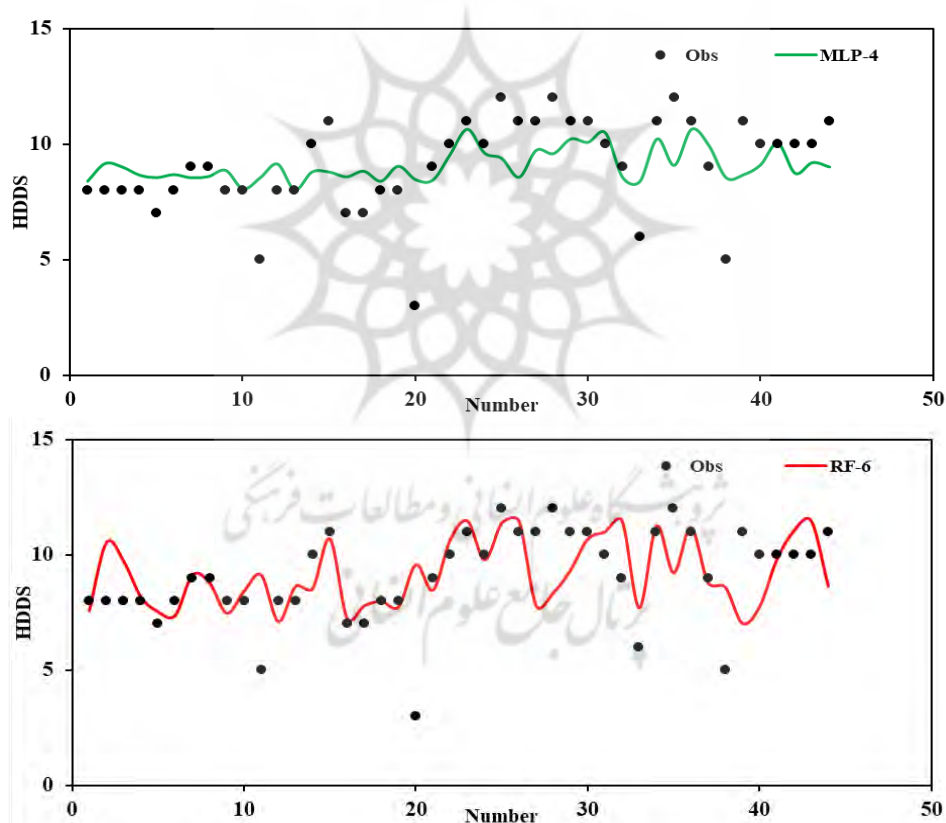
جدول (۵) معیارهای ارزیابی آماری مدل‌های RF و MLP

Table (5) Statistical evaluation criteria of MLP and RF models

ردیف Row	سناریو Scenario	MLP		RF	
		R^2	SI	R^2	SI
1	TA	0.48	0.20	0.31	0.21
2	TC	0.39	0.22	0.11	0.23
3	MZ	0.09	0.23	0.10	0.23
4	TA, TC	0.56	0.18	0.28	0.22
5	TA, MZ	0.32	0.21	0.27	0.22
6	TC, MZ	0.26	0.21	0.40	0.20
7	TA, TC, MZ	0.41	0.20	0.35	0.21

