روستا و توسعه، سال ۲۵، شماره ۹۹، پاییز ۱۴۰۱

DOI: 10.30490/RVT.2021.354008.1338

مقاله پژوهشی

تدوین راهبردهایی برای کاهش انتشار آلودگی در سطح مزرعه

فضل‌الله غفاریان [۱]، زکریا فرج زاده [۲]، آذر شیخ‌زین‌الدین [۳]

تاریخ دریافت: ۱۴۰۰/۱/۳ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۰/۶/۲۸

چکیده

فرایند تولید کشاورزی در انتشار برخی از آلاینده‌ها مانند متان و اکسیددی‌نیتروژن نقش مهمی دارد. به گونه‌ای که تأمین آب سالم برای خانوارهای روستایی به دلیل نفوذ آلودگی به منابع آبی به یک ضرورت تبدیل شده است. افزون بر اجرای سیاست‌ها در سطح بخش کشاورزی، اقداماتی نیز باید در سطح مزرعه صورت گیرد. این مطالعه با توجه به ضرورت یادشده با هدف تدوین استراتژی‌هایی در سطح مزرعه برای کاهش انتشار ناشی از فعالیت‌های کشاورزی صورت گرفت. برای این منظور استراتژی‌های احتمالی برای کاهش انتشار آلاینده‌ها در سطح مزرعه بر اساس ادبیات موجود و نظر کارشناس‌ها، تدوین و برای جمع‌آوری اطلاعات مورد نیاز جهت رتبه‌بندی آن‌ها از کارشناس‌های منتخب استان فارس نظرسنجی صورت گرفت. این استراتژی‌ها با استفاده از روش FAHP و تاپسیس رتبه‌بندی شد. بر اساس نتایج رتبه‌بندی استراتژی‌ها در هر

۱- دانش‌آموخته کارشناسی ارشد اقتصاد کشاورزی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شیراز، شیراز، ایران.

۲- نویسنده مسئول و دانشیار بخش اقتصاد کشاورزی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شیراز، شیراز، ایران.
(zakariafarajzadeh@gmail.com)

۳- استادیار بخش اقتصاد کشاورزی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شیراز، شیراز، ایران.

دو گروه فعالیت‌های زراعت و باغبانی و دامپروری، "اثرگذاری" و "هزینه‌بربودن" به‌عنوان مهم‌ترین معیارها در تدوین و اجرای استراتژی‌ها معرفی شدند و حدود سه‌چهارم از وزن به این دو معیار تعلق گرفت. استراتژی‌های حایز اولویت در فعالیت‌های زراعی و باغی شامل مدیریت استفاده از ماشین‌آلات و ادوات، مدیریت بقایای گیاهی و به‌طور کلی مدیریت در سطح مزرعه بود؛ درحالی‌که نوع گیاه و نوع نهاده کود شیمیایی در اهمیت پایین‌تری قرار گرفتند. اولویت بالاتر در مورد فعالیت‌های دامی نیز نحوه کودروبی و مدیریت فضای نگهداری دام بود و تغییر جیره دام در اهمیت بعدی قرار گرفت.

کلیدواژه‌ها: آلودگی، متان، اکسیددی‌نیتروژن، کشاورزی، استان فارس.

مقدمه

میزان انتشار دی‌اکسیدکربن ایران به ازای هر واحد درآمد (محاسبه‌شده برحسب دلار برابری قدرت خرید) در سال ۲۰۱۶ بیش از ۰/۵۹ کیلوگرم بوده است؛ اما متوسط جهانی تنها ۰/۳۱ کیلوگرم است (World Bank, 2016). به بیان دیگر، ایران از نظر شدت انتشار در مقایسه با متوسط جهانی در سطح بسیار بالاتری قرار دارد. سرانه انتشار گاز دی‌اکسیدکربن در ایران از ۱/۷۰۷ تن در سال ۱۹۶۰ به ۸/۳۸۴ تن در سال ۲۰۱۴ افزایش یافته است؛ درحالی‌که این رقم برای جهان کمتر از ۵ تن است (World Bank, 2016). با اینکه حامل‌های انرژی نقش مهمی در انتشار آلاینده‌ها دارند اما منابع دیگری (انتشار آلودگی از فرایند تولید و انتشار آلودگی از مصرف نهایی) نیز وجود دارد[۱]. آلودگی ناشی از تولید، آن بخش از آلودگی است که در فرایند تولید ایجاد می‌شود و ناشی از مصرف سوخت نیست. انتشار آلودگی از فرایند تولید در برخی از بخش‌های اقتصاد ایران مانند فعالیت‌های کشاورزی و روستایی حایز اهمیت است. بخش کشاورزی که در این مطالعه به‌طور خاص مورد توجه است از نگاه مصرف انرژی و انتشار آلودگی از محل حامل‌های انرژی از اهمیت بالایی برخوردار نیست؛[۲] اما در

۱- بیش از ۸۰٪ انتشار دی‌اکسیدکربن (به عنوان مهم‌ترین آلاینده در ایران) توسط مصارف سوخت (انرژی) ایجادشده و تنها کمتر از ۲۰٪ از آن در فرایند تولید و یا در مصرف نهایی ایجاد می‌شود. در مورد گاز متان، بخش سوخت کمتر از ۱ درصد در انتشار این آلاینده سهم داشته و بیش از ۸۴٪ آن تنها توسط فرایند تولید و مابقی از مصرف نهایی منتشر می‌شود (Farajzadeh, 2012).

۲- سهم بخش کشاورزی از مصرف انرژی از ۸/۵٪ درسال ۱۳۴۶ به حدود ۳/۷٪ درسال ۱۳۹۵ کاهش یافته است. البته مقدار مطلق آن از ۴/۴ میلیون بشکه معادل نفت‌خام به ۵۰/۷ میلیون بشکه در سال ۱۳۹۵ افزایش یافته است که رشدی بیش از ۵/۱٪ را نشان می‌دهد (Iran's Energy Balance, 2014). کاهش سهم بخش کشاورزی ناشی از شتاب گرفتن مصرف انرژی در سایر بخش‌ها و به‌ویژه صنعت بوده است و پایین بودن سهم بخش کشاورزی از مصرف انرژی به دلیل اهمیت پایین حامل‌های انرژی در این بخش نیست. این بخش تأمین‌کننده تقاضای واسطه صنایع وابسته به کشاورزی است که در صنعت ایران بسیار حایز اهمیت است. افزون بر این کشاورزی در ایران بیش از ۹/۶ درصد از کل تولید ایران را در اختیار دارد و بیش از ۲۵٪ از جمعیت را در خود جای داده است (Central Bank of Iran, 2017). همچنین بیش از ۴/۱ میلیون نفر (FAO, 2017). از جمعیت فعال ایران که بالغ بر ۲۳/۴ میلیون نفر است در این بخش اشتغال دارند (Central Bank of Iran, 2017).

فرایند تولید و در مورد برخی از آلاینده‌ها مانند متان و اکسیددی‌نیتروژن دارای نقش مهمی است (Farajzadeh, 2012). این آلودگی می‌تواند سکونت‌گاه‌های روستایی و حتی مناطق شهری را نیز در معرض خطر قرار دهد. به گونه‌ای که مهم‌ترین پروژه‌های زیست‌محیطی در مناطق روستایی تأمین آب است و هزینه تأمین آب در مناطق روستایی از مناطق شهری بالاتر است. همچنین تجمع فاضلاب ناشی از فعالیت‌های کشاورزی در مناطق روستایی به دلیل شرایط بی‌هوازی، پتانسیل بالایی برای انتشار گازهای گلخانه‌ای ایجاد می‌کند (United Nations, 2017)

فعالیت‌های کشاورزی همچون سوزاندن بقایای محصولات، کاشت زمین و عملیات زراعی، استفاده از کودهای شیمیایی، برداشت آب از منابع سطحی و زیرسطحی و... به‌عنوان منبع قابل توجهی از انتشاز آلاینده‌های گازی شناخته شده‌اند (Lelieveld et al., Huang et al., 2012 ;2015). به‌عنوان مثال فرایندهای تولید محصولات زراعی، برداشت و خاک‌ورزی محصولات ردیفی ۲۳ درصد از کل انتشار ذرات معلق آلاینده در دره سن‌جوکین[1] ایالات متحده را تشکیل می‌دهند (Cassel et al., 2003). انتشار گازهای گلخانه‌ای (GHGs)[2] از فعالیت‌های کشاورزی یکی از بخش‌های مهم انتشار جهانی گازهای گلخانه‌ای است. بر اساس گزارش ویژه کمیته بین‌الدولی تغییراقلیم (IPCC)[3]، حدود یک‌پنجم انتشار سالیانه انسانی گازهای گلخانه‌ای در جهان از بخش کشاورزی (به استثنای تبدیل جنگل) حاصل می‌شود. لذا به‌نظر می‌رسد، انتشار گازهای گلخانه‌ای کشاورزی در دهه‌های اخیر به یک موضوع بسیار مهم تبدیل شده است.

همان‌طورکه عنوان شد بخش کشاورزی ایران در انتشار دو آلاینده متـان و اکسـیددی‌نیتـروژن سهم بالایی دارد. از مجموع متان منتشرشده در ایران بیش از ۸۴ درصد آن ناشی از فرایند تولید است که حدود ۲۰ درصد از این رقم توسط بخش کشاورزی و به‌طور عمده توسط زیـربخش دام و طیـور و زارعت تولید می‌شود. ارقام یادشده برای آلاینده اکسیددی‌نیتروژن به ترتیب بیش از ۵۸ و بیش از ۵۷ درصد است (Farajzadeh, 2012). لذا می‌توان گفت فعالیت‌های تولیدی بخش کشاورزی و روستایی بخصوص در انتشار اکسیددی‌نیتروژن به‌طور خاص حایز اهمیت هستند. مجموع انتشار دو آلاینده کـه برحسب معادل دی‌اکسیدکربن[4] قابل بیان است هرچند در سال‌های اخیر کاهش نشان مـی‌دهـد؛ امـا روند کلی انتشار این آلاینده‌ها، همواره افزایشی بوده است. به گونه‌ای که میزان انتشار سالانه مجموع

1. San Joaquin
2. Greenhouse Gases (GHGs)
3. Intergovernmental Panel on Climate Change
۴- هر واحد اکسیددی‌نیتروژن معادل ۳۱۰ واحد دی‌اکسیدکربن و هر واحد متان معادل ۲۱ واحد از دی‌اکسیدکربن محسوب می‌شود (United Nations, 2010).

این دو آلاینده از زیربخش زراعت و باغبانی تقریباً ۲/۵ درصد و از زیربخش دام و طیور بیش از ۰/۴ درصد رشد در حدود ۵ دهه اخیر نشان می‌دهد. مجموع انتشار دو آلاینده یادشده از زیربخش زراعت و باغبانی بیش از ۱۰/۶ میلیون تن در سال است. این رقم برای زیربخش دام و طیور اندکی کمتر از ۲۰ میلیون تن است. همچنین مجموع انتشار بخش کشاورزی از فرایند تولید با احتساب زیربخش جنگل و مرتع برحسب معادل دی‌اکسیدکربن بیش از ۳۷ میلیون تن است. البته مجموع انتشار آلاینده‌های یادشده از فعالیت‌های کشاورزی در جهان بیش از ۵۴۱۰ میلیون تن است که سهم ایران تنها اندکی بیش از ۰/۵ درصد است. درحالی‌که سهم بخش کشاورزی ایران از تولید کشاورزی جهان بیش از ۱/۱ درصد است (FAO, 2017). هرچند می‌توان گفت بخش کشاورزی ایران در مقایسه با متوسط جهان از شدت انتشار پایین‌تری برخوردار است؛ اما در خصوص آلودگی محصولات کشاورزی حساسیت بالایی وجود دارد و کاهش استفاده از نهاده‌های شیمیایی به‌طور جدی مورد توجه است. لذا لازم است کاهش سطح به‌کارگیری نهاده‌های شیمیایی و به‌طور کلی کاهش انتشار آلاینده‌ها موجب توجه قرار گیرد.

