

تأثیر شاخص‌های زیست‌محیطی بر پایداری کشاورزی استان گلستان

سیده محدثه ضیایی^۱؛ احمدعلی کیخا^۲؛ فرشید اشراقی^{۳*}؛ محمود احمدپور برازجانی^۴؛ سامان ضیایی^۲؛
حمید محمدی^۴

۱- دانشجوی دکتری گروه اقتصاد کشاورزی، دانشگاه زابل، زابل، ایران

۲- دانشیار گروه اقتصاد کشاورزی، گروه اقتصاد کشاورزی، دانشگاه زابل، زابل، ایران

۳- استادیار گروه اقتصاد کشاورزی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، گرگان، ایران

۴- استادیار گروه اقتصاد کشاورزی، گروه اقتصاد کشاورزی، دانشگاه زابل، زابل، ایران

(تاریخ دریافت ۹۹/۱۱/۰۲-تاریخ پذیرش ۱۰/۰۷/۰۰)

چکیده:

در این پژوهش با گردآوری داده‌ها از سازمان جهاد کشاورزی، سازمان آب و فاضلاب، اداره هواشناسی و استانداری استان گلستان در سال ۱۳۹۹ به بررسی شاخص‌های زیست‌محیطی استان گلستان پرداخته شد. براساس نتایج، شاخص‌های مصرف سموم شیمیایی، مصرف کودهای شیمیایی و غلظت نیترات در آب‌های زیرزمینی تأثیر منفی، و شاخص‌های سطح زیر کشت، مقدار بارندگی، خاک‌ورزی حفاظتی و تنوع گیاهان زراعی تأثیر مثبت بر شاخص‌های محیط زیستی داشته‌اند. همچنین نتایج استفاده از روش تحلیل سلسله‌مراتبی (AHP) نشان داد که بیشترین رتبه را شاخص خاک‌ورزی حفاظتی با وزن ۱۶ و کمترین رتبه را شاخص سطح زیر کشت با وزن ۱۱/۹ به‌دست آورده‌اند. شهرستان گنبد براساس شاخص‌های پایداری محیط زیستی با ۸۹ درصد بیشترین اولویت و شهرستان بندر ترکمن با ۵۶ درصد کمترین اولویت را داشتند. نتایج تحلیل حساسیت نیز نشان داد که شاخص‌ها در دامنه ۱ تا ۵ درصد تغییر، ثبات و سازگاری دارند و اولویت‌بندی تغییر نمی‌کند. در نهایت نیز شهرستان‌های استان گلستان به دسته پایدار، نسبتاً پایدار و ناپایدار طبقه‌بندی شدند. پیشنهاد می‌شود که براساس نتایج این پژوهش، شاخص‌های زیست‌محیطی در استان گلستان مدنظر قرار گیرد و بهترین تصمیم‌گیری‌ها در زمینه پایداری کشاورزی استان گلستان صورت گیرد.

کلید واژگان: استان گلستان، پایداری کشاورزی، تحلیل سلسله‌مراتبی، شاخص‌های زیست‌محیطی

۱. مقدمه

وجود دارد که آیا اکوسیستم‌های کشاورزی در طولانی مدت می‌توانند توانایی بهره‌وری تولید را حفظ کنند یا خیر (Fricker, 1998). حفظ منابع تولید و همزمان، داشتن حداکثر بهره‌وری و پذیرش اجتماعی ویژگی کلیدی کشاورزی پایدار است. (Passel Van, 2008)

ارزیابی پایداری می‌تواند چالش‌های توسعه منطقه‌ای را از ابعاد اجتماعی، اقتصادی و محیطی تجزیه و تحلیل کند و یک مبنای مهم برای برنامه‌ریزی منطقه‌ای فراهم آورد (Chen et al., 2019). اصطلاح پایداری محیط زیست ابتدا توسط بانک جهانی به صورت اصطلاح «توسعه مسئولیت محیط زیست» استفاده شد. پس از آن، عبارت «توسعه پایدار محیط زیست» توسط آن سازمان به کار گرفته شد. (Serageldin and Streeter, 1993) سرانجام، مفهوم پایداری محیط زیست توسعه یافت (Goodland, 1995). به گفته گودلند، پایداری زیست محیطی «به منظور جلوگیری از آسیب رساندن به انسان، به دنبال رفاه انسان توسط حفاظت از منابع و مواد اولیه مورد نیاز انسان است و از تجاوز بیش از حد زباله‌های انسانی جلوگیری می‌کند». انتخاب شاخص‌های مؤثر، کلید اصلی موفقیت هر برنامه نظارتی است (Dale and Beyeler, 2001). شاخص باید با دقت انتخاب شود تا بتواند به صراحت، وضعیت پایداری را اندازه‌گیری و توصیف کند.

برخی از معیارهای دیگر برای انتخاب شاخص‌ها در پژوهش Liverman و همکاران (1988) بررسی شده‌اند. ارزیابی کمی پایداری منطقه‌ای می‌تواند پایداری سیستم‌های پیچیده جامعه طبیعت را در انواع مقیاس زمانی و مکانی ارزیابی کند (Ness, 2007) و (Wu et al., 2014). این ارزیابی‌ها به

در سال‌های دهه ۱۹۹۰ مشخص شد که موضوع توسعه کشاورزی و محیط زیستی باید به طور مشترک مدنظر قرار گیرد، زیرا بیشتر منابع طبیعی در کشورهای در حال توسعه توسط کشاورزان و گله‌دارانی اداره می‌شود که از آنها امرار معاش می‌کنند. یکی از زمینه‌های اصلی تحقیق اقتصاددانان و سیاستمداران، تحقیق درباره قوانین و مقرراتی بود که امکان می‌داد منابع طبیعی توسط کشاورزان و دامداران و دیگران به روشی پایدار از نظر محیطی مدیریت شوند (Ostom, 1990). پاسخگویی به نیازهای فزاینده و تغییر یافته غذایی ناشی از رشد جمعیت، افزایش درآمد و تغییر سبک زندگی، چالشی اساسی برای تحقق چشم‌انداز ۲۰۲۰ است. پایداری دست‌کم شامل سه بُعد مستقل اما بهم‌پیوسته است: محیط زیست، اقتصادی و اجتماعی (Zhen, 2003). پایداری در کشاورزی مفهومی پیچیده است و هیچ دیدگاه مشترکی درباره ابعاد آن در بین محققان وجود ندارد. با وجود این، شاخص‌های مختلفی برای اندازه‌گیری پایداری کشاورزی ارائه شده است. (Hayati et al., 2010). براساس تعریف فائو (1999)، کشاورزی پایدار به معنای مدیریت و حفاظت از منابع طبیعی پایه و هدایت دگرگونی‌های تکنولوژیکی و نهادی است، به شکلی که ارضای نیازهای انسانی نسل‌های حاضر و آینده را تضمین کند. به عبارت دیگر، می‌توان گفت کشاورزی پایدار سیستمی است که از منابع به شکلی کارآمد و مؤثر استفاده می‌کند و در عین تولید مواد غذایی سالم، کیفیت محیط زیست انسان و منابع را برای نسل‌های آینده حفظ می‌کند و پویایی اقتصادی نیز دارد. در کشاورزی پایدار این دغدغه و نگرانی