Source: Research findings

منبع: یافته‌های تحقیق



شکل (۲) اختلاف مشاهده شدنی و پیش‌بینی شده با استفاده از مدل‌های MLP-4 و RF-6

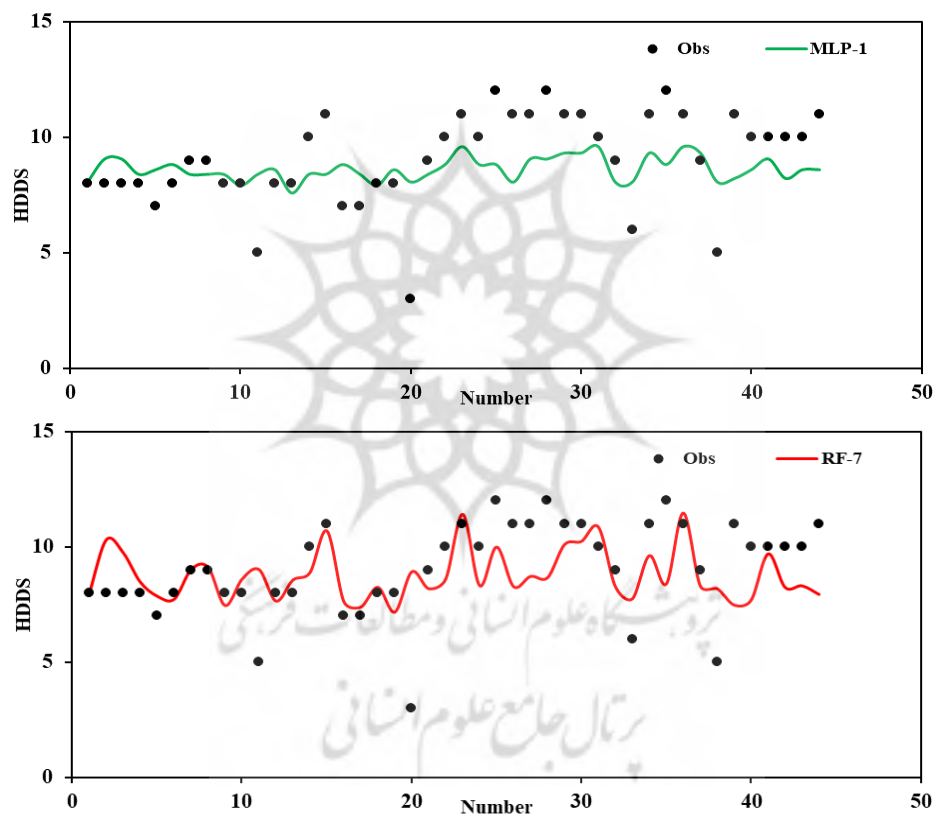
Figure (2) Difference of observed and predicted HDDS using MLP-4 and RF-6 models

منبع: یافته‌های پژوهش

Source: Research findings

ارتباط بین کشاورزی پایدار... ۸۳

در شکل (۲)، نمودارهای مربوط به اختلاف HDDSهای مشاهده شدنی و پیش‌بینی شده برای سناریوی چهارم (TA, TC) در الگوریتم شبکه عصبی پرسپترون چندلایه و سناریوی ششم (TC, MZ) در الگوریتم جنگل تصادفی ترسیم شده است. نقطه‌های سیاه، نشانگر HDDSهای مشاهده شدنی و خطوط سبز و قرمز HDDSهای پیش‌بینی شده را به ترتیب برای الگوریتم‌های ANN-MLP و RF نشان می‌دهند. از بررسی و ارزیابی نمودارها می‌توان استنباط کرد که در الگوریتم شبکه عصبی پرسپترون چندلایه نسبت به الگوریتم جنگل تصادفی، اختلاف بین HDDSهای مشاهده شدنی و پیش‌بینی شده، کمتر و لذا دقت پیش‌بینی، بالاتر می‌باشد.



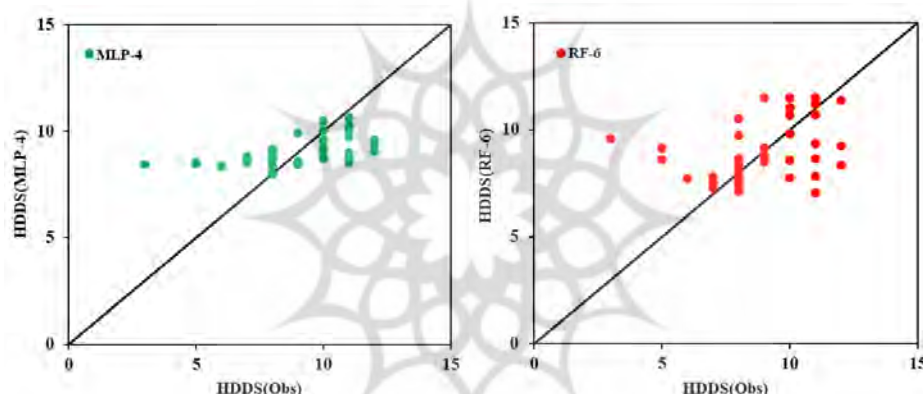
شکل (۳) اختلاف HDDS مشاهده شدنی و پیش‌بینی شده با استفاده از مدل‌های MLP-1 و RF-7