تحلیل میزان اثرگذاری متغیرهای یادشده بر شدت انتشار به سیاست‌گذاران کمک خواهد کرد تا در تصمیم‌گیری‌های خود برای دست یافتن به رشد اقتصادی توأم با شدت انتشار پایین، بر روی متغیرهای مشخصی تمرکز کنند. هرچند ارزیابی شدت انتشار آلاینده‌ها در سطح بخشی یا کل اقتصاد فرصتی برای سیاست‌گذاران در جهت تدوین سیاست‌های کلان فراهم می‌نماید اما در مورد فعالیت‌های کشاورزی که دارای فرایند تولید حاوی آلاینده هستند مرکز ثقل سیاست‌های اتخاذشده مزرعه است و عملیاتی نمودن این سیاست‌ها منوط به فراهم بودن زمینه اجرای آن‌ها در سطح مزرعه خواهد بود. به عبارتی در نهایت این توصیه‌ها باید در سطح مزرعه عملیاتی شود. برای این منظور می‌توان از نظر کارشناس‌ها جهت اتخاذ تدابیری در سطح مزرعه استفاده نمود. در همین راستا به‌منظور تدوین توصیه‌هایی برای کاهش شدت انتشار در سطح مزرعه، ضمن بررسی ادبیات موجود و همچنین انجام نظرسنجی در میان متخصص‌های کشاورزی استان فارس، استراتژی‌هایی برای کاهش انتشار آلودگی استخراج شد. در ادامه استراتژی‌ها و اقدام‌های منتخب با استفاده از روش تحلیل سلسله مراتبی فازی[1] ارزیابی و اولویت‌بندی شد. لازم به اشاره است که کارشناس‌های منتخب از میان متخصص‌های کشاورزی استان فارس انتخاب شدند. استان فارس از نظر تولید محصولات کشاورزی و لذا انتشار آلاینده‌ها از محل تولید دارای رتبه بالایی است. به‌عنوان مثال در خصوص

1. Fuzzy AHP

استفاده از کودهای شیمیایی که منشأ بخش مهمی از انتشار آلودگی فرایند تولید است متوسط استفاده از انواع کودهای شیمیایی استان فارس در تولید غلات بیش از ۲۷۰۰ کیلوگرم در هکتار است که پس از استان سیستان و بلوچستان و اصفهان در رتبه سوم قرار دارد. برای محصولات صیفی شامل گوجه‌فرنگی، سیب‌زمینی، پیاز و هنداونه متوسط استفاده از کودهای شیمیایی در سطح استان حدود ۴۲۵۰ کیلوگرم در هکتار است و استان فارس رتبه نخست را در این زمینه دارد. این رتبه در مورد محصولات صنعتی مانند چغندرقند و پنبه نیز مشاهده می‌شود (Iranian Ministry of Agriculture, 2008).

اخیراً توجه به انتشار آلاینده‌ها و به‌ویژه انتشار کربن فراتر از مصرف نهاده‌های انرژی مورد توجه قرار گرفته است. این نگاه به انتشار آلودگی، فعالیت‌های کشاورزی را در کانون توجه قرار می‌دهد. این مطالعات را می‌توان در دو گروه دسته‌بندی نمود. گروهی از آن‌ها دلایل فنی و تکنیکی را مؤثر ارزیابی نموده‌اند و به استفاده از عوامل تولید حاوی آلاینده‌ها در سطح مزرعه توجه بیشتری داشته‌اند؛ درحالی‌که گروهی دیگر عوامل اقتصادی و سیاستی در سطح کلان را مورد توجه قرار داده‌اند. ابتدا برخی از مطالعات گروه نخست مورد بررسی قرار گرفته است.

با توسعه سریع مکانیزاسیون کشاورزی و تشدید استفاده از ماشین‌آلات و افزایش تولید، مصرف انرژی و انتشار CO_2 در بخش کشاورزی جهان به سرعت در حال رشد است. بسیاری از محققان به مطالعه عوامل مؤثر بر انتشار CO_2 در این بخش پرداخته‌اند. به‌عنوان مثال، ما و فنگ (Ma & Feng, 2013) نتیجه گرفتند که برای دستیابی به هدف کشاورزی کم‌کربن در چین، بخش کشاورزی باید استفاده از کودهای شیمیایی و مصرف انرژی را کاهش دهد و فناوری پیشرفته‌تری را به‌کار گیرد. سطح بالای انتشار در کشاورزی چین باعث شده است تا مطالعات متعددی راه‌های کاهش انتشار را ارزیابی نمایند. برخی از آن‌ها مانند نایاک و همکاران (Nayak et al., 2015) فعالیت‌های کشاورزی را به تفکیک بررسی نموده‌اند. به‌عنوان مثال آن‌ها معتقدند برای کاهش انتشار در محصولات زراعی اقدامات مدیریتی مؤثر است اما در مورد انتشار از زیربخش دام، مدیریت چرا و کیفیت رژیم غذایی، پتانسیل کاهش بیشتری دارد. همچنین پاترا (Patra, 2017) ردپای کربن محصولات دامی را در ایالت‌های هند بررسی کرد. این مطالعه نشان داد که ردپای کربن را می‌توان از طریق بهبود روش‌های تولید مانند خاک‌ورزی ردیفی و بدون خاک‌ورزی و یا تغییر الگوی جمعیت‌های دام کاهش داد. در میان مطالعات کشاورزی بر روی استفاده از کود شیمیایی تمرکز بیشتری صورت گرفته است. فیشر و همکاران (Fischer et al., 2010) برای بخش زراعی، بهینه‌سازی تولید کود و گسترش استفاده از

انـرژی‌هـای جدیـد را پیشـنهاد داده‌انـد. وان و همکـاران (Wan et al., 2013) افـزایش اسـتفاده از کودهای آلی و بهبود تکنیک‌های تولید محصولات کشاورزی را بـرای کـاهش انتشـار CO_2 عنـوان کرده‌اند.

برخی از مطالعه‌ها نیز تغییر شیوه تولید و استفاده از زمین را در کاهش انتشار کربن مؤثر ارزیابی کرده‌اند. در همین خصوص دومـورتیر و همکـاران (Dumortier et al., 2020) عنـوان کردنـد کـه کاربرد سیستم‌های بیوزیستی در زمین‌های کشاورزی در ایالات متحـده نـه تنهـا مـی‌توانـد عملکـرد محصول را افزایش دهد بلکه می‌تواند باعث بهبود کل انتشار خالص کربن شود. مک‌نون و همکـاران (McNunn et al., 2020) تأثیرات شـیوه‌هـای کشـاورزی هوشـمند اقلیمـی و شـیوه‌هـای معمـول خاک‌ورزی را با هم مقایسه کردند و دریافتنـد کـه روش‌هـای کشـاورزی هوشـمند اقلیمـی، بهتـرین تکنولوژی در بخش کشاورزی همراه با بیشترین پتانسیل کاهش انتشار آلودگی هستند. الکاسی و یین (Al-Kaisi and Yin, 2005) دریافتند که استفاده از سیستم‌های خاک‌ورزی با شدت کم مـی‌توانـد به‌طور مؤثر آلایندگی CO_2 کشاورزی را کاهش دهد. کومارا و همکاران (Kumara et al., 2020) در مطالعه مشابه دیگری نشان دادند که شیوه‌های کشاورزی حفاظتی می‌تواند انتشار کربن را در مقایسـه با روش‌های کشاورزی سنتی ۴/۲۸ درصد کاهش دهد. همچنین باومن و همکـاران (Baumann et al., 2017) بر اهمیت تغییر کاربری زمین در رشد انتشار CO_2 تأکید کردند. تحقیقات آن‌ها نشـان داد که در روند توسعه کشاورزی آمریکای جنوبی، ۲۰ درصد از پوشش جنگلی طـی سـال‌هـای ۱۹۸۵ تـا ۲۰۱۳ به زمین‌های کشاورزی و مرتع تبدیل شده است که باعث افزایش قابل توجهی در انتشار CO_2 می‌شود.

بر اساس مطاعلات مرور شده به‌طور مختصر استراتژی‌ها و تدابیری را که برای کـاهش انتشـار آلودگی در کشورها عنوان شده است می‌توان چنین فهرست نمود؛ سرمایه‌گـذاری در تکنولـوژی‌هـای تولید انرژی‌های جایگزین، تدوین قوانین و مقررات از سوی دولت، راه‌اندازی سیسـتم مبادلـه انتشـار، حمایت از پروژه‌های کاهنده انتشار آلودگی، انتشار گواهی اعتبار کـربن (Chen et al., 2019)، تغییـر جیره دام‌ها، بهبود مدیریت نگهداری از کود دام‌ها، تغییر شیوه‌های مدیریت مزرعـه، افـزایش کـارایی استفاده از کودهای شیمیایی (Ti et al., 2019)، استفاده تلفیقی از کودهای دامی و شیمیایی، کاهش طول دوره چرا، کاهش فاضلاب تولیدشده در واحدهای دامداری، استفاده از گیاهان با کارایی بالاتر در استفاده از نیتروژن (Zhang et al., 2017)، استفاده از مکمل‌ها در جیـره غـذایی، اسـتفاده مجـدد از

بقایای گیاهی در تغذیه دام‌ها، جایگزین کردن دام‌های سنگین با دام‌های سبک و اصلاح ژنتیکی (Adegbeye et al., 2020).

همان‌طورکه اشاره شد گروه دوم مطالعه‌های مرورشده به عوامل اقتصادی و سیاستی توجه بیشتری داشته‌اند. به‌عنوان مثال ژانگ و فانگ (Zhang and Fang, 2013) میزان انتشار کربن کشاورزی در شهر سوژو چین را از سال ۲۰۰۴ تا ۲۰۰۹ اندازه‌گیری کرده و عوامل مؤثر بر رشد انتشار کربن کشاورزی را مورد تحلیل قرار دادند. نتایج آن‌ها نشان داد که عوامل ساختاری، مقیاس و عوامل کارایی تأثیر چشم‌گیری بر انتشار کربن کشاورزی دارند. همچنین ژو و لین (Xu & Lin, 2017) عوامل مؤثر بر رشد انتشار CO_2 از محصولات کشاورزی چین را تجزیه و تحلیل کردند. نتایج آن‌ها نشان داد که انتشار کربن کشاورزی با رشد اقتصادی ارتباط مثبت دارد و این ارتباط در مناطق مختلف متفاوت است. اما درعین‌حال تأثیر مناطق مرکزی و شرقی بیشتر از مناطق غربی است. نجفی علمدارلو (Najafi Alamdarlo, 2016) در ایران نیز رابطه بین انتشار CO_2 کشاورزی و درآمد سرانه را بررسی کرد و دریافت که این رابطه به صورت U معکوس است. پاک‌روح و همکاران (Pakrooh et al., 2020) نابرابری منطقه‌ای در انتشار کربن و مصرف انرژی بخش کشاورزی در ایران را ارزیابی کردند. آن‌ها دریافتند که تفاوت بین استانی استفاده از انرژی، دلیل اصلی نابرابری در انتشار CO_2 است. ولانتزوس و همکاران (Vlontzos & Pardalos, 2017) نیز در میان مطالعه‌های بین کشوری به ارزیابی مقایسه‌ای انتشار گازهای گلخانه‌ای و کارایی کشاورزی اروپا و آمریکا پرداختند. نتایج تحقیق آن‌ها نشان داد که تفاوت آشکاری در میزان انتشار گازهای گلخانه‌ای و کارایی کشاورزی بین کشورهای اروپایی و آمریکایی وجود دارد و بازده زیست‌محیطی کشورهای کمتر توسعه‌یافته پایین است.

در خصوص مساعدت این مطالعه به ادبیات موجود و تمایز آن از مطالعه‌های دیگر به چند نکته می‌توان اشاره نمود: نخست اینکه برخلاف مطالعات مرور شده که تنها انتشار دی‌اکسیدکربن را مورد ارزیابی قرار داده‌اند، در این مطالعه آلاینده‌های منتشرشده از تولید مورد توجه قرار گرفته است. دوم آن‌که برخلاف عمده مطالعات موجود که از داده‌های کلان و بخشی برای تحلیل استفاده کرده‌اند در این مطالعه عرصه مزرعه مورد توجه قرار گرفته است و از داده‌های حاصل از نظرسنجی از کارشناسان استفاده شده است.

مبانی نظری و روش‌شناسی تحقیق

استراتژی‌ها و معیارها

استراتژی‌های کاهش آلودگی با بررسی مطالعات مختلف و همچنین مشورت با کارشناس‌ها انتخاب شد. بدین صورت که در ابتدا با مرور مطالعات گذشته (Ti et ; Adegbeye et al., 2020 al., 2019; Zhang et al., 2017) فهرستی از استراتژی‌های مختلف، تهیه و سپس با مشورت با ۱۳ نفر از کارشناس‌ها و خبرگان در زمینه کشاورزی و دامپروری برای هریک از فعالیت‌های زراعی و باغی و همچنین دامپروری تعدادی از استراتژی‌های مناسب از این فهرست انتخاب شد. تمامی تداخل‌های ممکن میان استراتژی‌ها، در مرحله بعد مورد بررسی قرار گرفت و استراتژی‌های تکراری که دارای ویژگی‌های مشترک بود، حذف شد. برای این منظور نیز پس از تهیه فهرست اولیه استراتژی‌ها، مجدد به کارشناس‌ها مراجعه و فهرست نهایی تدوین شد. در نهایت برای فعالیت‌های زیربخش زراعت و باغبانی، ۳۳ استراتژی و برای فعالیت‌های زیربخش دام و طیور، ۲۳ استراتژی تدوین شد. این استراتژی‌ها در جدول‌های ۱ و ۲ ارائه شده است.