پژوهش‌هایی در داخل و خارج انجام گرفته است. Moradi و همکاران (2020) به بررسی سیستم پشتیبانی تصمیم‌گیری چندمعیاره برای انتخاب سایت مزرعه بادی و تجزیه و تحلیل حساسیت در استان البرز پرداختند و نشان دادند که منطقه جنوب شرقی استان از جمله کرج و شهرستان نظرآباد، بیشترین اولویت را در استان البرز دارد. تجزیه و تحلیل حساسیت نشان داد که نتایج به‌طور کلی قابل اعتماد بودند. Tzouraman و همکاران (2020) به ارزیابی عملکرد پایداری در مزرعه با استفاده از نمونه‌هایی از سیستم پایداری کشاورزی کشور یونان با استفاده از روش AHP پرداختند. نتایج ارزیابی پایداری نشان داد که پشتیبانی از معیارهای استراتژیک مزرعه به‌منظور حمایت از کشاورزان و سیاستگذاران در جهت برنامه‌های توسعه پایداری در اولویت قرار می‌گیرند. Pacini و همکاران (2003) با استفاده از شاخص‌های محیط زیستی و اقتصادی، پایداری سه نظام زراعی ارگانیک، تلفیقی و متعارف را در منطقه‌ای در ایتالیا ارزیابی کردند. نتایج نشان داد که مزارع ارگانیک از نظر از دست دادن نیتروژن، خطر حشره‌کش، تنوع گیاهان علفی و دیگر شاخص‌های زیست‌محیطی عملکرد بهتری از نظام‌های زراعی تلفیقی و متعارف داشته‌اند. Izac و Swift (1994) فهرستی از شاخص‌های پایداری را برای سیستم‌های زراعی صحرای آفریقا ارائه دادند. این فهرست شامل دسته‌بندی‌های عملکرد، سود، پایگاه منابع خاک، آب آشامیدنی و وضعیت تغذیه‌ای است. Fallah Alipour و همکاران (2019) در استان کرمان به سنجش پایداری کشاورزی با استفاده از شاخص‌های ترکیبی فازی پرداختند. Fallahi و همکاران (2017) رتبه‌بندی پایداری

سیاستگذاران کمک می‌کند تا روابط پیچیده بین مؤلفه‌های مختلف توسعه پایداری منطقه‌ای را درک کرده و راهنمایی‌های مؤثری برای سیاستگذاری ارائه کنند. (Devuyst 2001; Wu *et al.*, 2012). ارزیابی پایداری هر منطقه نه تنها باید به وضعیت پایداری کلی توجه داشته باشد، بلکه باید تفاوت‌های توسعه اجتماعی، اقتصادی و اکولوژیکی در منطقه را نیز بررسی کند (Wu, 2013). امروزه شاخص‌های پایداری به‌عنوان ابزارهایی کاربردی در فرایند ارزیابی و اجرای سیستم‌های کشاورزی پایدار، نقش مهم و رو به رشدی دارند (Roy and Chan, 2012). استان گلستان مستعد کشت محصولات مختلف زراعی و باغی است و فعالیت‌های گوناگون زراعی در آن اجرا می‌شود که این حجم گسترده فعالیت‌های کشاورزی با ایجاد ناپایداری کشاورزی و طبیعی از جمله تخریب محیط زیست و منابع طبیعی، آلودگی منابع آب و خاک، شور شدن اراضی، کاهش سفره آب زیرزمینی و سرانجام ناپایداری کشاورزی همراه است. ارزیابی وضعیت موجود مزارع و بررسی مشکلات و مسائل موجود در کشاورزی و وضعیت منابع طبیعی، آب و خاک استان گلستان با استفاده از شاخص‌های پایداری می‌تواند توانمندی‌ها، مسائل و مشکلات هر منطقه و نحوه مدیریت آنها را تعیین کند. بنابراین، بررسی شاخص‌های زیست‌محیطی از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است و بی‌توجهی به این موضوع به دلیل محدودیت منابع و لزوم استفاده صحیح و بهینه از آنها اثرهای جبران‌ناپذیری خواهد داشت. به همین دلیل، تحقیق حاضر در پی محاسبه و ارزیابی شاخص‌های زیست‌محیطی در استان گلستان و نیز تعیین اولویت و اهمیت تأثیر شاخص‌ها در پایداری زیست‌محیطی در استان گلستان است. در این زمینه

معرف‌هایی هستند که جنبه کلان دارند و هر یک از آنها یکی از ابعاد پایداری را در سطح بین‌المللی و جهانی می‌سنجد. شاخص‌های گروه دیگر جنبه خرد دارند و به سنجش پایداری در سطح پایین‌تر (نهاده، مزرعه و میدان) با کمک داده‌های اولیه می‌پردازند (Irvani and Darban Astaneh, 2004). در هر پژوهش نحوه به‌کارگیری و محاسبه شاخص‌های پایداری متفاوت است و به هدف‌های پژوهش بستگی دارد. محدوده پژوهش در این تحقیق، استان گلستان در شمال کشور است که شامل چهارده شهرستان است. پس از بررسی تحقیقات مختلف، شاخص‌های زیست‌محیطی تحت بررسی در این پژوهش در هر چهارده شهرستان این استان به‌شرح زیر استفاده شدند: شاخص سطح زیر کشت (Pourzand and Bakhshoudeh, 2011)، شاخص خاک‌ورزی^۱ حفاظتی (Taki et al. 2009; Edvardes et al., 2019)، شاخص مصرف کود و سموم (Edvardes et al., 2000)، شاخص درجه تنوع گیاهان زراعی (Edvardes et al., 2000)، شاخص غلظت نترات در آب‌های زیرزمینی (Nassabian et al., 2014) و مقدار بارش سالیانه (Gafforov, 2020). به این منظور وزن هر یک از شاخص‌های پایداری زیست‌محیطی کشاورزی با به‌کارگیری فرایند تحلیل سلسله‌مراتبی (AHP) تعیین شد. داده‌های مورد نیاز در این پژوهش از منابع مختلفی مانند سازمان جهاد کشاورزی، سازمان آب منطقه‌ای، مدیریت حفظ نباتات، سازمان هواشناسی و آمارنامه استان گلستان در سال ۱۳۹۸