Figure (3) Difference of observed and predicted HDDS using MLP-1 and RF-7 models

منبع: یافته‌های پژوهش

Source: Research findings

همچنین در شکل (۳)، نمودارهای مربوط به اختلاف بین HDDSهای مشاهده شدنی و پیش‌بینی شده برای سناریوی اول (TA) در الگوریتم شبکه عصبی پرسپترون چندلایه و سناریوی هفتم (TA, TC, MZ) در الگوریتم جنگل تصادفی ترسیم شده است. این نمودارها نیز همانند دو نمودار پیشین، دلالت بر اختلاف کمتر و دقت بالاتر پیش‌بینی در الگوریتم شبکه عصبی دارد. در شکل (۴) نمودار پراکنش امتیاز تنوع غذایی خانوارهای بررسی و ارزیابی شده (HDDS) برای سناریو چهارم در الگوریتم شبکه عصبی پرسپترون چندلایه (ANN-MLP-4) و سناریو ششم در الگوریتم جنگل تصادفی (RF-6) ترسیم شده است. باتوجه به نمودار، می‌توان دریافت که پراکنش HDDSهای مشاهده شدنی و پیش‌بینی شده در الگوریتم ANN-MLP-4 به مراتب کمتر از الگوریتم RF-6 می‌باشد. این امر با نتیجه به دست آمده از بررسی شکل (۲) در همخوانی کامل قرار دارد.



شکل (۴) نمودارهای پراکنش HDDS مشاهده شدنی و پیش‌بینی شده با استفاده از مدل‌های MLP-4 و RF-6

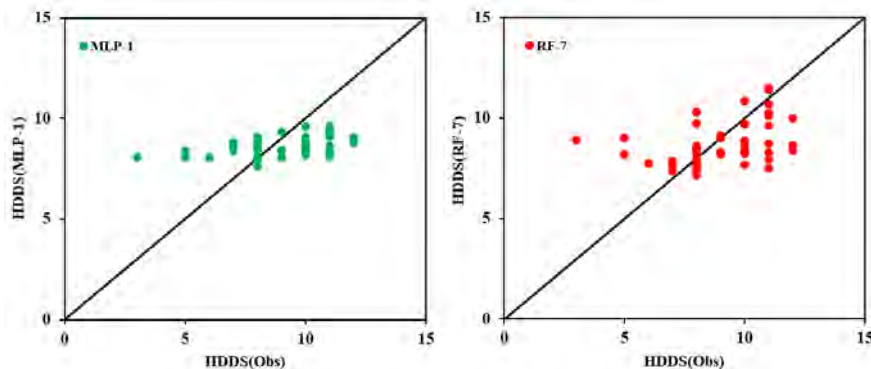
Figure (4) Scatter plots of observed and predicted HDDS using MLP-4 and RF-6 models

منبع: یافته‌های پژوهش

Source: Research findings

در شکل (۵) نیز نمودار مربوط به پراکنش امتیاز تنوع غذایی خانوارهای موردبررسی (HDDS) برای سناریو اول در الگوریتم شبکه عصبی پرسپترون چندلایه (ANN-MLP-1) و سناریو هفتم در الگوریتم جنگل تصادفی (RF-7) به تصویر کشیده شده است. نمودار (۵) بیانگر آن است که پراکنش HDDSهای مشاهده شدنی و پیش‌بینی شده در الگوریتم ANN-MLP-1 به مراتب کمتر از الگوریتم RF-7 می‌باشد. این مسئله نیز مطابق با نتیجه به دست آمده از بررسی شکل (۳) می‌باشد.