جدول ۱. استراتژی‌های کاهش انتشار آلودگی فعالیت‌های زیربخش زراعت و باغبانی

ردیف	استراتژی (اقدام)
۱	استفاده از گیاهان با راندمان بالای مصرف نیتروژن
۲	انجام کوددهی بر اساس برنامه‌های توصیه کوددهی مبتنی بر آزمون خاک
۳	مدیریت صحیح کوددهی شامل کوددهی در زمان مناسب، اصلاح روش کوددهی (کوددهی نواری به جای پخش در سطح خاک)، رها نکردن کود در سطح خاک در معرض نور خورشید و استفاده از کودهای کندرها
۴	استفاده تلفیقی از کودهای دامی و سبز با کودهای شیمیایی
۵	استفاده از کودهای شیمیایی متناسب با شرایط اقلیمی و منطقه
۶	کوددهی متناسب با نیاز تغذیه‌ای گیاه در هر مرحله از رشد
۷	به‌کارگیری بازدارنده‌های نیتریفیکاسیون
۸	ترکیب بازدارنده آنزیم اوره‌آز با کود اوره در اراضی کشاورزی
۹	استفاده از گیاهان خانواده لگوم (شبدر، یونجه و...) به‌جای کودهای نیتروژنه
۱۰	استفاده از تثبیت‌کننده و محلول‌کننده‌های فسفر (فسفر سولوبلایز) به جای کود فسفره
۱۱	تنظیم صحیح کودپاش‌ها و سم‌پاش‌ها
۱۲	استفاده از فناوری‌های دقیق مانند پهپاد در سم‌پاشی و کودپاشی
۱۳	حفظ و مدیریت بقایای گیاهی در سطح خاک
۱۴	استفاده از مالچ‌های گیاهی و آلی در پوشش بستر خاک
۱۵	آماده‌سازی زمین برای کاشت در فصل بهار به‌جای پاییز (تهیه بستر بهنگام)
۱۶	استفاده از سیستم کم‌خاک‌ورزی و سامانه‌های کشاورزی حفاظتی
۱۷	توسعه و کاربرد کشاورزی پایدار

ردیف	استراتژی (اقدام)
۱۸	از بین بردن لایه نفوذناپذیر در خاک‌های فشرده
۱۹	تنظیم فشار باد لاستیک ماشین‌آلات
۲۰	ایجاد سیستم زهکشی برای خروج آلودگی‌ها
۲۱	انجام آبیاری در زمان مناسب
۲۲	رعایت نکات فنی استفاده از آب‌های نامتعارف (استفاده از فاضلاب‌های صنعتی و.. بعد از آلودگی‌زدایی)
۲۳	استفاده از سیستم‌های آبیاری نوین (تحت فشار، زیرسطحی و ...) به جای روش‌های سنتی
۲۴	تأسیس و نگهداری تالاب‌های مصنوعی جهت کنترل رواناب‌ها
۲۵	استفاده از سیستم هیدروپونیک بسته در گلخانه و بازچرخانی آب و مواد غذایی
۲۶	مدیریت دقیق و بلندمدت مزارع (توجه به تاریخچه کشت)
۲۷	استفاده از تناوب‌های زراعی مناسب در سیستم‌های زراعی
۲۸	کاربرد اصول صحیح به‌زراعی جهت جلوگیری از شیوع آفات و بیماری‌ها
۲۹	جایگزینی آفت‌کش‌های شیمیایی با آفت‌کش‌های زیستی (مدیریت تلفیقی آفات)
۳۰	استفاده از ارقام مقاوم به بیماری‌ها و آفات
۳۱	ایجاد نوارهای حائل با استفاده از چمن در زمین زراعی
۳۲	حصاربندی نهرها و رودخانه‌ها جهت جلوگیری از عبور دام
۳۳	حفر و مدیریت خندق‌ها در زمین‌های مرتعی

مأخذ: یافته‌های پژوهش

جدول ۲. استراتژی‌های کاهش انتشار آلودگی فعالیت‌های زیربخش دام و طیور

ردیف	استراتژی (اقدام)
۱	کاهش مصرف جیره‌ای نیتروژن و فسفر در گاوهای شیری و گوشتی (با رعایت اصول جیره‌نویسی)
۲	کاهش مصرف جیره‌ای نیتروژن و فسفر در گوسفند و بز (با رعایت اصول جیره‌نویسی)
۳	کاهش مصرف جیره‌ای نیتروژن و فسفر در پرندگان و ماکیان صنعتی
۴	استفاده از مکمل‌ها و افزودنی‌های خوراک در تغذیه (انواع مکمل‌های چربی، آیونوفرهایی مانند مونسین و لاسالوسید، متابولیت‌های ثانویه گیاهی مانند تانن‌ها، اسانس‌ها و عصاره گیاهان دارویی، مولتی‌آنزیم‌های دارای فیتاز، سلولاز، همی‌سلولاز و پکتیناز، بافرها و تثبیت‌کننده‌های فلور میکروبی و تخمیر در دستگاه گوارش و ...)
۵	توسعه گیاهان مرتعی کاهنده متان، تعلیف گیاهان زراعی علوفه‌ای پرکیفیت و عمل‌آوری بقایای گیاهی خشبی
۶	بهینه‌کردن نسبت علوفه به کنسانتره، کربن به نیتروژن، نیتروژن به گوگرد و انرژی به پروتئین
۷	عدم استفاده از ذرت علوفه‌ای (جهت تهیه سیلاژ) با نیتروژن قابل دسترس زیاد که ناشی از تغذیه بی‌رویه و نابجای کودهای نیتروژنه به‌ویژه در مراحل منتهی به برداشت گیاه است و استفاده از افزودنی‌هایی که پایداری هوازی سیلاژ را افزایش می‌دهد.
۸	بهینه‌کردن نسبت رطوبت در جیره و استفاده از خوراک از پیش تخمیرشده مانند انواع سیلاژ گیاهان علوفه‌ای، غلات و منابع پروتئینی تخمیرشده و ...
۹	ایجاد تعادل میان ظرفیت مراتع برای چرا و شمار دام، استفاده از مراتع باکیفیت مناسب و احیای مراتع نامرغوب
۱۰	انجام کودروبی به‌موقع در سیستم‌های پرورشی گاوهای شیری و انتقال آن به سپتیک
۱۱	انجام کودروبی به‌موقع در سیستم‌های پرورشی گوسفند و بز و انتقال آن به سپتیک
۱۲	انجام کودروبی به‌موقع در سیستم‌های بسته پرورشی پرندگان و ماکیان صنعتی

ردیف	استراتژی (اقدام)
۱۳	شستشوی روزانه محوطه نگهداری گاوهای شیری و سالن‌های شیردوشی
۱۴	جمع‌آوری و انتقال منظم پساب‌ها از محوطه نگهداری دام و پرندگان
۱۵	کاهش حجم تولید پساب در فضای نگهداری دام و پرندگان
۱۶	افزایش ظرفیت مخازن پساب جهت افزایش زمان عمل‌آوری آن
۱۷	پوساندن بی‌هوازی کودهای دامی
۱۸	تبدیل کود دامی به کمپوست
۱۹	انتقال کودهای جامد به بیرون از محل پرورش و ایجاد فاصله با زهکش‌ها و جریان آبی
۲۰	ذخیره‌سازی و انبارکردن کودهای جامد در مکان مخصوص و جداسازی پساب
۲۱	پوشاندن انبار ذخیره‌سازی کود دامی
۲۲	استفاده از تکنیک‌های جداسازی بخش جامد کود دامی از مایعات همراه آن
۲۳	ارتقاء سیستم تهویه و جمع‌آوری کود

مأخذ: یافته‌های پژوهش

به‌منظور ارزیابی استراتژی‌ها و مقایسه آن‌ها از معیارهای ارائه‌شده در مطالعه دلیر (Dalir, 2018) استفاده شد. افزون بر این، در انتخاب معیارها با کارشناس‌ها نیز مشورت صورت گرفت. از این معیارها برای اولویت‌بندی استراژی‌ها استفاده شد. به این ترتیب که هریک از استراتژی‌ها بر اساس معیارهای تدوین‌شده توسط کارشناس‌ها امتیازدهی شد. امتیازدهی به استراتژی‌ها بر اساس قضاوت ذهنی کارشناس‌ها صورت گرفت. این معیارها شامل موارد زیر است:

۱- اثرگذاری: نشان‌دهنده میزان تأثیری است که هر استراتژی می‌تواند ایجاد نماید. در این مطالعه منظور از اثرگذاری، میزان مؤثر واقع‌شدن استراتژی‌ها یا اقدامات در جهت کاهش انتشار آلودگی است.

۲- هزینه‌بر بودن: این معیار منعکس‌کننده میزان هزینه اجرای استراتژی است. با توجه به اینکه عمده فعالیت‌های کشاورزی توسط واحدهای خصوصی صورت می‌گیرد، این معیار نیز بسیار حایز اهمیت است. به بیان ساده، پذیرش اقدامات پیشنهادی منوط به مقایسه هزینه و فایده خواهد بود.

۳- زمان‌بر بودن: این معیار منعکس‌کننده میزان زمان مورد نیاز برای اجرای استراتژی است. همچنین میزان حساسیت زمان اجرای استراتژی را نیز در بر می‌گیرد.

۴- سهولت در اجرا: این معیار سهولت اجرای استراتژی توسط واحدها را سنجش می‌کند.

پس از تدوین استراتژی‌ها به‌منظور تعیین امتیاز هریک از استراتژی‌ها در هریک از معیارها، پرسش‌نامه در میان کارشناس‌ها توزیع و تکمیل شد. در ادامه به‌منظور رتبه‌بندی استراتژی‌ها از روش‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره و نظرات کارشناسی بهره گرفته شد. در این پرسش‌نامه برای دست‌یافتن به هدف رتبه‌بندی استراتژی‌ها، ابتدا معیارهای مورد نظر جهت ارزیابی استراتژی‌ها با

یکدیگر به‌صورت زوجی مورد مقایسه قرار گرفت. بر این اساس، با استفاده از نظرات کارشناس‌های منتخب، ماتریس مقایسه زوجی معیارها استخراج شد. در ادامه پس از استخراج ماتریس‌های مقایسه زوجی، وزن معیارها با استفاده از روش سلسله مراتبی[1] فازی یا FAHP محاسبه شد. در انتها نیز با استفاده از روش TOPSIS و با توجه به امتیاز به‌دست‌آمده از کارشناس‌ها برای هریک از استراتژی‌ها نسبت به معیارها و همچنین وزن معیارهای محاسبه‌شده به رتبه‌بندی استراتژی‌ها مبادرت شد.

به‌طور کلی AHP مرکب از هدف، مجموعه‌ای از معیارها، زیرمعیارها و نهایتاً در پایین‌ترین سطح، شامل گزینه‌های استراتژی است که ارزیابی و اولویت‌بندی می‌شوند و مجموع این سطوح تشکیل یک سلسله‌مراتب می‌دهند. فرض اصلی در AHP، استقلال سطوح بالاتر نسبت به سطوح پایین‌تر و نسبت به معیارها و عوامل دیگر در هر سطح است. عناصر هر سطح در AHP صرفاً به عناصر سطح بالاتر وابسته‌اند یعنی ضرایب اهمیت عناصر هر سطح لزوماً بر اساس سطح بالاتر مشخص می‌شود (Ghodsipoor, 2005).

تحلیل سلسله مراتبی فازی و رتبه‌بندی استراتژی‌ها

برای تعیین اولویت استراتژی‌ها نسبت به هریک از معیارهای منتخب و همچنین به‌منظور تعیین امتیاز نهایی استراتژی‌ها از تحلیل سلسله مراتبی فازی یا FAHP استفاده شد. فرایند کلی تحلیل سلسله مراتبی فازی شامل مراحل زیر است:

مرحله اول: ایجاد ساختار سلسله‌مراتبی (مدل‌سازی)

هدف تصمیم‌گیری در مرحله مدل‌سازی، به‌صورت یک سیستم منطقی و سلسله مراتبی از عناصر تصمیم، نمایش داده می‌شود که دارای ارتباط با یکدیگر هستند. به‌عبارت‌دیگر یک مسأله با چندین شاخص به سلسله مراتبی از سطوح تقسیم می‌شود. این سطوح شامل هدف تصمیم‌گیری، معیارهای تصمیم‌گیری و گزینه‌های ممکن است. رابطه‌ای که بین هدف، معیارها و گزینه‌ها در AHP

۱- فرایند تحلیل سلسله مراتبی برای اولین بار در سال ۱۹۷۰ توسط ساعتی (Saaty, 1980) مطرح شد و برای حل مسائل تصمیم‌گیری پیچیده مورد استفاده قرار گرفت. این روش با استفاده از یک شبکه سیستمی، شاخص‌های مختلف و ضوابط و معیارهای چندگانه را با ساختارهای چندسطحی، برای رتبه‌بندی یا تعیین اهمیت گزینه‌های مختلف یک فرایند تصمیم‌گیری پیچیده مورد استفاده قرار می‌دهد. AHP می‌تواند هم معیارهای کیفی و هم معیارهای کمی را در ارزیابی گزینه‌های تصمیم لحاظ کند. این فرایند گزینه‌های مختلف را در تصمیم‌گیری دخالت می‌دهد. علاوه بر این، بر مبنای مقایسه‌های زوجی بنا نهاده شده که امکان بررسی سناریوهای مختلف را به مدیران می‌دهد و قضاوت و محاسبات را تسهیل می‌نماید.

وجود دارد، خطی و یک‌سویه است. گزینه بر معیار تأثیر نمی‌گذارد و معیارها نیز بر یکدیگر تأثیر نمی‌گذارند (Kurttila et al., 2000).