محیط زیست را در استان‌های منتخب ایران در سال‌های ۱۳۸۵ و ۱۳۹۰ با استفاده از روش AHP و TOPSIS بررسی کردند. براساس نتایج، در سال ۱۳۸۵ استان‌های گلستان و اردبیل و در سال ۱۳۹۰ استان‌های گلستان و کرمان به‌ترتیب پایداری و ناپایداری استان‌های کشور بودند. در پژوهش Rashidpour (2015) در زمینه ارزیابی پایداری توسعه کشاورزی در استان آذربایجان غربی با استفاده از شاخص‌های مختلف در سه بُعد اجتماعی، اقتصادی و زیست‌محیطی، مشخص شد که پایداری زیست‌محیطی توسعه کشاورزی، وضعیت شکننده‌ای دارد. Pourzand و Bakhshoudeh (2011) در استان فارس با استفاده از روش رهیافت برنامه‌ریزی توافقی به ارزیابی پایداری کشاورزی پرداختند و دریافتند که محدودیت منابع آب در استان فارس، تخریب و فرسودگی خاک از طریق فرسایش آبی و خاکی، آلودگی، شوری، کاهش مواد آلی، کاهش حاصلخیزی و تخریب فیزیکی خاک، امکان دستیابی به امنیت غذایی را برای جمعیت رو به رشد استان و کشور دچار مشکل می‌کند. بنابراین با توجه به شرایط اقلیمی و محیطی استان باید تولید هر گونه ماده غذایی همسو و مطابق با کشاورزی پایدار و منوط به استفاده صحیح و منطقی از منابع استان باشد.

۲. مواد و روش‌ها

۲-۱. شاخص‌های زیست‌محیطی پایداری

کشاورزی

به‌طور کلی شاخص‌های دارای کاربرد در پایداری کشاورزی را می‌توان به دو گروه شاخص‌های کلان و شاخص‌های خرد طبقه‌بندی کرد. شاخص‌های کلان

^۱- خاک‌ورزی به‌معنای تغییر ویژگی‌های فیزیکی خاک برای ایجاد شرایط مساعد و مناسب محیطی به‌منظور جوانه زدن دانه، سبز شدن و رشد و نمو گیاه است که این عملیات با ابزارها و روش‌های متفاوتی انجام می‌گیرد (Edvardes et al., 2000).

گردآوری شد.

۲-۲- فرایند تحلیل سلسله‌مراتبی^۲

فرایند تحلیل سلسله‌مراتبی یا AHP از معروف‌ترین فنون تصمیم‌گیری چندمنظوره است که توسط توماس ال‌ساعتی در دهه ۳۰ سده نوزدهم میلادی ابداع شد. فرایند تحلیل سلسله‌مراتبی بازتاب‌دهنده رفتار طبیعی و تفکر انسانی است. این روش، مسائل پیچیده را براساس آثار متقابل آنها بررسی کرده و آنها را به شکلی ساده تبدیل می‌کند و به حل آنها می‌پردازد. فرایند تحلیل سلسله‌مراتبی در هنگامی که عمل تصمیم‌گیری با چند گزینه رقیب و معیار تصمیم‌گیری روبه‌روست کاربرد دارد. اساس این روش تصمیم‌گیری، مقایسه‌های زوجی است. به‌کارگیری این روش مستلزم پنج گام عمده زیر است:

الف) مدل‌سازی: فرایند تحلیل سلسله‌مراتبی نیازمند شکستن یک مسئله با چندین شاخص به سلسله‌مراتبی از سطوح است. سطح بالا بیانگر هدف اصلی فرایند تصمیم‌گیری است. سطح دوم، نشان‌دهنده شاخص‌های عمده و اساسی است و سطح آخر گزینه‌های تصمیم را ارائه می‌کند (Mehregan, 2005)؛

ب) قضاوت ترجیحی (مقایسه‌های زوجی): با مقایسه‌های دوجه‌دو بین عناصر تصمیم (مقایسه زوجی) و تخصیص امتیازات عددی که نشان‌دهنده ارجحیت بین دو عنصر تصمیم است، صورت می‌گیرد. برای این کار به‌طور معمول از مقایسه گزینه‌ها با شاخص‌های i ام نسبت به گزینه‌ها یا شاخص‌های j ام استفاده می‌شود؛

ج) محاسبات وزن‌های نسبی: تعیین وزن عناصر

تصمیم نسبت به هم از راه مجموعه‌ای از محاسبات عددی. گام بعدی محاسبات لازم برای تعیین اولویت هر یک از عناصر تصمیم با استفاده از داده‌های ماتریس‌های مقایسه‌های زوجی است؛

د) ادغام وزن‌های نسبی: به‌منظور رتبه‌بندی گزینه‌های تصمیم، وزن نسبی هر عنصر در وزن عناصر بالاتر ضرب می‌شود تا وزن نهایی آن به‌دست آید. با اجرای این مرحله برای هر گزینه، مقدار وزن نهایی به‌دست می‌آید؛

سازگاری در قضاوت‌ها (پایایی): نرخ ناسازگاری نشان می‌دهد که تا چه حد می‌توان به اولویت‌های حاصل از مقایسه‌ها اعتماد کرد. اگر نرخ ناسازگاری کمتر از ۰/۱۰ باشد سازگاری مقایسه‌ها قابل قبول است؛ در غیر این صورت، در مقایسه‌ها باید تجدید نظر شود.