ارتباط بین کشاورزی پایدار... ۸۵



شکل (۵) نمودارهای پراکنش HDDS مشاهده شدنی و پیش‌بینی شده با استفاده از مدل‌های MLP-1 و RF-7

Figure (5) Scatter plots of observed and predicted HDDS using MLP-1 and RF-7 models

منبع: یافته‌های پژوهش
Source: Research findings

نتیجه‌گیری و پیشنهادها

این پژوهش با هدف بررسی اثرگذاری‌های اجرای عملیات کشاورزی پایدار بر امنیت غذایی خانوارهای تولیدکننده سیب‌زمینی در منطقه‌های روستایی شهرستان بستان‌آباد انجام شد. این پژوهش به یک روش پیشنهادی برای پیش‌بینی وضعیت امنیت غذایی خانوارها دست یافته است که مبتنی بر آن می‌توان با در دست داشتن یک چند اطلاعات در رابطه با خانوارها، به یک درک نسبی از وضعیت امنیت غذایی آنان دست یافت. درحقیقت با این روش پیشنهادی، می‌توان با در دست داشتن یک مجموعه ویژگی‌های فردی، اقتصاد و اجتماعی، وضعیت امنیت غذایی خانوارها را حدس و آنها را گروه‌بندی کرد. به عبارت دیگر به صورت غیرمستقیم، وضعیت امنیت غذایی آنان را پیش‌بینی نمود. درحقیقت نوآوری پژوهش حاضر نیز بر این مبنا استوار بود و تلاش شد با یک کار میدانی، یک مثالی از کارکرد مدل‌های یادگیری ماشین در اقتصاد کشاورزی ارایه شود که جای خالی آن در کنار مدل‌های اقتصادسنجی و آماری احساس می‌شود. بدین منظور در آغاز امتیاز تنوع غذایی خانوارها (HDDS) محاسبه شد. میانگین عدد به‌دست آمده برای امتیاز تنوع غذایی خانوارهای روستایی (۸/۶) گویای آن بود که خانوارهای یادشده به لحاظ امنیت غذایی در وضعیت مناسبی باشند. نظر به ماهیت شمارشی متغیر وابسته (HDDS)، در گام بعد با استفاده از رگرسیون پواسن، عامل‌های موثر بر امتیاز تنوع غذایی خانوارها، بررسی و ارزیابی شد که این عامل‌ها عبارت بودند از: اقدام‌های مربوط به عملیات کشاورزی پایدار، هزینه‌های صرف شده برای خرید مواد غذایی طی یک هفته گذشته و سطح زیرکشت سیب‌زمینی.

در مرحله بعد مبتنی بر بررسی و ارزیابی نتایج مدل پوآسن، اقدام به استفاده از مدل‌های یادگیری ماشینی، به منظور کشف بهترین الگوریتم موجود جهت پیش‌بینی امنیت غذایی ساکنان منطقه شد. بدین منظور از الگوریتم شبکه عصبی مصنوعی پرسپترون چندلایه (ANN-MLP) و الگوریتم جنگل تصادفی (RF) بهره گرفته شد. برای هر الگوریتم، هفت سناریو در نظر گرفته شد و هفت پیش‌بینی با هر الگوریتم انجام شد. دقت پیش‌بینی نیز با کمک معیارهای ضریب تعیین و شاخص پراکندگی مورد ارزیابی قرار گرفت. در الگوریتم ANN-MLP، به ترتیب، سناریوی چهارم (TA)، TC و اول (TA) و در الگوریتم RF، به ترتیب سناریوی ششم (TC, MZ) و هفتم (TA, TC, MZ) به عنوان بهترین سناریوها ارزیابی شدند. به طور کلی، برابر نتایج معیارهای ارزیابی، نتایج ناشی از الگوریتم ANN-MLP نسبت به الگوریتم RF راضی‌کننده‌تر بود. ضمن اینکه در الگوریتم ANN-MLP در سناریو چهارم (دقیق‌ترین سناریو)، یکی از دو متغیر موجود، عبارت بوده از شمار عملیات کشت پایدار سیب‌زمینی. همچنین در سناریوی اول (که در رتبه دوم به لحاظ دقت پیش‌بینی قرار داشت) متغیر شمار عملیات کشت پایدار سیب‌زمینی تنها متغیری بوده که برای پیش‌بینی به کار رفته بود. با این توجیه و تفسیر اثرگذاری‌های مثبت اجرای عملیات کشت پایدار بر وضعیت امنیت غذایی کشاورزان تولیدکننده سیب‌زمینی در ناحیه‌های روستایی شهرستان بستان‌آباد امری انکارناپذیر می‌باشد.

