علوم محیطی ۴، تابستان ۱۳۸۳
ENVIRONMENTAL SCIENCES 4, Summer 2004
۱-۱۰

شاخص‌های پایداری، ابزاری برای کمی‌کردن مفاهیم کشاورزی بوم‌شناختی

عبدالمجید مهدوی دامغانی
دانشجوی دکترای زراعت، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد
علیرضا کوچکی
دکترای کشاورزی، استاد دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد
پرویز رضوانی مقدم
دکترای کشاورزی، دانشیار دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد

چکیده
پیامدهای نامطلوب حاصل از فعالیت‌های انسانی در بخش کشاورزی، بیش از گذشته لزوم تغییر الگوی فکری غالب بر نظام‌های رایج کشاورزی را ایجاب می‌کند. در این میان کشاورزی بوم‌شناختی که جوهره اصلی آن را مفهوم پایداری تشکیل می‌دهد در دو دهه اخیر مورد توجه قرار گرفته است. توجه به مبانی زیست بوم‌شناختی، حفظ چرخه مواد در خاک، بهره‌گیری از برهمکنش‌های پیچیده زیستی و ایجاد نظام‌های تولیدی خوداتکا و خودکفا، اصولی هستند که در مدیریت نظام‌های کشاورزی رعایت می‌شوند. شاخص‌های پایداری که مقادیر کمی و ساده شده روابط پیچیده حاکم بر نظام‌های کشاورزی هستند، مناسب‌ترین ابزار جهت تعیین مقدار و دوام پایداری نظام‌های کشاورزی می‌باشند. در این پژوهش به چگونگی طراحی و کاربرد شاخص‌های پایداری پرداخته شده است و شاخص‌های پایداری کشاورزی که در ایران برای مطالعه نظام‌های تولید گندم در استان فارس، نظام‌های زراعی سه استان مازندران، اصفهان، آذربایجان غربی و نیز مطالعه پایداری نظام‌های کشاورزی استان همدان تدوین شده‌اند، در یک بخش، و شاخص‌های پایداری که در دیگر نقاط جهان تدوین و طراحی شده‌اند در بخش دیگر به تفصیل مورد بحث و بررسی قرار گرفته‌اند. این پژوهش نشان می‌دهد که در نظام‌های کشاورزی بوم سازگار آینده، شاخص‌های پایداری مهم‌ترین ابزار مدیریت نظام کشاورزی از نخستین مرحله طراحی نظام تا آخرین نقطه که بازار فروش محصولات کشاورزی است، خواهند بود.

کلیدواژه‌ها: شاخص پایداری، پایداری، کشاورزی بوم‌شناختی، توسعه پایدار.

Sustainability Indices: Tools for Quantifying Concepts of Ecological Agriculture

Abdolmajid Mahdavi Damghani, M.Sc.
Ph.D. student, Ferdowsi University of Mashhad
Alireza Koocheki, Ph.D.
Professor of Agronomy, Ferdowsi University of Mashhad
Parviz Rezvani Moghadam, Ph.D.
Associate professor of Agronomy, Ferdowsi University of Mashhad

Abstract
Recent trends indicate that agrotechnological inventions during last decades have resulted in unfavourable consequences which are reflectant of human activities. So, there is a need to shift dominant thinking in conventional agriculture toward a sustainability – based thinking. Ecological agriculture is an alternative for conventional agroecosystems, and based on sustainability. The principles of ecological agriculture are using biological approach, maintaining matter and nutrient cycling in soils, utilization of complex biological interactions and developing self – reliant and self – resilient agroecosystems. In this article, the concepts of sustainability and sustainable development have described and quantifying and application of sustainability indices which have designated in Iran and other countries are discussed. The essay shows that sustainability indices will become an important element in the incoming agroecosystems.

Keywords: Sustainability Index, Sustainability, Ecological Agriculture, Sustainable Development.