۲-۳. طبقه‌بندی شهرستان‌های استان گلستان از

لحاظ پایداری زیست‌محیطی

به‌منظور ارزیابی کیفی پایداری کشاورزی، براساس شاخص فاصله انحراف معیار از میانگین ($ISDM^3$) بر مبنای میانگین و انحراف معیار و با استفاده از رابطه زیر، شهرستان‌های استان گلستان در طبقه‌های مختلف پایداری به چهار گروه ناپایدار، نسبتاً ناپایدار، نسبتاً پایدار و پایدار طبقه‌بندی شدند (قمر، ۲۰۰۲).

$$A: \text{Min} \leq A < \text{Mean} - \text{St.d}$$

$$B: \text{Mean} - \text{St.d} \leq B < \text{Mean}$$

$$C: \text{Mean} \leq C < \text{Mean} + \text{St.d}$$

$$D: \text{Mean} + \text{St.d} \leq D < \text{Max}$$

۳. نتایج

۳-۱. محاسبه شاخص‌های پایداری

با توجه به آمار و اطلاعات به‌دست‌آمده از چهارده

³Interval of Standard Deviation from the Mean

²Analytic Hierarchy Process

جدول ۱- ماتریس شاخص‌های پایداری زیست‌محیطی استان گلستان در سال ۱۳۹۹

مقدار بارش سالیانه (میلی‌لیتر) گرم بر لیتر	شاخص غلظت نیترات در آب‌های زیرزمینی (درصد)	شاخص تنوع گیاهان زراعی (درصد)	شاخص مصرف سموم (لیتر در هکتار)	شاخص مصرف کود (کیلو در هکتار)	شاخص خاک‌ورزی حفاظتی (درصد)	کل سطح زیر کشت (هکتار)	شاخص‌ها شهرستان
۷۷۳/۲	۹/۸۲	۰/۷۷	۱/۵۵	۰/۲۲	۰/۳۷	۳۰۰۶۶/۲۵	آزادشهر
۵۶۳	۲۴/۶۷	۰/۵۳	۰/۴۱	۰/۲۷	۱/۰۴	۸۲۳۱۵/۳۲	آق‌قلا
۶۲۰/۸	۹/۷۴	۰/۴۸	۲۱/۰۳	۰/۲۱	۰/۴۰	۲۷۶۹۴/۹۶	بندر ترکمن
۶۰۸/۵	۷/۹۵	۱/۰۵	۷/۸۵	۰/۳۳	۰/۳۹	۱۱۲۶۱/۴۸	بندر گز
۱۰۴۱/۵	۵/۲۵	۰/۸۸	۱/۳۷	۰/۲۰	۰/۱۸	۳۱۲۷۰/۷۹	رامیان
۷۳۷/۹	۱۳/۲۹	۰/۷۵	۲/۸۴	۰/۲۸	۰/۱۷	۵۷۷۱۹/۵۸	علی‌آباد
۷۵۱/۹	۵/۰۷	۰/۸۴	۱/۷۱	۰/۳۱	۰/۰۵	۲۶۹۸۷/۴۵	کردکوی
۹۰۸	۱۹/۵۲	۰/۴۸	۰/۶۶	۰/۲۲	۰/۱۹	۶۷۵۹۲/۲۱	کلاله
۱۰۲۱/۲	۳۲/۲۱	۰/۸۴	۰/۵۸	۰/۲۴	۰/۵۰	۲۵۶۶۸/۴۲	گالیکش
۶۳۲/۱	۲۰/۸۱	۰/۹۵	۱/۶۷	۰/۲۶	۰/۰۷	۶۲۹۹۱/۷۶	گرگان
۶۱۰	۸/۴۶	۰/۳۲	۰/۹۲	۰/۱۸	۰/۷۶	۵۳۳۱۱/۸۷	گمیشان
۶۲۳/۷	۱۲/۳۵	۰/۵۶	۰/۳۸	۰/۱۹	۰/۲۸	۱۶۵۷۶۱/۰۷	گنبد کاووس
۵۰۸/۳	۷/۸۰	۰/۴۱	۱/۰۱	۰/۱۴	۰/۵۰	۴۳۶۹۰/۲۵	مراوه‌تپه
۱۰۷۷	۲۴/۷	۰/۶۱	۰/۷۴	۰/۱۳	۰/۱۶	۵۸۶۶۴/۰۷	مینودشت
۱۰۷۷	۳۲/۲۱	۱/۰۵	۲۱/۰۳	۰/۳۳	۱/۰۴	۱۶۵۷۶۱/۰۷	بیشترین
۵۰۸/۳	۵/۰۷	۰/۳۲	۰/۳۸	۰/۱۳	۰/۰۵	۱۱۲۶۱/۴۸	کمترین
۷۴۸/۳۶	۱۴/۳۹	۰/۶۷	۳/۰۵	۰/۲۳	۰/۳۵۶	۵۳۲۱۳/۹۶	میانگین

زراعی در سال‌های اخیر کانون توجه قرار گرفته است (Sadeghi et al., 2019).

۳-۱-۲. شاخص خاک‌ورزی حفاظتی

شاخص خاک‌ورزی حفاظتی شامل کم‌خاک‌ورزی و بی‌خاک‌ورزی و به‌صورت درصد اراضی تحت پوشش سیستم خاک‌ورزی حفاظتی از کل اراضی زیر کشت است. با توجه به نتایج ارائه‌شده در جدول ۱، بیشترین مقدار (۱/۰۴ درصد) این شاخص مربوط به شهرستان آق‌قلا و کمترین مقدار (۰/۰۵ درصد) مربوط به شهرستان کردکوی است. شهرستان آق‌قلا در شمال استان گلستان قرار گرفته و دارای هوای

سازمان جهاد کشاورزی، اداره آب و فاضلاب و هواشناسی استان گلستان، شاخص‌های منتخب محاسبه شد که نتایج در جدول ۱ نشان داده شده است.

۳-۱-۱. شاخص سطح زیر کشت

در استان گلستان شهرستان‌های گنبدکاووس، آق‌قلا، کلاله و گرگان به‌ترتیب بیشترین سطح زیر کشت را دارند. مهم‌ترین محصولات کشاورزی استان گندم، پنبه، دانه‌های روغنی و محصولات باغی است. سیستم بدون شخم به‌عنوان روشی قابل تداوم، پایدار و جایگزین اقتصادی برای عملیات تولید گیاهان