بنابر نتایج این پژوهش، به نظر می‌رسد که در راستای بهبود وضعیت امنیت غذایی کشاورزان تولیدکننده سیب‌زمینی در شهرستان بستان‌آباد، گسترش عملیات کشاورزی پایدار از جمله الزام‌های اساسی در این زمینه است. گسترش کشاورزی پایدار، ممکن است که از دو جنبه اساسی قابل بحث و بررسی باشد. اول، آشنایی کشاورزان با راهکارهای کشاورزی پایدار و ایجاد انگیزه در آنان برای پذیرش و به‌کارگیری آن؛ دوم، تأمین منابع مالی لازم برای عملیاتی کردن کشاورزی پایدار. دستیابی به این امور، ناگزیر مشارکت سیاست‌گذاران و برنامه‌ریزان را می‌طلبد. در این راستا برگزاری دوره‌های آموزشی-ترویجی، می‌تواند مسیر آشنایی بیشتر کشاورزان با راهکارهای کشاورزی پایدار را هموارتر کرده و با معرفی نمونه‌ها و تجربه‌های واقعی کشاورزان در دیگر منطقه‌ها، انگیزه‌های مادی لازم را نیز در آنان ایجاد کند. البته با توجه به اطلاعات جدول (۳) که نشان‌دهنده عدم استقبال کشاورزان شهرستان بستان‌آباد از این دوره‌هاست، ضروری است به علت‌های احتمالی این عدم تمایل پرداخته و راهکارهایی برای افزایش انگیزه کشاورزان ارائه شود. بررسی علت‌های نبود تمایل می‌تواند شامل عامل‌هایی چون زمان برگزاری دوره‌ها، کیفیت

ارتباط بین کشاورزی پایدار... ۸۷

محتوای آموزشی، هزینه‌ها و نگرش‌های موجود باشد. شناخت این بازدارنده‌ها به طراحی برنامه‌های آموزشی مؤثرتر کمک خواهد کرد. توسعه محتوای آموزشی متناسب با نیازمندی‌ها و چالش‌های خاص کشاورزان بستان‌آباد نیز اهمیت دارد. به همین دلیل، طرح مبحث عملی و کاربردی مرتبط با زندگی روزمره آنان می‌تواند به جذب بیشتر کشاورزان کمک کند. برگزاری نشست‌های مشاوره‌ای پیش از دوره‌ها برای شناسایی مسئله‌ها و نگرانی‌های کشاورزان و پاسخ به آن‌ها نیز می‌تواند تمایل به شرکت را افزایش دهد. در مرحله عملیاتی کردن نیز، دولت می‌تواند با تخصیص منابع مالی برای گسترش عملیات کشاورزی پایدار و اعطای اعتبارات موردنیاز کشاورزان، سازگار با وضعیت مالی و توان بازپرداخت آنان، بسترهای ضروری حرکت را به سوی پایدارسازی کشت در منطقه فراهم سازد.