مقدمه

پیشرفت‌های فنی کشاورزی طی چند دهه گذشته باعث بروز پیامدهای نامطلوب بوم‌شناختی، اجتماعی، اقتصادی و کاهش کارایی مصرف نهاده‌ها شده است (Webster, 1997؛ Giampietro, 1997؛ Walter, 2002؛ کوچکی، ۱۳۸۲). راهبردهای رایج توسعه مبتنی بر فناوری نه تنها مشکلات موجود را حل نکرده است، بلکه در بسیاری از موارد و به ویژه در کشورهای در حال توسعه پیامدهای نامطلوب‌تری به دنبال داشته و باعث به حاشیه رانده شدن جوامع روستایی و بهره‌گیری کشاورزان از عملیات و فرآیندهایی شده است که آسیب‌هایی جدی به کیفیت بوم نظام‌های کشاورزی آنان وارد ساخته است (کوچکی، ۱۳۷۶؛ Lefroy *et al*, 2000).

بنابراین، به نظر می‌رسد باید الگوی فکری غالب بر نظام‌های رایج کشاورزی را تغییر داد و به سمت طراحی نظام‌های کشاورزی مبتنی بر پایداری حرکت کرد. پایداری که جوهره اصلی کشاورزی بوم‌شناختی است به توانایی حفظ ثبات تولید یک نظام کشاورزی در هنگام بروز مداخلات و اختلالات جدی نظیر تنش‌های شدید محیطی گفته می‌شود (Senanayake, 1991). بر این اساس، پایداری در یک نظام کشاورزی هنگامی حاصل می‌شود که فعالیت‌های کشاورزی آن نظام در طول زمان دچار اختلال و رکود نشود و منابع مورد نیاز تولید همواره در سطح مطلوبی در دسترس باشد (Hansen, 1996؛ کرمی، ۱۳۷۶). پایداری بر اندیشه جامع‌نگری (کل گرایی)[1] استوار است که در آن به مجموعه اجزای نظام به صورت یک کلیت یکپارچه نگریسته و برهمکنش‌های آن در نظر گرفته می‌شوند (کوچکی، ۱۳۷۶؛ کوچکی *و همکاران*، ۱۳۸۱).

برای رسیدن به پایداری لازم است در نظام تولید کشاورزی تغییراتی ایجاد شود که این تغییرات شامل افزایش کارایی مصرف نهاده‌ها (مانند کود دهی نواری، تنظیم تراکم کاشت)، جایگزینی نهاده‌های تجدیدناپذیر و شیمیایی با نهاده‌ها و عملیات بوم سازگار و در نهایت طراحی مجدد نظام‌های کشاورزی براساس اصول بوم‌شناختی است (MacRae *et al*, 1990). میزان پایداری نظام‌های مختلف کشاورزی بر اساس این رهیافت در جدول شماره ۱ ارائه شده است.