مرحله دوم، قضاوت ترجیحی (مقایسه‌های زوجی)

هریک از معیارها به‌صورت زوجی با یکدیگر مقایسه می‌شوند. با انجام مقایسه زوجی در این مرحله، اهمیت نسبی هرکدام از معیارهای اصلی در دستیابی به هدف مشخص می‌شود. همچنین اگر ارتباطات درونی بین عناصر یک جزء وجود داشته باشد، باید از مقایسات زوجی استفاده نمود. مقادیر اهمیت نسبی به‌وسیله مقیاس ۱ تا ۹ مشخص می‌شوند که در آن امتیاز ۱ نشانگر اهمیت برابر دو عامل است، درحالی‌که امتیاز ۹ حاکی از اهمیت مطلق یک عامل (عنصر سطر) در مقایسه با عامل دیگر (عنصر ستون) است. مقادیر متقابل نیز برای مقایسه معکوس در نظر گرفته می‌شود، به این صورت که $a_{ij} = 1/a_{ji}$ ، (a_{ij} دلالت بر اهمیت عنصر iام در مقابل عنصر jام دارد). این نوع مقایسه، مطابق با روش پیشنهادی ساعتی است (Saaty, 1996). در ادامه مقادیر به‌دست‌آمده از کارشناس‌ها با استفاده از اعداد مثلثی فازی به مقادیر فازی تبدیل می‌شود. برای این منظور از جدول زیر استفاده شد:

جدول ۳. اعداد فازی مثلثی و متغیرهای کلامی مربوط به آن‌ها

اعداد فازی		متغیرهای کلامی
(۱,۱,۱)	ارجحیت یکسان	$\tilde{1}$
(۱,۱/۵,۱/۵)	ارجحیت یکسان تا نسبتاً ارجح	$\tilde{2}$
(۱,۲,۲)	نسبتاً ارجح	$\tilde{3}$
(۳,۳/۵,۴)	نسبتاً ارجح تا کاملاً ارجح	$\tilde{4}$
(۳,۴,۴/۵)	کاملاً ارجح	$\tilde{5}$
(۳,۴/۵,۵)	کاملاً ارجح تا ارجحیت زیاد	$\tilde{6}$
(۵,۵/۵,۶)	ارجحیت خیلی زیاد	$\tilde{7}$
(۵,۶,۷)	ارجحیت خیلی زیاد تا فوق‌العاده ارجح	$\tilde{8}$
(۵,۷,۹)	فوق‌العاده ارجح	$\tilde{9}$

مأخذ: سوکلی و همکاران (Sevkli et al., 2012)

مرحله سوم: محاسبه وزن معیارها

از میان روش‌های مختلف ارائه‌شده برای محاسبه وزن معیارها از روش تجزیه و تحلیل مقداری چانگ (Chang, 1996) برای ارزیابی تحلیل سلسله مراتبی فازی استفاده شد که شامل مراحل زیر است:

مرحله اول: محاسبه ارزش مقدار ترکیبی فازی برای iامین عنصر به‌صورت رابطه (۱):

$$S_i = \sum_{j=1}^{m} M_{gi}^{j} \otimes \left[\sum_{i=1}^{n} \sum_{j=1}^{m} M_{gi}^{j} \right]^{-1} \quad (۱)$$

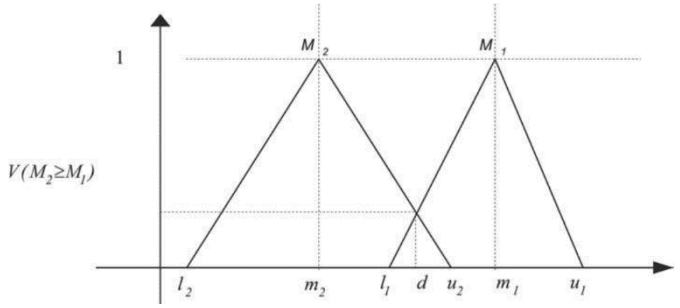
که در آن $M_{g_i}^{j}$ها (j=1,2,....,m) اعداد فازی مثلثی هستند.

مرحله دوم: محاسبه درجه احتمال بر اساس رابطه (۲):

(۲)

$$V(M_1 \le M_2) = hgt(M_1 \cap M_2) = \mu_{M2}(d) = \begin{cases} 1, & if \quad m_2 \ge m_1 \\ 0, & if \quad u_2 \le l_1 \\ \dfrac{l_1 - u_2}{(m_2 - u_2) - (m_1 - l_1)} & \text{Otherwise} \end{cases}$$

که در آن d نشان‌دهنده نقطه اشتراک μ_{M1} و μ_{M2} است.



شکل .Error! No text of specified style in document**۱. اشتراک دو عدد مثلثی فازی**

همچنین در ادامه به‌منظور محاسبه درجه احتمال برای k عدد فازی محدب از رابطه زیر استفاده شد:

$$V(M \ge M_1, M_2, \ldots, M_k) = V\left[(M \ge M_1) and \ldots and (M \ge M_k)\right]$$
$$= \min V(M \ge M_1), \quad i = 1, 2, \ldots, k \quad (۳)$$

مرحله سوم: این مرحله محاسبه بردار وزن‌ها را شامل می‌شود. اگر فرض شود

$$d'(A_i) = min\ V(S_i \geq S_k) k = 1,2,...,n;\ k \neq i$$

باشد، آنگاه بردار وزن‌ها به‌صورت رابطه (۴) خواهد بود:

$$W' = \left(d'(A_1), d'(A_2), ..., d'(A_i) \right)^T \quad (۴)$$

در رابطه فوق $(i = 1,2,....,n)$ Aiها n عنصر هستند. از طریق نرمال‌کردن می‌توان بردار نرمال وزن‌ها را که یک عدد غیرفازی است به شکل رابطه زیر به دست آورد:

$$W = \left(d(A_1), d(A_2), ..., d(A_2) \right)^T \quad (۵)$$

از جمله پیامدهای ناشی از پاسخ‌های به‌دست‌آمده از نظرسنجی، عدم سازگاری پاسخ‌های ارائه‌شده برای مقایسه زوجی معیارها است. در این مطالعه از روش گاگوس و بوچر[1] (Gogus & Boucher, 1998) برای سنجش میزان سازگاری به روش زیر استفاده شد:

مرحله اول: در مرحله اول، ماتریس مثلثی فازی به دو ماتریس تقسیم می‌شود. ماتریس اول شامل اعداد میانی قضاوت‌های مثلثی ($A^m = [a_{ijm}]$) و ماتریس دوم شامل میانگین هندسی حدود بالا و پایین اعداد مثلثی ($A^g = \sqrt{a_{iju}.a_{ijl}}$) است.

مرحله دوم: بردار وزن هر ماتریس با استفاده از روش ساعتی به‌صورت زیر محاسبه می‌شود:

$$w_i^m = \frac{1}{n} \sum_{j=1}^{n} \frac{a_{ijm}}{\sum_{i=1}^{n} a_{ijm}} \quad (۶)$$

که در آن $w^m = [w_i^m]$ و a_m بردار وزن w است.

$$w_i^g = \frac{1}{n} \sum_{j=1}^{n} \frac{\sqrt{a_{iju}.a_{ijl}}}{\sum_{i=1}^{n} \sqrt{a_{iju}.a_{ijl}}} \quad (۷)$$

در رابطه فوق $w^g = [w_i^g]$ و a_j بردار وزن w است.

مرحله سوم: بزرگ‌ترین مقدار ویژه برای هر ماتریس با استفاده از روابط (۸) و (۹) محاسبه می‌شود:

1. Gogus and Boucher

$$\lambda_{\max}^{m} = \frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n}\sum_{j=1}^{n} a_{ijm}\left(\frac{w_j^m}{w_i^m}\right) \quad (۸)$$

$$\lambda_{\max}^{g} = \frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n}\sum_{j=1}^{n} \sqrt{a_{iju}.a_{ijl}}\left(\frac{w_j^g}{w_i^g}\right) \quad (۹)$$

مرحله چهارم: شاخص سازگاری با استفاده از روابط (۱۰) و (۱۱) محاسبه می‌شود:

$$CI^m = \frac{(\lambda_{\max}^m - n)}{(n-1)} \quad (۱۰)$$

$$CI^g = \frac{(\lambda_{\max}^g - n)}{(n-1)} \quad (۱۱)$$

مرحله پنجم: برای محاسبه نرخ ناسازگاری (CR)، شاخص CI بر مقدار شاخص تصادفی (RI) تقسیم می‌شود. درصورتی‌که مقدار حاصل کمتر از ۰/۱ باشد، ماتریس سازگار و قابل استفاده تشخیص داده می‌شود. مقادیر شاخص تصادفی نیز به‌صورت جدول ۴ است:

جدول ۴. شاخص‌های تصادفی

اندازه ماتریس	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸	۹	۱۰
RI^m	۰	۰	۰/۴۸۹۰	۰/۷۹۳۷	۱/۰۷۲۰	۱/۱۹۹۶	۱/۲۸۷۴	۱/۳۴۱۰	۱/۳۷۹۳	۱/۴۰۹۵
RI^g	۰	۰	۰/۱۷۹۶	۰/۲۶۲۷	۰/۳۵۹۷	۰/۳۸۱۸	۰/۴۰۹۰	۰/۴۱۶۴	۰/۴۳۴۸	۰/۴۴۵۵

مأخذ: گاگوس و بوچر (Gogus and Boucher, 1998)

$$CR^g = \frac{CI^g}{RI^g} \quad (۱۲)$$

$$CR^m = \frac{CI^m}{RI^m} \quad (۱۳)$$

درصورتی‌که هر دو شاخص فوق کمتر از ۰/۱ باشد، ماتریس فازی سازگار است. درصورتی‌که هر دو بیشتر از ۰/۱ باشد، لازم است اولویت‌ها مورد تجدیدنظر قرار گیرد. درصورتی‌که تنها $CR^m(CR^g)$ بیشتر از ۰/۱ باشد، تصمیم‌گیرنده تنها باید در مقادیر میانی (حدود) تجدیدنظر نماید.

در مراحل قبل وزن معیارها و همچنین اهمیت هریک از آن‌ها در ارتباط با استراتژی‌های منتخب به‌صورت کمی مشخص شد. این یافته‌ها امکان محاسبه امتیاز تجمیع‌شده هر استراتژی و لذا رتبه‌بندی آن‌ها را فراهم می‌کند. برای این منظور از تکنیک تاپسیس استفاده شد. این ابزار که توسط

هوانگ و یون[۱] ارائه شد امکان انتخاب بهترین گزینه از میان گزینه‌های مختلف را با در نظر گرفتن معیارهای تصمیم فراهم می‌کند. مبنای انتخاب در این روش یافتن گزینه دارای کمترین فاصله با راه-حل ایده‌آل مثبت و بیشترین فاصله با راه‌حل‌ایده‌آل منفی است. برای این منظور باید مراحل زیر طی شود:

مرحله اول: تشکیل ماتریس داده‌ها بر اساس n گزینه و k شاخص به شکل زیر:

$$A_{ij=}\begin{pmatrix} a_{11} & a_{12} & \dots & a_{1n} \\ a_{21} & a_{22} & \dots & a_{2n} \\ \vdots & \vdots & & \vdots \\ a_{m1} & a_{m2} & \dots & a_{mn} \end{pmatrix} \qquad (۱۴)$$

که در آن aها عملکرد هریک از معیارها (میانگین وزنی امتیازات هر معیار) است.

مرحله دوم: استاندارد نمودن داده‌ها و تشکیل ماتریس استاندارد یا استاندارسازی داده‌های ماتریس فوق که با استفاده از رابطه (۱۵) انجام می‌شود:

$$r_{ij} = \frac{a_{ij}}{\sqrt{\sum_{k=1}^{m} a_{kj}^2}} \qquad (۱۵)$$

مرحله سوم: تعیین وزن هریک از شاخص‌ها (w_i) مشروط بر $\sum_{i=1}^{n} w_i = 1$. شاخص‌های دارای اهمیت بیشتر از وزن بالاتری برخوردار خواهند بود. ادامه این مرحله شامل محاسبه ماتریس زیر از طریق ضرب وزن‌ها در مقایر حاصل از ماتریس مرحل دوم است:

$$V_{ij=}\begin{bmatrix} w_1 r_{11} & w_2 r_{12} & \dots & w_n r_{1n} \\ w_1 r_{21} & w_2 r_{22} & \dots & w_n r_{2n} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ w_1 r_{m1} & w_2 r_{m2} & \dots & w_n r_{mn} \end{bmatrix} \qquad (۱۶)$$

مرحله چهارم: شامل تعیین فاصله iامین گزینه از گزینه ایده‌آل (بالاترین عملکرد هر شاخص) و گزینه حداقل (پایین‌ترین عملکرد هر شاخص) است که از روابط (۱۷) و(۱۸) برای این منظور استفاده می‌شود:

$$A^+ = \left\{ \left(\max_i v_{ij} \,\middle|\, j \in J \right), \left(\min_i v_{ij} \,\middle|\, j \in J' \right) \right\} \quad \Rightarrow \quad A^+ = \{v_1^+, v_2^+, \dots, v_n^+\} \qquad (۱۷)$$

$$A^- = \left\{ \left(\min_i v_{ij} \,\middle|\, j \in J \right), \left(\max_i v_{ij} \,\middle|\, j \in J' \right) \right\} \quad \Rightarrow \quad A^- = \{v_1^-, v_2^-, \dots, v_n^-\} \qquad (۱۸)$$

4. Hwang and Yoon

مرحله پنجم: این مرحله تعیین معیار فاصله‌ای برای گزینه ایده‌آل (d_i^+) و گزینه حداقل (d_i^-) را شامل می‌شود که روابط مربوطه به‌صورت زیر است:

$$d_i^+ = \sqrt{\sum_{j=1}^{n}(v_{ij} - v_j^+)^2} \quad (۱۹)$$

$$d_i^- = \sqrt{\sum_{j=1}^{n}(v_{ij} - v_j^-)^2} \quad (۲۰)$$

مرحله ششم: در این مرحله نزدیکی نسبی یک گزینه (C_i^*) به گزینه ایده‌آل با استفاده از رابطه (۲۱) که مقدار آن بین صفر و یک تغییر می‌کند، تعیین می‌شود:

$$C_i^* = \frac{d_i^-}{d_i^- + d_i^+} \quad , \quad 0 \le C_i^* \le 1 \quad (۲۱)$$

مرحله هفتم: آخرین مرحله در این روش رتبه‌بندی گزینه‌ها و تعیین بهترین گزینه بر اساس میزان C_i^* است که $C_i^* = 1$ نشان‌دهنده بالاترین رتبه و $C_i^* = 0$ نشان‌دهنده کمترین رتبه است.