Alternative	Rain (L: .152)	Fertilizer (L: .148)	Area (L: .119)	Tillage (L: .160)	Diversification (L: .153)	Nitrate (L: .123)	Pesticides (L: .145)
✓AzadShahr	.718	.625	.179	.359	.736	.515	.243
✓AghGhela	.524	.500	.493	1.000	.509	.207	.932
✓B.Torkaman	.573	.652	.166	.383	.455	.521	.017
✓B.Gaz	.563	.411	.067	.278	1.000	.639	.051
✓Ramian	.961	.670	.188	.172	.845	.970	.277
✓AliAbad	.680	.491	.345	.167	.718	.385	.136
✓KordKouy	.699	.438	.161	.053	.809	1.000	.226
✓Kaleleh	.845	.607	.408	.182	.464	.260	.576
✓Galikesh	.942	.554	.152	.478	.800	.160	.661
✓Gorgan	.583	.518	.381	.072	.909	.243	.226
✓Gomishan	.563	.759	.323	.732	.309	.604	.418
✓Gonbad	.583	.714	1.000	.273	.536	.414	1.000
✓MaravehTapeh	.476	.991	.265	.483	.400	.284	.379
✓MinouDasht	1.000	1.000	.354	.153	.600	.195	.508

شکل ۱- خروجی نرم‌افزار EXPERT CHOICE در مورد وزن و درجه اهمیت معیارها (شاخص‌های محیط زیستی) (مأخذ:

یافته‌های تحقیق)

آب‌های زیرزمینی در شهرستان‌های گالیکش (۳۲/۲۱ درصد) و آق‌قلا (۲۴/۶۷ درصد) و کمترین غلظت آن در شهرستان‌های کردکوی (۵/۰۷ درصد) و رامیان (۵/۲۵ درصد) است. بیشینه غلظت نیترات از نظر اداره حفاظت محیط زیست و سازمان بهداشت جهانی، برای آب آشامیدنی ۱۰ میلی‌گرم در لیتر است، درحالی که در کشور ما ۴۵ میلی‌گرم در لیتر نیترات، به‌عنوان بیشینه غلظت مجاز در آب آشامیدنی تعیین شده است (Esmaili, 2006).

۳-۱-۶. شاخص تنوع گیاهان زراعی

نتایج محاسبه شاخص تنوع زراعی توسط شاخص شانون- وینر (مجموع حاصل ضرب سهم سطح زیر کشت هر محصول در لگاریتم طبیعی آن) نشان داد که شهرستان‌های بندرگز (۱/۰۵ درصد)، گرگان (۰/۹۵ درصد)، رامیان (۰/۸۸ درصد)، کردکوی و گالیکش (۰/۸۴ درصد) به‌ترتیب بیشترین تنوع گیاهان زراعی را دارند و کمترین تنوع مربوط به شهرستان گمیشان (۰/۳۲ درصد) است.

۳-۱-۷. مقدار بارش سالیانه

با توجه به مقدار بارندگی در استان گلستان،

خشک و نیمه‌خشک است.

۳-۱-۳. شاخص مصرف کودهای شیمیایی

شاخص مصرف کود در واحد سطح هرچه کوچک‌تر باشد، پایداری بیشتر است. بیشترین مصرف کودهای شیمیایی (ازته، فسفات، پتاسه) مربوط به شهرستان‌های بندرگز (۰/۳۳)، کردکوی (۰/۳۱) و آق‌قلا (۰/۲۷) است. این شهرستان‌ها پایداری کمتری دارند. کمترین مصرف کودهای شیمیایی مربوط به شهرستان‌های مراوه‌تپه (۰/۱۴)، گمیشان (۰/۱۸) و گنبد کاووس (۰/۱۹) است که پایداری بیشتری دارند.

۳-۱-۴. شاخص مصرف سموم شیمیایی

هرچه شاخص مصرف سموم کوچک‌تر باشد پایداری بیشتر است. براساس نتایج، شهرستان بندر ترکمن بیشترین مقدار (۲۱/۰۳ لیتر در هکتار) مصرف را دارد که پایداری کمتری را نشان می‌دهد. شهرستان گنبد کاووس کمترین مقدار (۰/۳۸ لیتر در هکتار) را دارد که پایداری بیشتری را نشان می‌دهد.

۳-۱-۵. شاخص غلظت نیترات آب‌های زیرزمینی

نتایج شاخص غلظت نیترات در آب‌های زیرزمینی در جدول ۱ نشان می‌دهد که بیشترین غلظت نیترات در

جدول ۲- درجه اهمیت معیارها (شاخص‌های زیست‌محیطی)

وزن معیارها (درصد)	معیارها
۱۶	خاک‌ورزی حفاظتی
۱۵/۳	تنوع گیاهان زراعی
۱۵/۲	مقدار بارندگی
۱۴/۸	مصرف کودهای شیمیایی
۱۴/۵	مصرف سموم شیمیایی
۱۲/۳	غلظت نیترات در آب‌های زیرزمینی
۱۱/۹	سطح زیر کشت

جدول ۳- امتیاز و اولویت‌بندی شهرستان‌های استان گلستان براساس روش AHP

اولویت هر شهرستان	امتیاز	شهرستان‌ها	اولویت هر شهرستان	امتیاز	شهرستان‌ها
۸	۰/۰۶۸	کلاله	۱	۰/۰۸۹	گنبد
۹	۰/۰۶۸	مراوه‌تپه	۲	۰/۰۸۶	آق‌قلا
۱۰	۰/۰۶۷	کردکوی	۳	۰/۰۸۲	رامیان
۱۱	۰/۰۶۲	بندر گز	۴	۰/۰۷۹	گالیکش
۱۲	۰/۰۶۰	گرگان	۵	۰/۰۷۸	مینودشت
۱۳	۰/۰۵۹	علی‌آباد	۶	۰/۰۷۶	گمیشان
۱۴	۰/۰۵۶	بندر ترکمن	۷	۰/۰۶۹	آزادشهر

در محیط نرم‌افزار EXCEL صورت گرفته است. برای نرمال‌سازی، هر وزن بر مجموع وزن‌های ستون مربوط به خود تقسیم شده است. معیارهای مصرف کود شیمیایی، مصرف سموم و غلظت نیترات که استفاده بیش از اندازه از آنها تأثیر منفی و مخرب بر محیط زیست دارد، برای استفاده در روش AHP، ابتدا معکوس و سپس نرمالیزه شده‌اند.

جدول ۲ درجه ارجحیت هر یک از معیارها را براساس روش مقایسه زوجی نشان می‌دهد. درجه اهمیت معیارها با نظرسنجی از کارشناسان و متخصصان

شهرستان مینودشت (۱۰۷۷ میلی‌لیتر)، رامیان (۱۰۴۱/۵ میلی‌لیتر) و گالیکش (۱۰۲۱/۲ میلی‌لیتر) به ترتیب بیشترین بارندگی را داشته‌اند. کمترین بارندگی مربوط به شهرستان مراوه‌تپه به مقدار ۵۰۸/۳ میلی‌لیتر است.