۲- شاخص‌های پایداری در کشاورزی

امروزه نیاز به کمی کردن بسیاری از جنبه‌های کیفی پایداری بوم‌شناختی کشاورزی احساس می‌شود. اما پایداری یک مفهوم است و نمی‌توان آن را به طور مستقیم اندازه‌گیری کرد (Berroteran and Zinck, 1997)؛ بنابراین باید شاخص‌هایی مناسب انتخاب شوند که بتوانند مقدار و دوام پایداری را تعیین کنند. یک شاخص پایداری[2] کشاورزی مجموعه‌ای از سنجه‌های پایداری[3] است که پایداری یک بوم نظام کشاورزی را به شکل کمی تعیین می‌کند. سنجه پایداری طبق تعریف به مقدار کمی متغیرهای فیزیکی، شیمیایی، زیستی، اجتماعی و اقتصادی گفته می‌شود که با کمی کردن و ساده‌سازی داده‌های انبوه مربوط به روابط پیچیده حاکم بر بوم نظام‌های کشاورزی، تفسیر وضعیت جاری نظام را ساده و امکان‌پذیر می‌کند (کوچکی،۱۳۸۲؛ Kleinman *et al*, 1995؛ Pannell and Schillizi, 1999). در واقع هر شاخص پایداری، یک مقدار عددی است که از مجموع چندین سنجه پایداری تشکیل شده است و در قالب یک کمیت واحد، پایداری نظام کشاورزی را نشان می‌دهد. سنجه‌های پایداری که در تدوین شاخص پایداری به‌کار می‌روند باید کلیه مسایل بنیادی یک نظام کشاورزی نظیر عوامل زراعی، بوم‌شناختی، اقتصادی و فناوری‌های استفاده شده را مورد بررسی و تحلیل قرار دهند و هر یک را به شکل کمی بیان کنند (Pannell and Schillizi, 1999). دو نکته در ارتباط با کمی کردن پایداری وجود دارد: نخست، از آنجا که پایداری ماهیتی چند بعدی دارد (Ehui and Spencer, 1993؛ کوچکی، ۱۹۹۸؛ De Koeijer *et al*, 2002؛ Pannell and Glenn, 2000)، هیچ سنجه‌ای به تنهایی نمی‌تواند پایداری را کمی کند. دوم، انتخاب سنجه‌های مناسب از میان سنجه‌های متعددی که برای پایش و اندازه‌گیری پایداری وجود دارد همواره بحث برانگیز و دشوار بوده است. بنابراین در انتخاب سنجه‌ها باید بر اساس ابعادی از پایداری که بیشتر مورد توجه است، عمل کرد.

شاخص‌های متعددی برای تعیین پایداری بوم نظام‌های کشاورزی پیشنهاد شده است، اما تنها معدودی از آن‌ها این امکان را برای پژوهشگران و کشاورزان فراهم می‌کنند که بتوانند به سرعت و سادگی وضعیت پایداری نظام‌های کشاورزی

جدول شماره ۱- میزان پایداری و ویژگی‌های اصلی نظام‌های کشاورزی (MacRae *et al*, 1990).

نظام کشاورزی	مقدار پایداری	ویژگی‌ها
کشاورزی رایج (تک کشتی)	کم	پاسخ‌های خارجی به مشکلات داخلی، جدایی بخش‌های نظام از یکدیگر، ناآگاهی، عدم بهره‌گیری از ظرفیت‌های موجود در نظام
نظام شخم حداقل و کودپاشی نواری	متوسط	افزایش کارایی مصرف نهاده‌ها
نظام‌های پایدار کم نهاده نظام‌های کشاورزی بوم‌شناختی	زیاد	جایگزینی نهاده‌های بوم سازگار
کشاورزی ارگانیک کشاورزی بیودینامیک	زیاد	طراحی مجدد بوم نظام و ایجاد مدیریت مطلوب
کشاورزی طبیعت مدار	بسیار زیاد	پاسخ‌های داخلی به مشکلات داخلی، یکپارچگی اجزای نظام، توازن و تعادل، آگاهی، کنش‌گر به پس‌خورها، رهیافت‌های محلی برای رفع مشکلات جهانی

خود را پایش و مطالعه کنند. استفاده عملی از شاخص‌های پایداری در سطح وسیع و فراگیر مستلزم رعایت چند نکته مهم هنگام طراحی این شاخص‌هاست که عبارتند از (Nicholls *et al*, 2004 ؛Liverman *et al*, 1998):

۱- به سهولت توسط کشاورزان قابل استفاده باشند،

۲- دقت بالایی داشته باشند و به راحتی تفسیر شوند،

۳- استفاده از آن‌ها راهگشای تصمیم‌گیری‌های جدید مدیریتی باشد،

۴- حساسیت آن‌ها به اندازه‌ای باشد که به خوبی تغییرات محیطی و اثرات عملیات مدیریتی را بر محیط و گیاه زراعی نشان‌دهند،

۵- بتوان از آن‌ها در فهم روابط و فرآیندهای بوم‌شناختی (نظیر رابطه بین تنوع زیستی و ثبات جمعیت آفات) بهره گرفت.