منبع‌ها

- Ahmad M. W, Mourshed M and Rezgui Y. (2017). Trees vs neurons: Comparison between random forest and ANN for high-resolution prediction of building energy consumption. *Energy and buildings*, 147: 77-89.
- Ahn J, Briers G, Baker M, Price E, Sohoulane Djebou D. C, Strong R and Kibriya S. (2022). Food security and agricultural challenges in West-African rural communities: A machine learning analysis. *International Journal of Food Properties*, 25(1): 827-844.
- Akrasi R. O, Eddico P. N and Adarkwah R. (2020). Income diversification strategies and household food security among rice farmers: pointers to note in the North Tongu District of Ghana. *Journal of Food Security*, 8(3): 77-88.
- Allahdadi H, Latifmanesh H.A and Moradi A. (2024). The effect of the sustainable agriculture approach from an ecological perspective on food security. *Journal of Defense Technology and Research*, 6(4): 133-164. (In Persian)
- Breiman L. (2001). Random forests. *Machine learning*, 45: 5-32.
- Breiman L, Culter A, Liaw A and Wiener M. (2002). Classification and regression by random forest. *R News*, 2: 18-22.
- Carletto C, Zezza A and Banerjee R. (2013). Towards better measurement of household food security: Harmonizing indicators and the role of household surveys. *Global food security*, 2(1): 30-40.
- Chegere M. J and Stage J. (2020). Agricultural production diversity, dietary diversity and nutritional status: Panel data evidence from Tanzania. *World Development*, 129, 104856.
- Cordero-Ahiman O. V, Vanegas J. L, Franco-Crespo C, Beltrán-Romero P and Quinde-Lituma M. E. (2021). Factors that determine the dietary diversity score in rural households: The case of the Paute River Basin of Azuay Province,

- Ecuador. *International journal of environmental research and public health*, 18(4): 2059.
- Dan E. A, Oladejo B. F and Ekong V. E. (2023). A model for predicting food insecurity in Nigeria using deep learning technique. *Egyptian Computer Science Journal*, 47(1).
- Davodi H and Maghsoudi T. (2011). Analysis of potato growers' knowledge about sustainable agriculture in Shushtar Township. *Iranian Journal of Agricultural Economics and Development Resarch*, 2(42): 265-274. (In Persian)
- Deaconu A, Mercille G and Batal M. (2019). The agroecological farmer's pathways from agriculture to nutrition: a practice-based case from Ecuador's highlands. *Ecology of food and nutrition*, 58(2): 142-165.
- Deléglise H, Interdonato R, Bégué A, d'Hôtel E. M, Teisseire M and Roche M. (2022). Food security prediction from heterogeneous data combining machine and deep learning methods. *Expert Systems with Applications*, 190, 116189.
- Greene W.H. (2008). Functional form and heterogeneity in models for count data. *Found. Trends Econom*, 2: 113–218.
- Huluka A. T and Wondimagegnhu B. A. (2019). Determinants of household dietary diversity in the Yayo biosphere reserve of Ethiopia: An empirical analysis using sustainable livelihood framework. *Cogent Food & Agriculture*, 5(1): 1690829.
- Jarray N and Farah I. R. (2023). Machine learning for food security: Current status, challenges, and future perspectives. doi.org/10.21203/rs.3.rs-3021390/v1
- Karbasi A. R and Mohammadzadeh S. H. (2018). Factors affecting food security with emphasis on the role of agricultural sustainability in Iran. The Third National Student Conference on Agricultural Economics, March 9-10, 2018, University of Gilan, Faculty of Agricultural Sciences, Iran. (In Persian)
- Kennedy G, Ballard T and Dop M. C. (2011). *Guidelines for measuring household and individual dietary diversity*. Food and Agriculture Organization of the United Nations.
- Makhija R, Ali S and Jaya Krishna R. (2021). Detecting influencers in social networks through machine learning techniques. In *Advanced Machine Learning Technologies and Applications: Proceedings of AMLTA 2020*: 255-266. Springer Singapore.
- Mgomezulu W. R, Edriss A. K, Machira K and Pangapanga-Phiri I. (2023). Towards sustainability in the adoption of sustainable agricultural practices: Implications on household poverty, food and nutrition security. *Innovation and Green Development*, 2(3): 100054.
- Mgomezulu W. R and Kennedy Machila, A. K. E. (2018). Impact of Gliricidia Fertilizer Tree Technology on Smallholder Farmers Economic Livelihood in Malawi: Case of Kasungu District. *Journal of Sustainable Development*, 11(6): 162-169.