همچنین برای گروه‌بندی استراتژی‌ها از تحلیل خوشه‌ای دومرحله‌ای استفاده شد. در این روش ابتدا تعداد گروه‌ها مشخص و سپس با استفاده از روش k–میانگین گروه‌بندی می‌شوند. این روش برای دسته‌بندی مشاهدات، ابتدا هریک از مشاهدات را در خوشه‌ای قرار می‌دهد که دارای نزدیک‌ترین فاصله به مشاهده مرکزی (میانگین) است. سپس فاصله اقلیدسی هر مشاهده را از مرکز دسته‌ها محاسبه و آن را مجدداً به نزدیک‌ترین دسته دوباره تخصیص می‌دهد. فاصله اقلیدسی بین دو مشاهده به شکل زیر محاسبه می‌شود (Johnson & Wichern, 2014):

$$d(x,y) = \sqrt{(x-y)'A(x-y)} \quad (۲۲)$$

که در آن $A = S^{-1}$ و S ماتریس واریانس‌ها و کواریانس‌های نمونه است. برتری این روش در آن است که بدون نیاز به اطلاع از تعداد خوشه‌ها، می‌توان مشاهدات را تقسیم‌بندی نمود (Landau & Everitt, 2003).

داده‌ها

اطلاعات مورد نیاز برای تدوین استراتژی‌های مؤثر در کاهش آلودگی از طریق پرسش‌نامه جمع‌آوری شد. به این ترتیب که ابتدا به کمک اطلاعات اولیه به‌دست‌آمده از کارشناس‌های منتخب و ادبیات موضوع، استراتژی‌ها تدوین و سپس به‌منظور رتبه‌بندی آن‌ها نظرات کارشناس‌ها در قالب پرسش‌نامه جمع‌آوری شد. کارشناس‌های منتخب نیز شامل اعضای هیأت علمی دانشگاه و مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی استان فارس بودند. در مجموع از ۱۳ نفر از کارشناس‌های زراعت و باغبانی و علوم دامی نظرسنجی صورت گرفت.

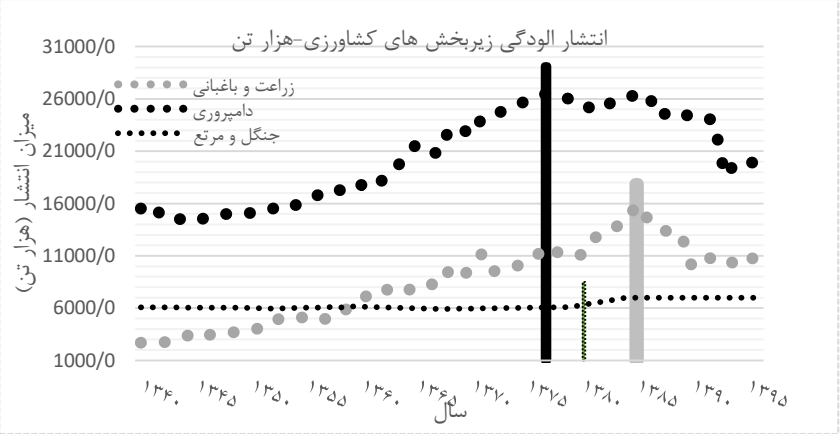
نتایج و بحث

ابتدا میزان انتشار آلاینده‌های منتخب در بخش کشاورزی در این بخش ارائه شده است. انتشار آلاینده‌ها به تفکیک آلاینده‌های منتخب و همچنین زیربخش‌ها آمده است. لازم به یادآوری است که میزان انتشار در بخش کشاورزی تنها انتشار آلاینده‌ها از فرایند تولید را شامل می‌شود. زیربخش‌های کشاورزی شامل زراعت و باغبانی، دام و طیور و جنگل و مرتع است. آلاینده‌های منتخب نیز شامل متان، اکسیددی‌نیتروژن و دی‌اکسیدکربن است.

با هدف مقایسه انتشار آلاینده‌های منتخب در زیربخش‌های کشاورزی در نمودار ۱ انتشار هریک از زیربخش‌های کشاورزی برحسب معادل دی‌اکسیدکربن ارائه شده است. مجموع آلودگی‌های منتشرشده برحسب معادل دی‌اکسیدکربن در بخش کشاورزی در طول سال‌های ۱۳۴۰ تا ۱۳۹۶ با نوساناتی روبرو بوده است. میزان انتشار از زیربخش دام و طیور در پایان دوره در حدود دو برابر زیربخش زراعت و باغبانی و اندکی کمتر از سه برابر زیربخش جنگل و مرتع بوده است. مجموع آلودگی‌های منتشرشده در زیربخش زراعت و باغبانی که با تولید غلات نقش بسیار زیادی در انتشار اکسیددی‌نیتروژن دارد طی سال‌های ۸۵-۱۳۴۱ با نرخ سالانه بالاتر از ۴ درصد در حال رشد بوده و در انتهای این دوره به حدود ۱۶ هزار تن رسیده است. اما انتشار از این زیربخش در سال‌های باقیمانده با آهنگ نسبتاً قابل ملاحظه (۳/۶ درصد) کاهش یافته است. به گونه‌ای که موجب کاهش نرخ انتشار کل دوره به کمتر از ۲/۵ درصد شده است. در واقع انتشار در زیربخش زراعت و باغبانی طی دوره ۹۶-۱۳۸۵ در حدود یک‌سوم کاهش یافته است.

زیربخش دام و طیور که در تولید آلاینده متان نقش بسزایی دارد روند متفاوتی را تجربه کرده است. انتشار این بخش در طول سال‌های ۶۲-۱۳۴۰ با نرخ رشدی در حدود ۰/۷۵ درصد به آرامی از میزان ۱۵/۵ هزار تن به بیش از ۱۸/۳ هزار تن افزایش یافته است. نرخ رشد انتشار سالانه آلودگی از

زیربخش دام و طیور پس از سال ۱۳۶۲ به‌طور ناگهانی افزایش پیدا کرده و مقدار انتشار آلودگی با رشدی در حدود ۲/۵ درصد در سال ۱۳۷۷ به بیشترین مقدار و به حدود ۲۶/۶ هزار تن رسیده است. روند انتشار آلاینده‌ها در بخش دام و طیور پس از سال ۱۳۷۷ تغییر کرده و میزان سالانه انتشار با نرخ ۱/۳۶- درصد منجر به کاهش انتشار تا کمتر از ۲۰ هزار تن شده است. هرچند مقدار انتشار زیربخش دام و طیور در مقایسه با زیربخش زراعت و باغبانی در سطح بالایی قرار دارد؛ اما میزان رشد آن در کل دوره تنها ۰/۴۲ درصد بوده که به مراتب پایین‌تر از مقدار به‌دست‌آمده برای زیربخش زراعت و باغبانی (حدود ۲/۵ درصد) است. ازآنجایی‌که زیربخش جنگل و مرتع به طور عمده در انتشار دی-اکسیدکربن مؤثر است، شاهد نوسانات کمتری در طول نیم قرن اخیر بوده است. انتشار آلودگی در زیربخش جنگل و مرتع طی سال‌های ۱۳۴۰ تا ۱۳۸۰ از رشد بسیار کم (در حدود ۰/۱ درصد) برخوردار بوده است اما از سال ۱۳۸۰ تا ۱۳۸۵ با افزایشی ناگهانی از ۶۲۷۷ هزار تن به بیش از ۶۹۹۰ هزار تن رسیده است که نرخ رشدی در حدود ۲/۷ درصد را نشان می‌دهد. البته مقدار انتشار سالانه در این زیربخش پس از سال ۱۳۸۵ تاکنون چندان تغییر نکرده است.



نمودار ۱. انتشار آلاینده‌ها (معادل دی‌اکسیدکربن) در فرایند تولید طی دوره ۹۶-۱۳۴۰

همان‌طورکه پیش‌تر نیز عنوان شد برای رتبه‌بندی استراتژی‌های کاهش انتشار آلودگی در سطح مزرعه از معیارهای "اثرگذاری"، "هزینه‌بر بودن"، "زمان‌بر بودن" و "سهولت در اجرا" استفاده شد. پاسخ‌های کارشناس‌های منتخب در زمینه مقایسه این معیارها با استفاده از مقیاس عددی

۱ تا ۹ استخراج و داده‌های استخراجی با توجه به جدول اعداد فازی مثلثی به ساختار فـازی بـا حـدود پایین، وسط و بالا تبدیل شد. سپس مقادیر منتسب به هریک از معیارها توسط کارشناس‌ها تجمیـع و وزن معیارها محاسبه شد که برای این منظـور از مـاتریس مقایسـه زوجـی کارشـناس‌هـای مختلـف، میانگین هندسی گرفته شد. نتایج حاصل از این محاسبه‌ها در جدول‌هـای ۵ و ۶ آمـده اسـت. سـتون انتهایی جدول، وزن هریک از معیارها را که با استفاده از روش FAHP محاسبه شده نشان می‌دهد.

نتایج جدول ۵ بیانگر آن است که در مورد استراتژی‌های کاهنده انتشار در زیـربخش زراعـت و باغبانی، معیار "اثرگذاری" استراتژی‌ها با وزن نسـبی ۰/۳۷ دارای بـالاترین درجـه اهمیـت در میـان معیارهای منتخب است. همچنین مطابق جدول یادشده، معیار "هزینه‌بر بودن" با فاصله اندکی با وزن ۰/۳۵ قرار دارد. به عبارتی بیش از یک‌سوم از اهمیت به معیار اثرگذاری تعلق گرفته است. ایـن یافتـه ممکن است تردید کارشناس‌ها در خصوص اقدامات را گوشزد کند. به این معنی که به‌عنوان مهم‌ترین گام باید نسبت به اثربخشی اقدامات اطمینان حاصل شود. درعین‌حال کارشناس‌ها هزینه‌های اجرایـی را نیز دغدغه مهمی ارزیابی کرده‌اند. در این خصوص نیز توان مالی پایین برای حمایت از طـرح‌هـای آینده‌نگر ممکن است موجب چنین نگرانی در نزد این متخصص‌ها شده باشد. نکتـه حـایز اهمیـت آن است که کارشناس‌ها اجرای این استراتژی‌ها را چندان چالش‌برانگیز ارزیابی نکرده‌اند و اهمیت پـایین به آن داده‌اند. همچنین در مقایسه با دو معیار "اثرگذاری" و "هزینه‌های اجرایی"، زمان مورد نیاز نیز چندان محدودکننده ارزیابی نشده است.

مقادیر نرخ ناسازگاری در انتهای جدول ارائه شده است. مقادیر این دو نرخ کمتر از ۰/۱ است لذا بیانگر آن است که مقایسه‌های زوجی معیارها سازگار است و پاسخ‌هـای کارشـناس‌هـا دچـار خطـای ناسازگاری و عدم تطبیق نیست. به بیان دیگر اعتبار نتایج به‌دست‌آمده مطلوب ارزیابی می‌شود.