۲-۳. تشکیل ماتریس تجمعی حاصل از

مقایسه‌های زوجی

شاخص‌های زیست‌محیطی ذکر شده در جدول ۲ شامل هفت معیار اصلی است. نرمالیزه کردن داده‌ها

جدول ۴- طبقه‌بندی پایداری شهرستان‌های استان گلستان

وضعیت پایداری	شهرستان
پایدار	گنبد، آق‌قلا، رامیان
نسبتاً پایدار	گالیکش، گمیشان، مینودشت
نسبتاً ناپایدار	کلاله، کردکوی، بندر گز، آزادشهر، مراوه‌تپه، گرگان
ناپایدار	علی‌آباد کتول، بندر ترکمن

گلستان هستند و معیار سطح زیر کشت با درجه اهمیت ۱۱/۹ درصد، کمترین وزن را در تعیین پایداری استان گلستان دارد.

۳-۳. بررسی پایداری شهرستان‌های استان

گلستان براساس روش AHP

نتایج به‌دست‌آمده از جدول ۳ نشان می‌دهد که پایدارترین و ناپایدارترین شهرهای استان گلستان به‌ترتیب شهرستان گنبد با امتیاز ۸۹ درصد و شهرستان بندر ترکمن با امتیاز ۵۶ درصد هستند. شهرستان‌های آق‌قلا، رامیان، گالیکش و مینودشت به‌ترتیب با امتیاز ۸۲، ۸۶، ۷۹ و ۷۸ درصد در رده‌های بعدی پایداری قرار گرفته‌اند. نرخ ناسازگاری مقایسه‌های زوجی به‌دست‌آمده ۰/۱ است.

۳-۴. طبقه‌بندی شهرستان‌های استان گلستان

جدول ۴ دسته‌بندی شهرستان‌های استان گلستان را در چهار طبقه پایداری زیاد، نسبتاً پایدار، نسبتاً ناپایدار و ناپایداری زیاد نشان می‌دهد. براساس نتایج، شهرستان‌های گنبد، آق‌قلا و رامیان در طبقه پایدار، شهرستان‌های گالیکش، گمیشان و مینودشت در طبقه نسبتاً پایدار، شهرستان‌های کلاله، کردکوی، بندر گز، آزادشهر، مراوه‌تپه و گرگان در طبقه نسبتاً ناپایدار و شهرستان‌های علی‌آباد کتول و بندر ترکمن در طبقه ناپایدار قرار گرفته‌اند.

۴. بحث و نتیجه‌گیری

حوزه محیط زیست به‌دست آمده است. برای این منظور، ابتدا پرسشنامه‌ای طراحی شد و از تعدادی متخصصان و کارشناسان حوزه محیط زیست استان گلستان درخواست شد تا نظر خود را درباره اهمیت یا برتری یک معیار نسبت به معیار دیگر با نشان دادن عددی از ۱ تا ۹ بیان کنند. نرخ ناسازگاری (I. R.^۴)، فرایندی است که براساس آن اعتبار پاسخ پرسش‌شوندگان به مقایسه‌های زوجی سنجیده می‌شود. بیشتر محاسبات AHP براساس قضاوت اولیه تصمیم‌گیرنده که در قالب ماتریس مقایسه‌های زوجی ظاهر می‌شود، صورت می‌پذیرد و هرگونه خطا و ناسازگاری در مقایسه و تعیین اهمیت بین گزینه‌ها و شاخص‌ها، نتیجه نهایی به‌دست‌آمده از محاسبات را مخدوش می‌کند. در این پژوهش نرخ ناسازگاری معیارها مشخص شده و از پرسشنامه‌هایی که نرخ ناسازگاری کوچک‌تر یا مساوی ۰/۱ داشتند، میانگین گرفته شد و با استفاده از نرم‌افزار EXPERT CHOICE وزن معیارها مطابق با جدول ۲ و شکل ۱ به‌دست آمد.

وزن‌های یادشده نشان می‌دهد که معیارهای خاک‌ورزی حفاظتی، تنوع گیاهان زراعی و مقدار بارندگی به‌ترتیب با درجه اهمیت ۱۶، ۱۵/۳ و ۱۵/۲ درصد با کسب بیشترین وزن‌ها از مهم‌ترین شاخص‌های محیط زیستی در تعیین پایداری استان

⁴Incompatibility Rate (I.R.)

استان گلستان از مهم‌ترین استان‌های تولیدکننده محصولات کشاورزی به شمار می‌آید. به دلیل شرایط اقلیمی - محیطی، باید هر گونه تولید مواد غذایی در جهت کشاورزی پایدار منوط به استفاده بهینه و منطقی از منابع استان باشد. همچنین، به‌کارگیری بی‌رویه نهاده‌های تولید، به‌منظور افزایش عملکرد و به‌کارگیری روش‌های نوین فناوری سبب تخریب محیط زیست شده است. این پژوهش براساس شاخص‌های زیست‌محیطی به بررسی وضعیت پایداری استان گلستان پرداخته است. با محاسبه شاخص‌های زیست‌محیطی مشخص شد که هر کدام از شاخص‌ها تا چه حد بر پایداری شهرهای استان گلستان تأثیر مثبت یا منفی می‌گذارند؛ به این صورت که شاخص‌های سطح زیر کشت، خاک‌ورزی حفاظتی، تنوع گیاهان زراعی و مقدار بارندگی تأثیر مثبت، و شاخص‌های مصرف کودهای شیمیایی، مصرف سموم شیمیایی و غلظت نیترات در آب‌های زیرزمینی اثر منفی بر پایداری کشاورزی داشته‌اند. این نتایج همسو با یافته‌های پژوهش Pourzand و همکاران (2012) درباره تأثیر مثبت شاخص‌های سطح زیر کشت، خاک‌ورزی حفاظتی، تنوع گیاهان زراعی، و تأثیر منفی شاخص‌های مصرف کودهای شیمیایی، مصرف سموم شیمیایی و غلظت نیترات در آب‌های زیرزمینی بر پایداری کشاورزی است. نتایج تحقیقات Hosseini و همکاران (2008) و Bafandeh Irandoust و همکاران (2018) نیز تأثیر منفی شاخص‌های مصرف کودهای شیمیایی و سموم شیمیایی بر پایداری کشاورزی را تأیید می‌کند. شهرستان گنبد دارای بیشترین سطح زیر کشت و عملکرد، شهرستان آق‌قلا دارای بیشترین میزان خاک‌ورزی حفاظتی، شهرستان مینودشت