- Miglani A and Kumar N. (2019). Deep learning models for traffic flow prediction in autonomous vehicles: A review, solutions, and challenges. *Vehicular Communications*, 20: 100184.
- Mishra B, Gyawali B. R, Paudel K. P, Poudyal N. C, Simon M. F, Dasgupta S and Antonious G. (2018). Adoption of sustainable agriculture practices among farmers in Kentucky, USA. *Environmental management*, 62: 1060-1072.
- Mohsenzadeh Harris M, Karimzadeh H and Aghayarihir M. (2022). Comparison of food security situations of rural households in Heris and Bostanabad with emphasis on agricultural indicators using FGIS. *Geography and Environmental Planning*, 33(4). (In Persian)
- Ogunniyi A, Omonona B, Abioye O and Olagunju K. (2018). Impact of irrigation technology use on crop yield, crop income and household food security in Nigeria: A treatment effect approach. In *AIMS Agriculture and Food*, 3(2): 154-171.
- Ojo T. O, Ogundeji A. A and Belle J. A. (2021). RETRACTED: Climate change perception and impact of on-farm demonstration on intensity of adoption of adaptation strategies among smallholder farmers in South Africa.
- Okori W and Obua J. (2011). Machine learning classification technique for famine prediction. In *Proceedings of the world congress on engineering*, 2(1): 4-9.
- Pinkus A. (1999). Approximation theory of the MLP model in neural networks. *Acta numerica*, 8: 143-195.
- Razzaq A, Ahmed U. I, Hashim S, Hussain A, Qadri S, Ullah S and Asghar A. (2021). An automatic determining food security status: Machine learning based analysis of household survey data. *International Journal of Food Properties*, 24(1): 726-736.
- Rezaeifar, M. , Khalilian, S. and Najafi Alamdarlo, H. (2022). Spatial distribution of food insecurity in urban and rural areas of Iran. *Agricultural Economics*, 16(1), 99-121. (In Persian)
- Rostami F, Shahmoradi M and Baghaei S. (2015). Factors affecting on rural households food security (Case study: Kamachy village in Kermanshah County). *Agricultural Economics and Development*, 45(4): 725-737. (In Persian)
- Savari M, Shaban Ali Fami H and Daneshvar Ameri J. (2014). Food security and its greater impact on the rural community of Diwandara city. *Rural Research*, 5(2): 311-332. (In Persian)
- Setsoafia E. D, Ma W and Renwick A. (2022). Effects of sustainable agricultural practices on farm income and food security in northern Ghana. *Agricultural and Food Economics*, 10(1): 1-15.
- Smith A, Snapp S, Chikowo R, Thorne P, Bekunda M and Glover J. (2017). Measuring sustainable intensification in smallholder agroecosystems: A review. *Global Food Security*, 12: 127-138.
- Swindale A and Bilinsky P. (2006). Household dietary diversity score (HDDS) for measurement of household food access: Indicator guide; Version 2; FANTA FHI: Washington, DC, USA.

Tubiello F. N, Soussana J. F and Howden S. M. (2007). Crop and pasture response to climate change. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 104(50): 19686-19690.





The Relationship between Sustainable Agriculture and Households Food Security: A Case Study of Bostan Abad County

Jabraeil Vahedi, Mohammad Ghahremanzadeh, Seyed Ali Hosseini Yekani, Hamid Sabeghi ¹

Received: 21 Feb.2025

Accepted: 3 May.2025

Extended Abstract

Introduction

The role of nutrition in health, increasing the efficiency and learning of humans and its relation with economic development is undeniable. Therefore, achieving food security is one of the most important goals of the political system in every country. Food security exists when all people, at all times, have physical and economic access to sufficient, safe and nutritious food that meets their dietary needs and food preferences for an active and healthy life. Agricultural sustainability is one of the most important factors affecting the food security and diversity in rural households, because the first component of food security is food production, which is directly related to the agricultural system and depends on the production amounts. So, the aim of this research is to calculate the household dietary diversity score (HDDS) of rural households and identify the factors affecting it, emphasizing the role of sustainable agricultural operations. Also, this research seeks to find the best machine learning algorithm that can predict the food security of rural households with the highest accuracy.