برای طراحی یک شاخص پایداری باید عناصر اصلی شکل دهنده ساختار و کارکرد بوم نظام‌های کشاورزی را تعیین و بر اساس آن‌ها ، سنجه‌های مناسبی تدوین کرد. معمولاً عناصر اصلی و کلیدی نظام‌های کشاورزی را سه جزء تشکیل می‌دهد (کوچکی، ۱۳۸۲):

۱- عناصر زیستی فیزیکی مانند اقلیم، خاک، پوشش گیاهی،

۲- عناصر فناوری و مدیریت، مانند عملیات مدیریتی آب و خاک

۳- عناصر اجتماعی - اقتصادی، مانند تحصیلات کشاورزان، درآمد و اهداف تولید کشاورزی.

در مرحله بعد باید نقاط بحرانی نظام کشاورزی شناسایی شود. نقاط بحرانی، ویژگی‌ها یا فرآیندهایی هستند که تولید، ثبات، خود اتکایی، و سازگاری بوم نظام کشاورزی را افزایش داده یا محدود می‌کنند (Masera, 1999) (جدول شماره ۲).

پس از شناسایی این نقاط حساس و بحرانی، برای هر یک از آن‌ها سنجه‌ای جهت کمی کردن طراحی و در نهایت با تلفیق ریاضیاتی مقادیر عددی مجموعه سنجه‌ها، یک شاخص پایداری تدوین می‌شود. نحوه امتیازدهی به هر سنجه برای محاسبه امتیاز نهایی شاخص پایداری در پژوهش‌های مختلف، متفاوت بوده

جدول شماره ۲- نقاط بحرانی برای پایداری نظام‌های کشاورزی (Masera, 1999).

ویژگی	نقاط بحرانی
تولید	عملکرد پایین کیفیت پایین محصول / هزینه زیاد تولید
ثبات و توان بازیابی	زوال و فرسایش خاک / آلودگی آب و خاک جنگل زدایی/ خسارت شدید آفات و علف‌های هرز / بی‌ثباتی قیمت‌ها در بازار
سازگاری	قیمت بالای نهاده‌ها اتکای زیاد به منابع مالی خارجی
عدالت	مهاجرت تبعیض بین طبقات مختلف اجتماع
خوداتکایی	زوال ساختارهای اجتماعی فقدان اتحادیه‌ها و تعاونی‌های تولیدی عدم امنیت شغلی کشاورزان

و به اهداف مطالعاتی بستگی دارد. به عنوان نمونه، انجمن بین‌المللی حفظ محیط‌زیست در سال ۱۹۹۶ برای هر سنجه امتیازی بین ۰ تا ۱۰۰ در نظر گرفته است که به بهترین حالت امتیاز ۱۰۰ و به ضعیف‌ترین وضعیت پایداری، امتیاز صفر تعلق می‌گیرد.

اگر بیشترین امتیاز را برای سنجه ۱۰۰ و پایین‌ترین امتیاز را برای بدترین و ضعیف‌ترین حالت صفر بدانیم، باید از این فرمول استفاده کرد:

الف) اگر بیشترین (بزرگ‌ترین) عدد برای ما بهترین و کمترین (کوچک‌ترین) عدد برای ما نامطلوب‌ترین باشد:

$$\text{امتیاز سنجه} = \frac{\text{کمترین عدد} - \text{عدد به‌دست آمده}}{\text{حداقل} - \text{حداکثر}} \times ۱۰۰$$

به عنوان مثال چنانچه در تحقیقی برای تعیین امید به زندگی یک منطقه، حداقل و حداکثر امید به زندگی به ترتیب ۳۰ و ۹۰ سال تعیین شود و عدد به دست آمده یک منطقه ۶۱ سال باشد، آنگاه امتیاز سنجه امید به زندگی در این منطقه از ۱۰۰ نمره برابر است با:

$$\text{امتیاز سنجه} = (\frac{۶۱ - ۳۰}{۹۰ - ۳۰}) \times ۱۰۰ = ۵۲$$

ب) اما اگر کمترین (کوچک‌ترین) عدد برای ما بهترین باشد:

$$\text{امتیاز سنجه} = [۱ - (\frac{\text{کمترین عدد} - \text{عدد به‌دست آمده}}{\text{حداقل} - \text{حداکثر}})] \times ۱۰۰$$