جدول ۵. ماتریس مقایسه زوجی تجمیع‌شده معیارها و محاسبه وزن نسبی آن‌ها با روش FAHP – فعالیت‌های زیربخش زراعت و باغبانی

معیارها	اثرگذاری	هزینه‌بر بودن	زمان‌بر بودن	سهولت در اجرا	وزن های نسبی
اثرگذاری	(۱،۱،۱)	(۲/۲۶، ۲/۴۷، ۲/۶۶)	(۱/۷۰، ۱/۸۵، ۱/۹۵)	(۰/۴۱، ۰/۴۲، ۰/۴۳)	**۰/۳۷**
هزینه‌بر بودن	(۰/۳۸، ۰/۴۰، ۰/۴۱)	(۱،۱،۱)	(۲/۴۳، ۲/۶۸، ۲/۸۲)	(۱/۴۲، ۱/۵۶، ۱/۶۳)	**۰/۳۵**
زمان‌بر بودن	(۰/۵۸، ۰/۵۴، ۰/۵۱)	(۰/۳۵، ۰/۳۷، ۰/۴۱)	(۱، ۱، ۱)	(۱/۸۸، ۲/۸۲، ۳/۱۱)	**۰/۱۷**
سهولت در اجرا	(۲/۳۱، ۲/۳۶، ۲/۴۶)	(۰/۵۷، ۰/۶۴، ۰/۷۵)	(۰/۳۲، ۰/۳۵، ۰/۵۳)	(۱، ۱، ۱)	**۰/۱۱**
		CR_g= ۰/۰۸۴		**CRm=۰/۰۵۸**	

مأخذ: یافته‌های پژوهش

بالاترین اهمیت در فعالیت‌های دام و طیور نیز به دو معیار "اثرگذاری" و "هزینه‌بربودن" تعلق گرفته است (جدول۶). با این تفاوت که اثرگذاری از اهمیت به مراتب بالاتری برخوردار است و در حدود نیمی از کل وزن موردنظر کارشناس‌ها تنها به این معیار نسبت داده شده است. این پاسخ از سوی کارشناس‌ها بیانگر آن است که هر استراتژی ابتدا باید از حیث اثرگذاری راستی‌آزمایی شود. درعین‌حال هزینه‌بر بودن هم به‌عنوان چالش بعدی با اهمیت ۲۸ درصد عنوان شده است. این در حالی است که دو معیار بعد در مجموع اهمیتی کمتر از معیار "هزینه‌بر بودن" دارند و مجموع وزن آن‌ها تنها ۲۳ درصد است. مقادیر نرخ ناسازگاری نیز حاکی از مطلوب بودن یافته‌ها و سازگاری مقایسه زوجی معیارها است.

جدول ۶. ماتریس مقایسه زوجی تجمیع‌شده معیارها و محاسبه وزن نسبی آن‌ها با روش FAHP – فعالیت‌های زیربخش دام و طیور

معیارها	اثرگذاری	هزینه بر بودن	زمان‌بر بودن	سهولت در اجرا	وزن های نسبی
اثرگذاری	(۱،۱،۱)	(۰/۹۳، ۱/۱۰، ۱/۱۱)	(۱/۲۷، ۱/۵۳، ۱/۶۰)	(۱/۰۹، ۱/۲۱، ۱/۲۶)	**۰/۴۹**
هزینه بر بودن	(۰/۹۰، ۰/۹۱، ۱/۰۸)	(۱،۱،۱)	(۱/۲۶، ۱/۵۸، ۱/۶۶)	(۰/۷۹، ۰/۷۷، ۰/۷۶)	**۰/۲۸**
زمان‌بر بودن	(۰/۶۲، ۰/۶۵، ۰/۷۸)	(۰/۶۰، ۰/۶۳، ۰/۷۹)	(۱، ۱، ۱)	(۱/۳۷، ۱/۴۳، ۱/۴۷)	**۰/۱۱**
سهولت در اجرا	(۰/۷۹، ۰/۸۳، ۰/۹۲)	(۱/۳۱، ۱/۳۰، ۱/۲۶)	(۰/۶۸، ۰/۷۰، ۰/۷۳)	(۱، ۱، ۱)	**۰/۱۲**
		CRg= ۰/۰۲۹		**CRm=۰/۰۳۷**	

مأخذ: یافته‌های پژوهش

در ادامه بر اساس وزن‌های معیارها که با کمک روش تحلیل مقداری FAHP به دست آمد (جدول‌های ۵ و ۶) و همچنین امتیاز استراتژی‌ها برای هریک از معیارهای مختلف که ازنظر کارشناس‌ها حاصل شده بود، استراتژی‌های مورد نظر رتبه‌بندی شدند. برای این منظور، ماتریس عملکرد بر اساس وزن‌های محاسباتی از روش FAHP و عملکردهای هر استراتژی تهیه شد. نحوه استخراج ماتریس عملکرد بدین صورت است که از کارشناس‌ها میزان امتیاز (بین ۱ تا ۵) هر استراتژی با توجه به معیارهای چهارگانه پرسیده شد و سپس میانگین هندسی این امتیازها محاسبه و به‌عنوان عملکرد استراتژی با توجه به معیار مورد نظر لحاظ شد. سپس ماتریس عملکرد استراتژی‌های کاهنده شدت انتشار آلودگی جهت جلوگیری از اثر مقیاس‌ها و به عبارت بهتر، بی‌بعدسازی داده‌ها، نرمال شد. پس از استخراج ماتریس عملکرد نرمال‌شده به محاسبه ماتریس عملکرد نرمال وزنی پرداخته شد. استخراج این ماتریس بدین صورت است که هریک از عملکردهای نرمال‌شده استراتژی‌ها در وزن معیار مربوط به خود که از روش FAHP به‌دست‌آمده ضرب شد. در پایان

استراتژی ایده‌آل و آنتی‌ایده‌آل بر اساس عملکردهای معیارها و همچنین ماتریس عملکرد نرمال وزنی استخراج و شاخص نزدیکی برای هر استراتژی محاسبه شد که نتایج این شاخص و رتبه‌بندی استراتژی‌ها در ادامه در جدول‌های ۷ و ۸ و نمودارهای مربوطه آمده است.

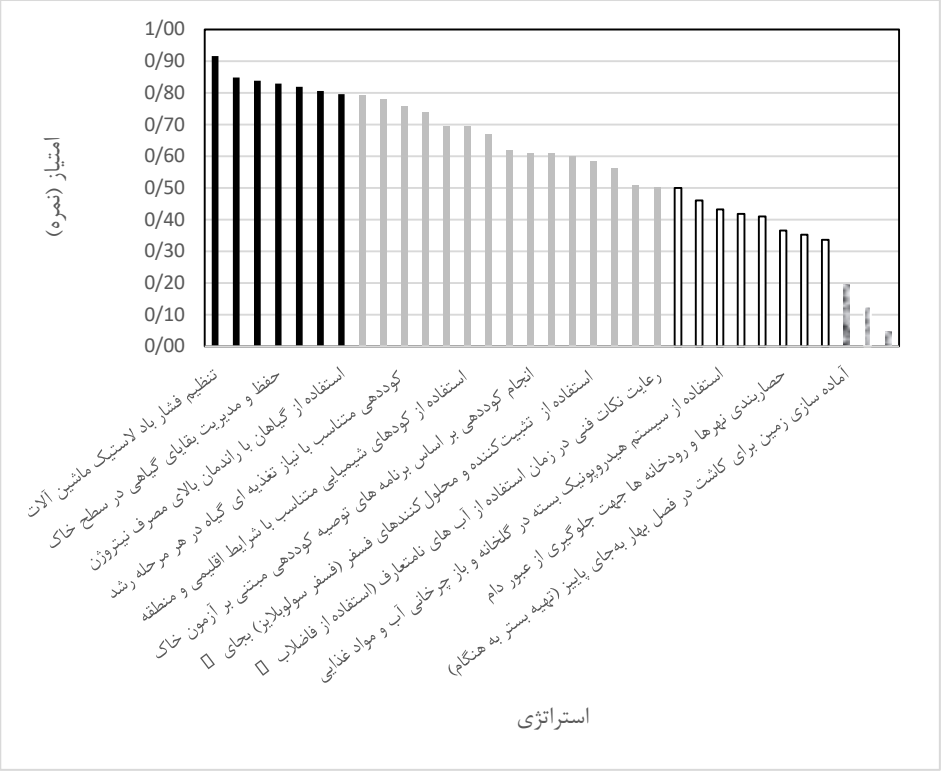
نتایج حاصل از رتبه‌بندی استراتژی‌های پیشنهادی برای کاهش انتشار در فعالیت‌های زراعی و باغی با استفاده از روش تاپسیس در جدول ۷ و نمودار ۲ آمده است. استراتژی‌ها بر اساس روش تحلیل خوشه‌ای به چهار گروه تقسیم‌بندی شد. گروه اول دارای امتیاز ۰/۹۲–۰/۸ هستند. در این گروه در مجموع ۷ استراتژی قرار گرفته است. تمرکز اصلی در این گروه بر روی استفاده صحیح از ماشین‌ها و ادوات، مدیریت بقایای گیاهی در سطح خاک و همچنین استفاده از الگوهای مدیریتی مناسب است. نوع گیاهان دارای راندمان بالا در انتهای رتبه این گروه پیشنهاد شده است. به بیان دیگر مجموعه اقدامات به‌زراعی بر نوع گیاه ترجیح داده شده است. طیف وسیعی از استراتژی‌ها در گروه دوم مشاهده می‌شود. دامنه امتیاز در این گروه شامل ۰/۸–۰/۵ است و حدود ۱۶ استراتژی را شامل می‌شود. این گروه تلفیقی از اقدامات مدیریتی و نوع گیاهان را شامل می‌شود اما به‌طور نسبی هنوز به اقدامات مدیریتی وزن بالاتری تعلق گرفته است. مهم‌ترین موارد ذکرشده شامل انتخاب ترکیب مناسبی از کودها در کنار زمان مناسب کوددهی و همچنین استفاده از ارقام مقاوم است. گروه سوم به طور عمده مدیریت آب در مزرعه و همچنین حفاظت از مزرعه در مقابل عبور دام را شامل می‌شود. سه استراتژی نیز در انتها با امتیاز ۰/۲ و کمتر قرار دارند. ویژگی این استراتژی‌ها تأکید بر استفاده از فناوری نوین و تغییر زمان آماده‌سازی زمین است که از سوی کارشناس‌ها چندان مورد توجه قرار نگرفته است.

در مجموع می‌توان گفت استراتژی‌های مورد توجه کارشناس‌ها به طور عمده بر مدیریت استفاده از کود شیمیایی در سطح مزرعه تأکید دارد. برای این منظور نیز ادوات و ابزار مناسب از اهمیت بالایی برخوردار است.

جدول ۷. شاخص نزدیکی محاسبه‌شده و رتبه‌بندی استراتژی‌ها در فعالیت‌های زراعت و باغبانی

استراتژی (اقدام)	رتبه	امتیاز
تنظیم فشار باد لاستیک ماشین‌آلات	۱	۰/۹۲
تنظیم صحیح کودپاش‌ها و سم‌پاش‌ها	۲	۰/۸۵
استفاده از مالچ‌های گیاهی و آلی در پوشش بستر خاک	۳	۰/۸۴
حفظ و مدیریت بقایای گیاهی در سطح خاک	۴	۰/۸۳
انجام آبیاری در زمان مناسب	۵	۰/۸۲
کاربرد اصول صحیح به‌زراعی جهت جلوگیری از شیوع آفات و بیماری‌ها	۶	۰/۸۱
استفاده از گیاهان با راندمان بالای مصرف نیتروژن	۷	۰/۸۰
مدیریت صحیح کوددهی شامل کوددهی در زمان مناسب، اصلاح روش کوددهی (کوددهی نواری به جای پخش در سطح خاک)	۸	۰/۷۹
استفاده از تناوب‌های زراعی مناسب در سیستم‌های زراعی	۹	۰/۷۸
کوددهی متناسب با نیاز تغذیه‌ای گیاه در هر مرحله رشد	۱۰	۰/۷۶
استفاده از ارقام مقاوم به بیماری‌ها و آفات	۱۱	۰/۷۴
استفاده از کودهای شیمیایی متناسب با شرایط اقلیمی و منطقه	۱۲	۰/۶۹
مدیریت دقیق و بلندمدت مزارع (توجه به تاریخچه کشت)	۱۲	۰/۶۹
استفاده از گیاهان خانواده لگوم (شبدر، یونجه و...) به جای کودهای نیتروژن	۱۴	۰/۶۷
به کارگیری بازدارنده‌های نیتریفیکاسیون	۱۵	۰/۶۲
انجام کوددهی بر اساس برنامه‌های توصیه کوددهی مبتنی بر آزمون خاک	۱۶	۰/۶۱
استفاده تلفیقی از کودهای دامی و سبز با کودهای شیمیایی	۱۷	۰/۶۰
استفاده از تثبیت‌کننده و محلول‌کننده‌های فسفر (فسفر سولوبلایز) به جای کود فسفره	۱۸	۰/۵۸
استفاده از سیستم کم‌خاک‌ورزی و سامانه‌های کشاورزی حفاظتی	۱۹	۰/۵۶
توسعه و به‌کارگیری کشاورزی پایدار	۲۰	۰/۵۱
ایجاد سیستم زهکشی برای خروج آلودگی‌ها	۲۱	۰/۵۰
ترکیب بازدارنده آنزیم اوره‌آز با کود اوره در اراضی کشاورزی	۲۲	۰/۴۶
استفاده از سیستم هیدروپونیک بسته در گلخانه و بازچرخانی آب و مواد غذایی	۲۳	۰/۴۳
تأسیس و نگهداری تالاب‌های مصنوعی جهت کنترل رواناب‌ها	۲۴	۰/۴۲
استفاده از سیستم‌های آبیاری نوین (تحت فشار، زیرسطحی و ...) به جای روش‌های سنتی	۲۵	۰/۴۱
حصاربندی نهرها و رودخانه‌ها جهت جلوگیری از عبور دام	۲۶	۰/۳۷
از بین بردن لایه نفوذناپذیر در خاک‌های فشرده	۲۷	۰/۳۵
حفر و مدیریت خندق‌ها در زمین‌های مرتعی	۲۸	۰/۳۴
آماده‌سازی زمین برای کاشت در فصل بهار به‌جای پاییز (تهیه بستر بهنگام)	۲۹	۰/۲۰
ایجاد نوارهای حائل با استفاده از چمن در زمین زراعی	۳۰	۰/۱۳
استفاده از فناوری‌های دقیق مانند پهپاد در سم‌پاشی و کودپاشی	۳۱	۰/۰۵