دارای بیشترین مقدار بارندگی، شهرستان بندر گز دارای بیشترین تنوع گیاهان، شهرستان بندر گز دارای بیشترین مصرف کودهای شیمیایی، شهرستان بندر ترکمن دارای بیشترین مصرف سموم شیمیایی و شهرستان گالیکش دارای بیشترین غلظت نیترات در آب‌های زیرزمینی هستند. نتایج تجزیه و تحلیل براساس مدل AHP نتایج نشان داد که هر یک از شاخص‌های زیست‌محیطی درجه اهمیت متفاوتی دارند. در زمینه شاخص پایداری محیط زیستی، بیشترین اهمیت را شاخص خاک‌ورزی حفاظتی (۱۶ درصد) و کمترین اهمیت را شاخص سطح زیر کشت (۱۱/۹ درصد) دارند. همچنین شهرستان گنبد بیشترین و شهرستان بندر ترکمن کمترین رتبه پایداری را دارند. نتایج تحلیل حساسیت نشان داد که در دامنه ۱ تا ۵ درصد تغییر چندانی مشاهده نمی‌شود، ولی در دامنه ۵ تا ۱۰ درصد تغییراتی مشاهده شده و ترتیب اولویت‌بندی نیز تغییر کرده است. شاخص خاک‌ورزی حفاظتی نیز با درصدی افزایش یا کاهش سبب تغییر اولویت‌بندی شهرهای استان گلستان شده است؛ به این صورت که شهرستان گنبد از رتبه ۱ به رتبه ۲ تغییر یافته و رتبه شهرهای دیگر نیز تغییر کرده است. از لحاظ پایداری نیز شهرهای استان گلستان براساس وزن شاخص‌ها و همچنین وزن شهرستان‌ها به چهار طبقه پایداری نسبتاً پایدار، نسبتاً ناپایدار و ناپایدار دسته‌بندی شده‌اند. شهرهای پایدار استان گلستان، گنبد، آق‌قلا و رامیان هستند. با این تحقیقات و با محاسبه و شناسایی شاخص‌های پایداری زیست‌محیطی در استان گلستان و تأثیر آنها در افزایش و کاهش اثر پایداری، می‌توان از آسیب‌های محیط زیستی ناشی از این شاخص‌ها پیشگیری کرد. شاخص مصرف

آب‌های زیرزمینی شهرستان‌های گالیکش و آق‌قلا زیاد است. افزایش تولید و مصرف کودهای شیمیایی در مصارف کشاورزی و نفوذ آنها به داخل خاک و آب، از مهم‌ترین عوامل آلودگی منابع آب به ترکیبات نیتروژن‌دار است. تخلیه فاضلاب‌های شهری و صنعتی به محیط زیست نیز از دیگر منابع آلودگی آب به نترات به حساب می‌آید (Tirado, 2007). ترکیبات نیتروژنه از راه‌های مختلفی وارد آب‌های سطحی می‌شوند. در آینده این احتمال وجود دارد که غلظت نترات از استاندارد مجاز فراتر رود و سبب ایجاد مشکلاتی برای سلامت افراد شود. بنابراین پیشنهاد می‌شود عوامل دخیل در افزایش غلظت نترات در آب‌های زیرزمینی به‌دقت بررسی شود و با معرفی راهکارهای صحیح، در زمینه کاهش و کنترل نترات آب‌های زیرزمینی اقدام شود.

References

Bafandeh Irandoust, S., Farahmand, K., & Homayounifar, M. 2018. Determining the indicators of sustainability of environmental resources in the agricultural sector of Mashhad city using fuzzy fraction planning. *Man and the environment*, 16(3), 95-111. (In Persian).

Chen, K.P., 2007. Study on Environmental Management Maturity Model of Construction Enterprise; Huazhong University of Science and Technology: Wuhan, China. 358 p.

Chen, Z., Ming, X., Zhang, X., Yin, D., Sun, Z., 2019. A rough-fuzzy DEMATEL-ANP method for evaluating sustainable value requirement of product service system. *Journal of Cleaner Production* 228, 485-508.

Dale, V.H., Beyeler, S.C., 2001. Challenges in the development and use of ecological indicators. *Ecological Indicators*, 262, 201-204.

Devuyst, D., Hens, L., de Lannoy., 2001. How Green Is the City? Sustainability Assessment and the Management of Urban Environments; Columbia University Press: New York. 457 p.

کودهای شیمیایی در شهرستان‌های بندر گز، کردکوی، آق‌قلا و بندر ترکمن بیشترین میزان را داشت؛ بنابراین توصیه می‌شود که مصرف کود و سموم شیمیایی به کمترین حد رسانده شود یا کود و سموم، به‌صورت سهمیه‌بندی در اختیار کشاورزان قرار گیرد. با استفاده از ابزارهای کنترلی مختلف مانند مجوزها و سهمیه‌ها و کنترل بازاریابی و فروش با هدف به حداقل رساندن مصرف سموم و کود شیمیایی در محصولات کشاورزی نیز می‌توان از شدت آسیب به محیط زیست کاست. این کار، در حفظ و سلامت انسان نیز مفید و ضروری است. شهرستان گمیشان دارای کمترین تنوع گیاهان زراعی است که بر این اساس، توصیه می‌شود سیاستگذاری با هدف افزایش تنوع گیاهان زراعی در این شهرستان صورت گیرد. غلظت نترات در

Edvardez, C.A. 2000. Sustainable agriculture. Translated and edited by Awad Kouchaki, Mohammad Hosseini and Abolhassan Hashemi-Dezfuli. Mashhad, Mashhad University press, 164 p. (In Persian).

Esmaeili, A.R., 2006. Environmental study and measurement of residual nitrogen fertilizer on soil and water resources of Fars province. Management and Planning Organization. (In Persian).

Expert Choice Inc., 2005. Expert Choice Inc., Website (on-line).

FallahAliPour, S., Mehrabi Boshroabadi, H. Zare Mehrjerdi, M.R., Hayati, D., 2019. A model for measuring agricultural sustainability using fuzzy composite indices (Case study: Kerman province). *Agricultural Knowledge and Sustainable Production* 29(3), 253-269. (In Persian).

Fallahi Beheshti, M.B., Marashi, S.A., 2017. Environmental Sustainability Ranking in Selected Provinces of Iran: Comparison of AHP and TOPSIS Methods. *Journal of Quantitative Economics* 14(1), 97-118. (In Persian).