Material and methods

In this research, the household dietary diversity score (HDDS) has been used to calculate the food security status of households. This index includes 12 food groups, and if the household has consumed any of the food groups in the last 24 hours, a number of 1 is assigned to that group. To check the sustainability of agriculture, 20 activities that are known as sustainable agricultural operations in potato cultivation have been identified. In general,

¹Respectively: Postdoc researcher and Professor (corresponding author) in Agricultural Economics, University of Tabriz, Associate Professor in Edith Cowan University, Leibniz Centre for Agricultural Landscape Research, Germany, and M.S. Graduated in Environmental Economics, Allameh Tabatabaei University, Iran. respectively.
Email: Ghahremanzadeh@tabrizu.ac.ir

households can be divided into three groups according to the state of food diversity. For ($HDDS \leq 4$) the status of household dietary diversity of the household is poor, for ($HDDS 5-7$) the average status and for ($HDDS \geq 8$) the appropriate status of food security is defined. Because the dependent variable in this study is a count data, therefore, the Poisson model was used to investigate the factors affecting the HDDS. Finally, when the factors affecting food security of households were identified, machine learning algorithms including multilayer perceptron neural network and random forest were used to predict HDDS. The data were collected by completing 148 questionnaires among the rural households of *Bostan Abad* County in Tabriz, Iran in the crop year 2021-22.

Results and discussion

The findings reveal that the average dietary diversity score among households in *Bostan Abad* County stands at 8.6, indicating a favorable food security situation for local farmers. Additionally, the potato producers in this region engage in an average of 11 sustainable agriculture practices within their fields. According to the incident rate ratio (IRR) calculated using the Poisson model, each increase in the number of sustainable agriculture operations corresponds to a 1.021-fold increase in the household dietary diversity score. This relationship highlights that sustainable agriculture enhances farmers' income and purchasing power, thereby increasing the variety and quantity of goods they can purchase. For instance, given the high rates of water evaporation in Iran, conducting irrigation at night can boost water use efficiency, enabling farmers to produce more crops per unit area by reducing evaporation losses. Furthermore, utilizing improved seeds and resistant varieties can decrease input consumption and production costs by enhancing resilience to environmental stresses, ultimately leading to higher yields. Moreover, an increase in food expenditures by farmers during the past week correlates with a 1.026-fold increase in the IRR of household dietary diversity scores, suggesting that greater food spending enhances the variety of food purchased by agricultural households. Lastly, the findings indicate that each additional hectare of potato cultivation results in a 1.009-fold increase in the IRR of household dietary diversity scores, as increased production leads to higher incomes, allowing farmers to acquire more food.

In terms of machine learning models, the coefficient of determination and dispersion index indicate that the multilayer perceptron neural network (ANN-MLP) algorithm demonstrates superior explanatory power compared

to the random forest algorithm. The fourth scenario combination in the ANN-MLP model, which includes the number of sustainable agricultural operations and weekly food expenditures, shows a determination coefficient of 0.56 and a dispersion index of 0.18, making it the optimal scenario for predicting the household dietary diversity score among rural households in *Bostan Abad* County.

Suggestions

To enhance the implementation of sustainable agriculture practices and improve food security among farmers, it is recommended to organize targeted educational and promotional training sessions. These programs should focus on increasing farmer awareness of sustainable practices and showcase successful examples from other regions. Addressing the barriers to participation, such as timing and content relevance of training sessions, as well as offering financial incentives for attendance, can further encourage engagement. Additionally, tailoring content to the specific challenges faced by farmers in Bostan Abad will increase the effectiveness of these educational initiatives. By fostering a supportive environment for learning, farmers will be more likely to adopt sustainable practices, ultimately benefiting their income and dietary diversity.

JEL Classification: P25, R0, R20

Keywords: Household Dietary Diversity Score, Food Security, Poisson Model, Machine Learning