مأخذ: یافته‌های پژوهش



نمودار ۲. استراتژی‌های کاهش انتشار آلودگی در فعالیت‌های زیربخش زراعت و باغبانی

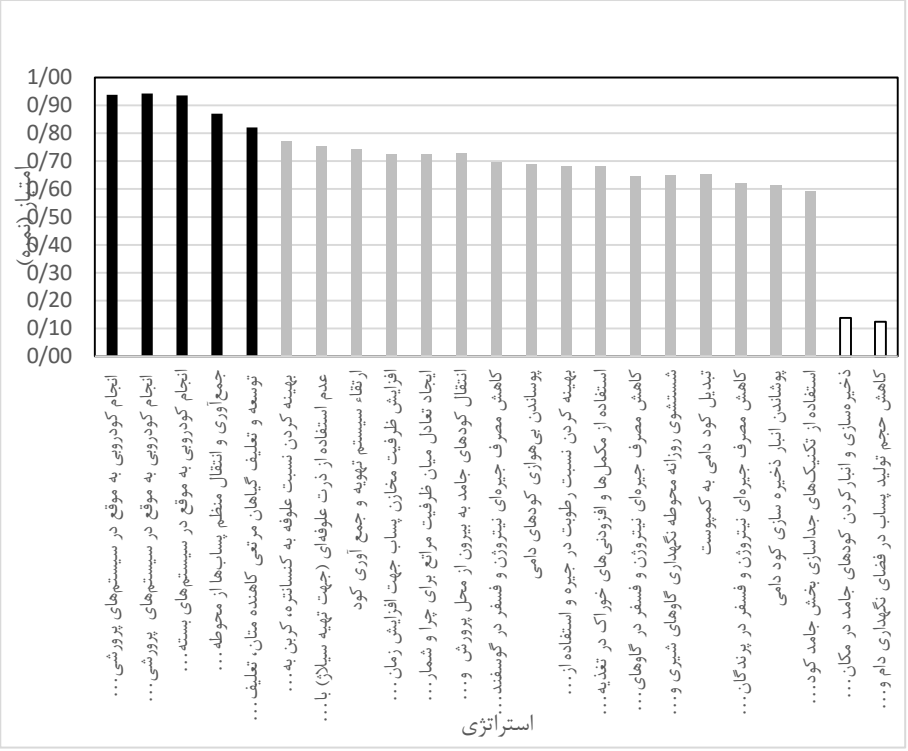
یافته‌های مشابه برای فعالیت‌های زیربخش دام و طیور نیز در جدول ۸ و نمودار ۳ آمده است. استراتژی‌ها بر اساس تحلیل خوشه‌ای به سه گروه تقسیم شد. گروه اول دارای امتیاز ۰/۹۴ – ۰/۸۲ است. این گروه که شامل ۵ استراتژی است به طور عمده تأکید بر نحوه کودروبی و تنظیف محل نگهداری دام است. البته نحوه تعلیف نیز در این گروه در رتبه پایین‌تر مورد اشاره قرار گرفته است. اما می‌توان گفت تأکید ویژه‌ای بر محل نگهداری دام و اقدام در محل نگهداری است. گروه دیگر را می‌توان شامل دو استراتژی انتهایی عنوان نمود که امتیاز بسیار پایینی دارند و محور توصیه آن‌ها ذخیره‌سازی و انبار کود و همچنین کاهش تولید پساب است که ازنظر کارشناس‌های منتخب، چندان قابل توصیه نیستند. عمده استراتژی‌ها، گروه دیگر را تشکیل می‌دهند که بالغ بر ۱۶ استراتژی است و در دامنه نسبتاً محدود ۰/۷۷–۰/۵۹ قرار گرفته‌اند. مجموعه توصیه‌ها در این گروه شامل تغییر ترکیب جیره غذایی و همچنین مجموعه اقدامات در جهت مدیریت کود و پساب است. در حوزه جیره بر استفاده از ترکیب‌های حاوی متان کمتر، تأکید صورت گرفته است و در کنار آن مدیریت کودهای

جمع‌آوری شده نیز مورد اشاره قرار گرفته است. این در حالی است که در گروه اول که دارای بالاترین اولویت بودند کودروبی حایز اهمیت عنوان شد. به بیـان دیگـر کـودروبی در اهمیـت اول و مجموعـه اقدامات پس از کودروبی در اهمیت بعدی قرار گرفته‌اند. نکته حایز اهمیت آن است که تغییـر ترکیـب جیره از نظر اهمیت پس از کودروبی قرار دارد.

جدول ۸. شاخص نزدیکی محاسبه‌شده و رتبه‌بندی استراتژی‌ها در فعالیت‌های زیربخش دام و طیور

استراتژی (اقدام)	رتبه	امتیاز
انجام کودروبی به‌موقع در سیستم‌های پرورشی گاوهای شیری و انتقال آن به سپتیک	۱	۰/۹۴
انجام کودروبی به‌موقع در سیستم‌های پرورشی گوسفند و بز و انتقال آن به سپتیک	۱	۰/۹۴
انجام کودروبی به‌موقع در سیستم‌های بسته پرورشی پرندگان و ماکیان صنعتی	۱	۰/۹۴
جمع‌آوری و انتقال منظم پساب‌ها از محوطه نگهداری دام و پرندگان	۴	۰/۸۷
توسعه و تعلیف گیاهان مرتعی کاهنده متان، تعلیف گیاهان زراعی علوفه‌ای پرکیفیت و عمل‌آوری بقایای گیاهی خشبی	۵	۰/۸۲
بهینه کردن نسبت علوفه به کنسانتره، کربن به نیتروژن، نیتروژن به گوگرد و انرژی به پروتئین	۶	۰/۷۷
عدم استفاده از ذرت علوفه‌ای (جهت تهیه سیلاژ) با نیتروژن قابل دسترس زیاد که ناشی از تغذیه بی‌رویه و نابجای کودهای نیتروژنه به‌ویژه در مراحل منتهی به برداشت گیاه است و استفاده از افزودنی‌هایی که پایداری هوازی سیلاژ را افزایش می‌دهد.	۷	۰/۷۵
ارتقاء سیستم تهویه و جمع‌آوری کود	۸	۰/۷۴
افزایش ظرفیت مخازن پساب جهت افزایش زمان عمل‌آوری آن	۹	۰/۷۳
ایجاد تعادل میان ظرفیت مراتع برای چرا و شمار دام، استفاده از مراتع با کیفیت مناسب و احیای مراتع نامرغوب	۹	۰/۷۳
انتقال کودهای جامد به بیرون از محل پرورش و ایجاد فاصله با زهکش‌ها و جریان آبی	۹	۰/۷۳
کاهش مصرف جیره‌ای نیتروژن و فسفر در گوسفند و بز (با رعایت اصول جیره‌نویسی)	۱۲	۰/۷۰
پوساندن بی‌هوازی کودهای دامی	۱۳	۰/۶۹
بهینه‌کردن نسبت رطوبت در جیره و استفاده از خوراک از پیش تخمیرشده مانند انواع سیلاژ گیاهان علوفه‌ای، غلات و منابع پروتئینی تخمیرشده و ...	۱۴	۰/۶۸
استفاده از مکمل‌ها و افزودنی‌های خوراک در تغذیه (انواع مکمل‌های چربی، آیونوفرهایی مانند مونسین و لاسالوسید، متابولیت‌های ثانویه گیاهی مانند تانن، اسانس‌ها و عصاره گیاهان دارویی و...)	۱۴	۰/۶۸
کاهش مصرف جیره‌ای نیتروژن و فسفر در گاوهای شیری و گوشتی (با رعایت اصول جیره‌نویسی)	۱۶	۰/۶۵
شستشوی روزانه محوطه نگهداری گاوهای شیری و سالن‌های شیردوشی	۱۶	۰/۶۵
تبدیل کود دامی به کمپوست	۱۶	۰/۶۵
کاهش مصرف جیره‌ای نیتروژن و فسفر در پرندگان و ماکیان صنعتی	۱۹	۰/۶۲
پوشاندن انبار ذخیره‌سازی کود دامی	۲۰	۰/۶۲
استفاده از تکنیک‌های جداسازی بخش جامد کود دامی از مایعات همراه آن	۲۱	۰/۵۹
ذخیره‌سازی و انبارکردن کودهای جامد در مکان مخصوص و جداسازی پساب	۲۲	۰/۱۴
کاهش حجم تولید پساب در فضای نگهداری دام و پرندگان	۲۳	۰/۱۲

مأخذ: یافته‌های پژوهش



نمودار ۳. استراتژی‌های کاهش انتشار آلودگی در فعالیت‌های زیربخش دام و طیور

نتیجه‌گیری و پیشنهادها

هرچند عمده انتشار آلاینده‌ها ناشی از مصرف انرژی است (Farajzadeh & Bakhshoodeh, 2015) اما درعین‌حال نباید از انتشار حاصل از محل تولید نیز غفلت نمود. این مهم در مطالعات، چندان مورد توجه نبوده و عمده تمرکز به انتشار آلودگی ناشی از مصرف انرژی معطوف شده است. بخش کشاورزی در انتشار آلاینده‌ها از محل تولید به‌خصوص در مورد آلاینده‌های متان و اکسیددی‌نیتروژن بسیار بااهمیت است (Farajzadeh, 2012). زیربخش دام و طیور در بخش کشاورزی در انتشار متان و زیربخش زراعت و باغبانی در انتشار اکسیددی‌نیتروژن مشارکت بالایی دارند و لذا باید در درون این زیربخش‌ها اقدامات مجزایی صورت گیرد. انتشار بالای آلاینده‌ها به‌ویژه از زیربخش دام می‌تواند موجب آلودگی منابع آب روستایی شده (Zhang et al., 2017) و

سکونت‌گاه‌های روستایی را در معرض خطر قرار دهد. مطالعات در سطح کلان و بخشی تا حدود زیادی قابل دسترس است؛ اما مطالعه با زمینه عملیاتی در سطح مزرعه چندان مورد توجه نبوده است.

این مطالعه با هدف تدوین استراتژی‌هایی در سطح مزرعه برای کاهش انتشار در فعالیت‌های کشاورزی صورت گرفت. برای این منظور اقدام‌های ممکن برای کاهش انتشار آلاینده‌های متان و اکسیددی‌نیتروژن در سطح مزرعه بر اساس نظر کارشناس‌ها تدوین شد. در تدوین استراتژی‌های کاهش انتشار از فعالیت‌های کشاورزی، فعالیت‌های زراعی و باغی و فعالیت‌های زیربخش دام و طیور مورد توجه قرار گرفت. استراتژی‌های احتمالی بر اساس ادبیات موجود و نظر کارشناس‌ها، تهیه و برای جمع‌آوری اطلاعات مورد نیاز جهت رتبه‌بندی آن‌ها از کارشناس‌های منتخب استان فارس نظرسنجی و با استفاده از روش FAHP، رتبه‌بندی صورت گرفت.

نهاده‌های شیمیایی در انتشار اکسیددی‌نیتروژن در ایران نیز در زیربخش زراعت و باغبانی نقش برجسته‌ای دارند؛ اما در مجموع میزان انتشار آلاینده‌ها در زیربخش دام و طیور بالاتر است. به گونه‌ای که عموماً میزان انتشار زیربخش دام و طیور فراتر از دو برابر زیربخش زراعت و باغبانی است. این در حالی است که در ادبیات موجود تحلیل انتشار از زیربخش دام و طیور در سطح زیربخش چندان مورد توجه نبوده است. در این مطالعه سعی شد اولویت‌های عملیاتی یا اقدام‌های ممکن برای کاهش انتشار در سطح مزرعه با اتکا به نظر کارشناس‌های منتخب برای فعالیت‌های زراعت و باغبانی و دام و طیور، شناسایی شود. به‌منظور مقایسه استراتژی‌ها نیز چهار معیار "اثرگذاری"، "زمان‌بر بودن"، "هزینه‌بر بودن" و "سهولت در اجرا" انتخاب شد. نکته حایز اهمیت آن بود که "اثرگذاری" و "هزینه‌بر بودن" به‌عنوان مهم‌ترین عنصر در هر دو گروه فعالیت‌ها، معرفی شدند و حدود سه‌چهارم از وزن به این دو معیار تعلق گرفت. در مطالعه ژانگ و همکاران (Zhang et al., 2017) مشخص شد که هزینه تدابیر و استراتژی‌های کاهش انتشار آلودگی کشاورزی در انگلیس و ولز به‌عنوان یک محدودیت مطرح است. این یافته ممکن است به معنی تردید بالا در نزد متخصص‌ها باشد. بر اساس این نتیجه می‌توان ضرورت بومی‌سازی استراتژی‌ها را برای اثربخشی بیشتر خاطرنشان کرد. نکته جالب توجه در این یافته‌ها، اهمیت پایین "سهولت در اجرا" بود و اجرای استراتژی‌ها در حوزه اجرا، کم‌چالش ارزیابی شده است. استراتژی‌های حایز اولویت بالا در مورد فعالیت‌های زراعی و باغی شامل مدیریت استفاده از ماشین‌آلات و ادوات، مدیریت بقایای گیاهی و به‌طور کلی مدیریت در سطح مزرعه بود؛ درحالی‌که نوع گیاه و نوع نهاده کود شیمیایی در اهمیت پایین‌تری قرار گرفتند. در مطالعه تی و همکاران (Ti et al., 2019)، نوع نهاده‌های کود شیمیایی دارای بالاترین اولویت ارزیابی شد. نکته حایز اهمیت این

است که به اعتقاد کارشناس‌ها، کاهش انتشار در سطح مزرعه با اقدامات مدیریتی قابل دستیابی است و ممکن است برای کاهش بیشتر انتشار، اقدامات بیشتری همانند تغییر نوع گیاه لازم باشد. تدابیر مدیریتی در مطالعه آدگ‌بیی و همکاران (Adegbeye et al., 2020) نیز مورد تأکید قرار گرفته است. اولویت بالاتر در مورد فعالیت‌های دامی نیز به نحوه کودروبی و مدیریت فضای نگهداری دام داده شد و تغییر جیره دام در اهمیت بعدی قرار گرفت. این در حالی است که در مطالعه تی و همکاران (Ti et al., 2019) و همچنین وی و همکاران (Wei et al., 2018)، تغییر جیره دام حایز بالاترین اولویت برای کاهش انتشار ارزیابی شد. در مجموع می‌توان گفت اقدام‌های مبتنی بر مدیریت در هر دو گروه از فعالیت‌ها، حایز اولویت بالا ارزیابی شدند.