به عنوان نمونه اگر در یک پژوهش حداقل و حداکثر فرسایش خاکی صفر و ۱۰۰ درصد منظور شود و مقدار فرسایش منطقه ۷/۴ درصد باشد، آنگاه امتیاز سنجه فرسایش خاک در این منطقه از صد نمره برابر است با:

$$\text{امتیاز سنجه} = [۱ - (\frac{۴/۷ - ۰}{۱۰۰ - ۰})] \times ۱۰۰ = ۹۵/۳$$

نکته‌ای که باید مدنظر قرار گیرد این است که تمام سنجه‌ها در یک سطح مطالعه نمی‌شوند. بعضی سنجه‌ها مانند مقدار نیتروژن (نیترات) آب زیرزمینی در مقیاس منطقه یا آبخیز مورد مطالعه و سنجش قرار می‌گیرند؛ سنجه‌ای مانند میانگین درآمد سرانه در سطح جامعه و سنجه‌ای نظیر درصد ماده آلی خاک در مقیاس کرت ارزیابی و تعیین می‌شود (Masera, 1999).

۲-۱ مطالعه شاخص‌های پایداری در ایران

یکی از نخستین پژوهش‌های مربوط به کمی کردن پایداری در ایران توسط حیاتی و کرمی (۱۳۷۶) صورت گرفته است. شاخصی که آن‌ها تدوین کرده‌اند به گونه‌ای طراحی شده است که با بهره‌گیری از متغیرهای عام (عواملی که در تولیدات کشاورزی مؤثر بوده و مبنای تولیدات کشاورزی هستند) میزان پایداری نظام‌های کشت گندم را به شکلی کاربردی مورد سنجش و ارزیابی قرار داده است. متغیرهای استفاده شده در این تحقیق، در واقع سنجه‌هایی هستند که در تولیدات کشاورزی نقش دارند. بر اساس این مطالعه، میزان پایداری تابعی از متغیرهای (سنجه‌های) زیر خواهد بود:

$$S = f(\sum_{i=1}^{8} X_i, \sum_{j=1}^{3} y_j)$$

که در آن S میزان پایداری، X_1 تا X_8 به ترتیب عملکرد گندم در واحد سطح، تناوب زراعی، استفاده از بقولات، استفاده از کودهای آلی و حیوانی، استفاده از کود سبز، استفاده از بقایای گیاهی، شخم حفاظتی، روند تغییرات منابع آلی در طول زمان و تغییرات منابع خاکی در طول زمان و y_1 تا y_3 به ترتیب میزان مصرف سموم شیمیایی، مصرف کود شیمیایی نیتروژنه و کود شیمیایی فسفاته هستند. در واقع سنجه‌های X_1 تا X_8 با افزایش خود قادرند پایداری نظام زراعی را افزایش و سنجه‌های y_1 تا y_3 با افزایش مقدار خود می‌توانند پایداری نظام زراعی را کاهش دهند. بنابراین، صورت‌بندی (فرمولاسیون) نهایی شاخص پایداری به قرار زیر است:

$$S = \sum_{i=1}^{8} X_i - \sum_{j=1}^{3} y_j$$

برای کمی کردن هر یک از سنجه‌های یازده‌گانه این پژوهش، سؤالاتی در قالب پرسشنامه طراحی گردیده و با پاسخ‌هایی که از سوی گندم‌کاران به این پرسش‌ها داده شده، سنجه‌ها مورد ارزیابی قرار گرفته‌اند. به عنوان مثال در رابطه با استفاده از کودهای آلی و حیوانی، از گندمکاران سؤال شده که در نظام زراعی خود به چه میزان از کودهای آلی یا حیوانی استفاده می‌کنند. به گزینه استفاده همیشگی ۴ امتیاز، گزینه اغلب امتیاز ۳، گزینه به ندرت امتیاز ۲ و گزینه هیچ‌گاه امتیاز ۱ داده شده است. سایر سنجه‌ها نیز به همین صورت کمی شده‌اند. آنگاه با جمع جبری مجموعه پاسخ‌ها، امتیاز میزان پایداری نظام زراعی هر کشاورز گندمکار به دست آمده است. بر اساس این امتیازها، پایداری نظام‌های زراعی در چهار سطح بسیار ناپایدار، نسبتاً ناپایدار، نسبتاً پایدار و پایدار دسته‌بندی گردیده است. نکته قابل توجه در این پژوهش این است که بر خلاف تصور رایج که نظام‌های پایدار عملکرد کمتری دارند، مشاهده می‌شود که میزان عملکرد گندم نظام‌های پایدار تفاوتی با نظام‌های ناپایدار ندارد، به شکلی که عملکرد گندم در نظام‌های پایدار که اصول پایداری و کشاورزی بوم‌شناختی در آن‌ها رعایت شده است ۲/۴ و عملکرد نظام‌های رایج ۳/۴ تن در هکتار بوده است (حیاتی و کرمی، ۱۳۷۶). بنابراین، مدیریت مطلوب نظام کشاورزی می‌تواند ضمن دستیابی به عملکرد قابل قبول، پایداری نظام زراعی را نیز تضمین کند.

در پژوهشی دیگر، مقدار پایداری نظام‌های کشاورزی سه استان مازندران، اصفهان و آذربایجان غربی به صورت کمی و در قالب یک شاخص پایداری تعیین شده است (کوچکی، ۱۹۹۸). در این پژوهش ۳۱ سنجه مختلف زراعی، بوم‌شناختی و اقتصادی اجتماعی مورد ارزیابی قرارگرفته است. در هر استان ۲۰ روستا و ۲۰۰ مزرعه انتخاب شده است. سنجه‌هایی که در این پژوهش در قالب پرسشنامه مورد ارزیابی قرار گرفته‌اند عبارتند از: عوامل خاک، آب، تولید، تنوع زیستی زراعی، عملیات پایدار و عوامل اجتماعی و اقتصادی. هر یک از سنجه‌ها بر اساس روش پیشنهادی IUCN (IUCN, 1996؛ بخش ۲ همین مقاله) بین صفر تا ۱۰۰ امتیاز بندی شدند و امتیاز کلی سه استان با یکدیگر مورد مقایسه قرار گرفت (جدول شماره ۳).

بر اساس نتایج به دست آمده، پایداری نظام‌های کشاورزی اصفهان، مازندران و آذربایجان غربی به ترتیب ۶۲، ۶۰ و ۵۱ امتیاز گرفتند که در گروه نسبتاً پایدار قرار می‌گیرند.

فرشاد و زینک (۲۰۰۱) سنجه‌هایی جهت ارزیابی پایداری کشاورزی تدوین کرده و آن را در مطالعه‌ای در همدان به‌کار بسته‌اند. در این مطالعه از یک مدل پایداری شش ستونی استفاده شده‌است. به اعتقاد آن‌ها، یک نظام پایدار از ۶ پایه سلامت زیست‌محیطی، بقای اقتصادی، مقبولیت اجتماعی، قابلیت اجرای

جدول شماره ۳- وضعیت پایداری نظام زراعی با توجه به امتیاز شاخص پایداری کوچکی (۱۹۹۸).