- FAO. 1999. Organic Agriculture. Committee on Agriculture, Report 15th, Rome, Italy. 43 p.
- FAO. 2017. Conservation agriculture in central Asia: Status, policy and institutional support and strategic framework for its promotion. FAO Sub Regional Office for Central Asia (FAO-SEC), Ankara. 57 p.
- Fricker., A. 1998. Measuring up to Sustainability. *Futures* 30 (4), 367-375.
- Gafforov, K.S., Bao, A., Rakhimov, S., Liu, T., Abdullaev, F., Jiang, L., & Mukanov, Y., 2020. The Assessment of Climate Change on Rainfall-Runoff Erosivity in the Chirchik-Akhangan Basin, Uzbekistan. *Sustainability* 12(8), 33-69.
- Golestan Province Government. 2009. Land use planning of Golestan province. Hamoon Jointstock Company and Golestan Province Government. Part 2, 239-515. (In Persian).
- Golestan Province Governorate. 2020. Golestan Province Statistical Yearbook. (In Persian).
- Goodland, R., 1995. The concept of environmental sustainability. *Annual Review of Ecology and Systematics* 26, 1-24.
- Hayati, D., Ranjbar, Z., Karami, E., 2010. Measuring agricultural sustainability. In biodiversity, biofuels, agroforestry and conservation agriculture (pp. 73-100). Springer, Dordrecht. 400 p.
- Hosseini, S.M., Kalantari, K., Naderi, K., 2008. Investigating the ecological sustainability of the smallholder agricultural system in Salehabad-Hamadan section. *Iranian Journal of Agricultural Sciences* 38(1), 91-98. (In Persian).
- Iravani, H., Darban Astaneh, A.R., 2004. Measuring, analyzing and explaining productivity of wheat production systems (case study: Tehran Province). *Iranian Journal of Agricultural Science* 35(1), 39-52. (In Persian).
- Izac, A.-M. N., Swift, M.J., 1994. On agricultural sustainability and its measurement in small-scale farming in subSaharan Africa. *Ecological Economics* 11, 105-125 (in Chinese).
- Liverman, D.M., Hanson, M.E., Brown, B.J., Merideth, R.W.Jr., 1988. Global sustainability: towards measurement. *Environmental Management* 12,133-143 (In Chinese).
- Mehregan, M.R., 2005. *Advanced Operations Research*, University Book Publishing. 256 p. (In Persian).
- Moradi, S., Yousefi, H., Noorollahi, Y., Rosso, D., 2020. Multi-criteria decision support system for wind farm site selection and sensitivity analysis: Case study of Alborz Province, Iran. *Energy Strategy Reviews* 29, 58-67. (In Persian).
- Nassabian, Sh., Keykha, H., 2014. The effect of cultivation pattern modification on fertilizer and water reduction in agricultural activities: A case study of Fars province. *Quarterly Journal of Environmental Science and Technology* 16(3): 75-91. (In Persian).
- Ness, B., Urbel-Piirsalu, E., Anderberg, S., Olsson, L., 2007. Categorising tools for sustainability assessment. *Ecol. Econ*, 60, 498-508.
- Ostrom, E., 1990. *Governing the Commons: The Evolution of Institutions for Collective Action*. New York: Cambridge University Press. 271 p.
- Pacini, C., Wossink, A., Giesen, G., Vazzana, C., Huirne, R., 2003. Evaluation of sustainability of organic, integrated and conventional farming systems: a farm and field-scale analysis. *Agriculture, Ecosystems & Environment* 95(1), 273-288.
- Pourzand, F., Bakhshoudeh, M., 2011. Assessing the agricultural sustainability of Fars province using an agreed planning approach. *Journal of Agricultural Economics Research* 4(1), 1-26. (In Persian).
- Qamar, M., 2002. Global trends in agricultural Extension: challenges facing Asia and the pacific region. Keynote paper presented at FAO regional Expert consultation on agricultural extension, Bangkok 16 -19 July.

- Rashidpour, L., 2015. Assessing the level of sustainability of agricultural development in West Azerbaijan province using indicators, *Agricultural Extension and Education Research* 8(4), 63-73. (In Persian).
- Roy, R., Chan, N.W., 2012. An assessment of agricultural sustainability indicators in Bangladesh: Review and synthesis. *The Environmentalist* 32(1), 99-110.
- Sadeghi, S., Kiani, F., Asadi, M.A., Kamkar, B., Ebrahimi, S., 2019. Investigation of the effect of different tillage systems on soil biological and enzymatic activity. *Journal of Soil Management and Sustainable Production* 9(2), 151-164. (In Persian).
- Serageldin, I., Streeter, A., 1993. Valuing the environment: proceedings of the first annual conference on environmentally sustainable development. In *Environmentally sustainable development proceedings series* (No. 2).
- Shannon, C., Wiener, E., 1963. *The mathematical theory of communications*, Univ. Illinois. Urbana, 117p.
- Taki, O., Asadi, A., Javadi, A., 2009. Attach a row of vacuum work in advance to the disc for planting corn in the tillage system. *Journal of Agricultural Engineering Research* 11(4), 77-90. (In Persian).
- Tirado, R., 2007. Nitrates in drinking water in the Philippines and Thailand. Greenpeace South East Asia, Greenpeace Research Laboratories; 2007 Nov. Report No.: 10/2007.
- Tzouramani, I., Mantziaris, S., Karanikolas, P., 2020. Assessing Sustainability Performance at the Farm Level: Examples from Greek Agricultural Systems. *Sustainability*, 12(7), 1-22.
- Van Passel, S., 2008. Assessing farm sustainability with value oriented methods. 12th Congress of the European Association of Agricultural Economists.
- World Bank. 1992. *World development report 1992*. Oxford University Press, New York Xu FL. 178 p.
- Wu, J., 2013. Landscape sustainability science: Ecosystem services and human well-being in changing landscapes. *Landscape. Ecology* 28, 999-1023.
- Wu, J.G., Guo, X.C., Yang, J., Qian, G., Niu, J., Liang, C., Zhang, Q., Li, A., 2014. What is sustainability science? *Chinese Journal of Applied Ecology* 25, 1-11.
- Wu, J.G., Wu, T., 2012. Sustainability indicators and indices: An overview. In *Handbook of Sustainability Management*; Pace University: New York, NY, USA,; pp. 65–73. NY, USA. 86 p.
- Zhen, L., Routray, J.K., 2003. Operational indicators for measuring agricultural sustainability in developing countries. *Environmental Management* 32(1), 34-46.