پیشنهاد کارشناسان مبنی بر تمرکز بر روی مدیریت در داخل واحدهای تولیدی از این منظر که وضع قوانین محدودکننده انتشار همانند چین (Wei et al., 2018) را به آینده موکول می‌کند مطلوب است؛ زیرا استفاده از قوانین محدودکننده هم متضمن هزینه برای اجرا است و هم اینکه با توجه به شرایط شکننده واحدهای تولیدی کشاورزی از امکان اجرای محدودی برخوردار است. البته درعین‌حال نباید فراموش کرد که بسیاری از نهاده‌های کشاورزی در هر دو زیربخش دام و زراعت و باغبانی مشمول پرداخت یارانه هستند و افزون بر دلایل اقتصادی در جهت کاهش پرداخت یارانه، ضرورت کاهش انتشار آلودگی نیز ممکن است اصرار بر کاهش پرداخت یارانه را تشدید کند. افزون بر ایراد نظری به پرداخت یارانه می‌توان عدم پرداخت هدفمند آن را نیز مورد پرسش قرار داد. با توجه به یافته‌های مطالعه می‌توان پیشنهادهای زیر را ارائه نمود:

- بر روی شیوه مدیریت واحدها در جهت کاهش انتشار آلاینده‌ها در هر دو گروه از فعالیت‌ها تأکید شده است؛ لذا توصیه می‌شود برای واحدهای تولیدی و به‌ویژه واحدهای سنتی زمینه آشنایی و آموزش شیوه‌های نوین مدیریت واحد فرآهم شود.
- امکان کاهش شدت انتشار در سطح مزرعه در میان هر دو گروه کارشناس‌های زراعت و باغبانی و دام و طیور قابل دستیابی عنوان شده است اما تردید آن‌ها به طور عمده در خصوص "اثربخشی" اقدام‌ها است و لذا تدوین استراتژی‌های عملیاتی بومی قابل توصیه است. در این خصوص می‌توان از همین گروه از متخصص‌ها برای تدوین این استراتژی‌ها کمک گرفت.
- علی‌رغم آن‌که در حال حاضر نهاده‌های کشاورزی از دریافت یارانه بهره‌مند هستند؛ اما کارشناسان هزینه‌های اجرای سیاست‌های کاهش انتشار را به‌عنوان یک چالش مطرح کرده‌اند.

در این خصوص پیشنهاد می‌شود پرداخت یارانه‌ها به‌صورت هدفمند و با جهت‌گیری کاهش انتشار آلاینده‌ها پرداخت شود.

منابع

1. Adegbeye, M.J., Ravi Kanth Reddy, P., Obaisi, A.I., Elghandour, M.M.M.Y., Oyebamiji, K.J., Salem, A.Z.M., Morakinyo-Fasipe, O.T., Cipriano-Salazar, M. and Camacho-Díaz, L.M. (2020). Sustainable agriculture options for production, greenhouse gasses and pollution alleviation, and nutrient recycling in emerging and transitional nations- An overview. *Journal of Cleaner Production*, 242: 118319.
2. Al-Kaisi, M.M. and Yin, X. (2005). Tillage and crop residue effects on soil carbon and carbon dioxide emission in corn-soybean rotations. *Journal of Environmental Quality*, 34 (2): 437-445.
3. Baumann, M., Gasparri, I., Piquer-Rodríguez, M., Pizarro, G.G., Griffiths, P., Hostert, P. and Kuemmerle, T. (2017). Carbon emissions from agricultural expansion and intensification in the Chaco. *Global Change Biology*, 23(5): 1902-1916.
4. Cassel, T., Trzepla-Nabaglo, K. and Flocchini, R. (2003). PM_{10} emission factors for harvest and tillage of row crops. 12 th International Emission Inventory Conference. University of California at Davis, Davis, CA 95616.
5. Central Bank of Iran (2017). Available at: http://tsd.cbi.ir/Display/Content.aspx
6. Chang, D.Y. (1996). Application of the extent analysis method on fuzzy AHP. *European Journal of Operational Research*, 95(3): 649-655.
7. Chen, W., Meng, J., Han, X., Lan, Y. and Zhang, W. (2019). Past, present, and future of biochar. *Biochar*, 1: 75-87.
8. Dalir, Z. (2018). Determinants and management of forest and rangeland fires in Fars province. Master Thesis of Agricultural Economics, Faculty of Agriculture, Shiraz University. (Persian)
9. Dumortier, J., Dokoohaki, H., Elobeid, A., Hayes, D. J., Laird, D. and Miguez, F. E. (2020). Global land-use and carbon emission implications from biochar application to cropland in the United States. *Journal of Cleaner Production*, 258: 120684.
10. FAO. (2017). Avilabale at: http://www.fao.org/faostat/en/#home.
11. Farajzadeh, Z. (2012). Environmental and welfare impacts of trade and energy policy reforms in Iran. PhD Thesis of Agricultural Economics, Faculty of Agriculture, Shiraz University. (Persian)

12. Farajzadeh, Z. and Bakhshoodeh, M. (2015). Economic and environmental analyses of Iranian energy subsidy reform using Computable General Equilibrium (CGE) Model. *Energy for Sustainable Development*, 27: 147-154.
13. Fischer, G., Winiwarter, W., Ermolieva. T., Cao, G.Y. and Qui, H. (2010). Integrated modeling framework for assessment and mitigation of nitrogen pollution from agriculture: Concept and case study for China. *Agriculture, Ecosystem and Environment*, 136 (1–2): 116–124.
14. Ghodsipoor, H. (2005). Analytic hierarchy process (AHP). Tehran: Amirkabir University Publications. (Persian)
15. Gogus, O. and Boucher, T.O. (1998). Strong transitivity, rationality and weak monotonicity in fuzzy pairwise comparisons. *Fuzzy Sets and Systems*, 94(1): 133-144.
16. Huang, X., Song, Y., Li, M., Li, J., Huo, Q., Cai, X., Zhu, T., Hu, M. and Zhang, H. (2012). A high-resolution ammonia emission inventory in China. *Global Biogeochemical Cycles*, 26 (1): GB1030.
17. Iran's Energy Balance (2014). Deputy of Electricity and Energy Affairs, Ministry of Energy. Avilabale at: http://pep.moe.org.ir.
18. Iranian Ministry of Agriculture (2008). Available at: https://www.maj.ir/Index.aspx?page_=form&lang=1&PageID=11583&tempname=amar&sub=65&methodName=ShowModuleContent.
19. Johnson, R.A. and Wichern, D.W. (2014). Applied multivariate statistical analysis (Vol. 6). UK: Pearson London.
20. Kumara, T.M.K., Kandpal, A. and Pal, S. (2020). A meta-analysis of economic and environmental benefits of conservation agriculture in South Asia. *Journal of Environmental Management*, 269: 110773.
21. Kurttila, M., Pesonen, M., Kangas, J. and Kajanis, M. (2000). Utilizing the analytic hierarchy process (AHP) in SWOT analysis: A hybrid method and its application to a forest certification case. *Forest Policy and Economics*, 1: 41-52.
22. Landau, S., and Everitt, B.S. (2003). A handbook of statistical analyses using SPSS. Chapman and Hall/CRC.
23. Lelieveld, J., Evans, J.S., Fnais, M., Giannadaki, D. and Pozzer, A. (2015). The contribution of outdoor air pollution sources to premature mortality on a global scale. *Nature*, 525: 367-371.
24. Ma, S.Z. and Feng, H. (2013). Will the decline of efficiency in China's agriculture come to an end? An analysis based on opening and convergence. *China Economic Review*, 27: 179–190.

25. McNunn, G., Karlen, D.L., Salas, W., Rice, C.W., Mueller, S., Muth Jr., D. and Seale, J.W. (2020). Climate smart agriculture opportunities for mitigating soil greenhouse gas emissions across the U.S. Corn-Belt. *Journal of Cleaner Production*, 268: 122240.
26. Najafi Alamdarlo, H. (2016). Water consumption, agriculture value added and carbon dioxide emission in Iran, environmental Kuznets curve hypothesis. *International Journal of Environmental Science and Technology*, 13(8): 2079-2090.
27. Nayak, D., Saetnan, E., Cheng, K., Wang, W. and Koslowski, F. (2015). Management opportunities to mitigate greenhouse gas emissions from Chinese agriculture. *Agriculture Ecosystem and Environ*ment, 209: 108–124.
28. Pakrooh, P., Hayati, B., Pishbahar, E., Nematian, J. and Brännlund, E.R. (2020). Focus on the provincial inequalities in energy consumption and CO_2 emissions of Iran's agriculture sector. *Science of The Total Environment*, 715: 137029.
29. Patra, A.K. (2017). Accounting methane and nitrous oxide emissions, and carbon footprints of livestock food products in different states of India. *Journal of Cleaner Production*, 162: 678-686.
30. Saaty, T.L. (1980). The analytic hierarchy process. New York: McGraw-Hill.
31. Saaty, T.L. (1996). Decision making with dependence and feedback: The analytic network process, Pittsburg: RWS Publications.
32. Sevkli, M., Oztekin, A., Uysal, O., Torlak, G., Turkyilmaz, A. and Delen, D. (2012). Development of a fuzzy ANP based SWOT analysis for the airline industry in Turkey. *Expert Systems with Applications*, 39(1): 14-24.
33. Ti, C., Xia, L., Chang, S. X. and Yan, X. (2019). Potential for mitigating global agricultural ammonia emission: A meta-analysis. *Environmental Pollution*, 245: 141-148.
34. United Nations (2010). United Nations Development Program, Department of Environment. Iran second national communication to United Nations framework convention on climate change (UNFCCC). National Climate Change Office, Department of Environment, Tehran, Iran.
35. United Nations (2017). United Nations Development Program, Department of Environment. Iran second national communication to United Nations framework convention on climate change (UNFCCC). National Climate Change Office, Department of Environment, Tehran, Iran.
36. Vlontzos, G. and Pardalos, P. M. (2017). Assess and prognosticate greenhouse gas emissions from agricultural production of EU countries, by

implementing, DEA Window analysis and artificial neural networks. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 76: 155-162.

37. Wan, N.F., Ji, X.Y., Jiang, J.X., Qiao, H.X. and Huang, K.H. (2013). A methodological approach to assess the combined reduction of chemical pesticides and chemical fertilizers for low-carbon agriculture. *Ecological Indicators*, 24: 344–352.
38. Wei, S., Bai, Z.H., Chadwick, D., Hou, Y., Qin, W., Zhao, Z.Q., Jiang, R.F. and Ma, L. (2018). Greenhouse gas and ammonia emissions and mitigation options from livestock production in peri-urban agriculture: Beijing- A case study. *Journal of Cleaner Production*, 178: 515-525.
39. World Bank (2016). Available at: https://data.worldbank.org/indicator/EN.ATM.CO_2E.KT?locations=1W.
40. Xu, B. and Lin, B. (2017). Factors affecting CO_2 emissions in China's agriculture sector: Evidence from geographically weighted regression model. *Energy policy*, 104: 404-414.
41. Zhang, Y. and Fang, G. (2013). Research on spatial-temporal characteristics and affecting factors decomposition of agricultural carbon emission in Suzhou city, Anhui province, China. *Applied Mechanics and Materials*, 291-294: 1385-1388.
42. Zhang, Y., Collins, A.L., Johnes, P.J. and Jones, J.I. (2017). Projected impacts of increased uptake of source control mitigation measures on agricultural diffuse pollution emissions to water and air. *Land Use Policy*, 62: 185–201.