امتیاز	وضعیت پایداری
۰ - ۲۵	ناپایدار
۲۶ - ۵۰	نسبتاً ناپایدار
۵۱ - ۷۵	نسبتاً پایدار
۷۶ - ۱۰۰	پایدار

مدیریتی، سازگاری فنی کشاورزی و مقبولیت سیاسی تشکیل شده است. برای هر یک از این ۶ پایه، سنجه‌هایی جهت کمی کردن آنها استفاده شده است. به طور مثال، در بخش سلامت زیست‌محیطی، سنجه‌هایی چون pH، هدایت الکتریکی، رطوبت، وضعیت زه‌کشی و مقدار ماده آلی خاک و عملکرد محصولات زراعی، در بخش اجتماعی سنجه‌هایی نظیر اشتغال و سطح زیر کشت و در بخش سازگاری فنی کشاورزی از سنجه‌هایی مانند کارآیی آبیاری و نظام خاکورزی استفاده شده است. یک نکته در این پژوهش جالب توجه است: بسته به اهداف تحقیقات می‌توان بر یکی از ستون‌های پایداری یا یک مجموعه از سنجه‌ها تاکید و توجه بیشتری داشت. به طور نمونه، هنگامی که محدودیت‌های شدید اقتصادی وجود دارد، می‌توان این بخش را در اولویت نخست و بخش‌های دیگر را در درجه دوم اهمیت قرار داد. یافته‌های حاصل از سنجه‌های مختلف این مطالعه در همدان نشان می‌دهد نظام‌های رایج و سنتی هنگام مواجهه با محدودیتهای اقلیمی و خاکی از دو رویکرد کاملاً متفاوت استفاده می‌کنند.

در نظام‌های کشاورزی مدرن (رایج) عموماً با به کارگیری فناوری سنگین و پرنهاده (چاه‌های عمیق، ماشین آلات سنگین) بر محدودیت‌ها غلبه می‌شود؛ در حالی‌که در نظام‌های سنتی از دانش بومی که در طول صدها سال تکامل یافته است برای مدیریت آب و خاک استفاده می‌شود. نتیجه چنین رویکردهایی در میزان مصرف انرژی این نظام‌ها نمود یافته است: درحالی‌که انرژی مصرفی در نظام‌های مدرن فقط در بخش ماشین آلات بیش از ۵۲ گیگاژول در هکتار است، کل انرژی مصرفی نظام‌های سنتی اندکی بیش از ۶ گیگاژول در هکتار بوده است (فرشاد و زینک، ۲۰۰۱).

چیذری و ذوقی نیز در سال ۱۳۷۸ به بررسی دیدگاه کارشناسان ترویج سازمان کشاورزی استان خراسان نسبت به مقوله کشاورزی پایدار پرداختند و دریافتند که نگرش آن‌ها نسبت به کشاورزی پایدار در مقایسه با کشاورزی متداول به طور کلی مطلوب‌تر است. همچنین کارشناسان جوانتر و با سابقه کار کمتر، نگرش بهتری نسبت به کشاورزی پایدار دارند. در این پژوهش مشخص شد که کارشناسان با تعریف کشاورزی پایدار بر مبنای حفاظت محیط زیست و استفاده کمتر از نهاده‌های شیمیایی موافقت بیشتری دارند.

۲-۲ مطالعه شاخص‌های پایداری کشاورزی در نقاط دیگر جهان

در مطالعه‌ای جهت تدوین شاخص پایداری بوم نظام‌های کشاورزی تاکید شده است که برای تدوین یک شاخص باید از سنجه‌هایی استفاده کرد که مستقل از نوع نظام کشاورزی باشند (Senanayake, 1991). بر این اساس شاخص پیشنهادی این مطالعه مرکب از اجزای زیر است:

$$S = f\{E_i, E_r, P_e, S_e, R_s, R_b\}$$

که به صورت زیر صورت‌بندی می‌شود:

$$S = \frac{R_s \times R_b}{f(V_e) - f(V_d)}$$

که در آن S شاخص پایداری بوم‌شناختی در یک نظام کشاورزی، E_i مقدار نهاده‌های خارجی، E_r نسبت انرژی، P_e معادل‌های انرژی (قدرت)، S_e کارایی مصرف نور و R_s و R_b به ترتیب دوام خاک و دوام پوشش گیاهی هستند. $f_x(V_e)$ سنجه کارایی انرژی و $f_x(V_d)$ سنجه وابستگی نظام کشاورزی به انرژی است. بر اساس این شاخص، نظام‌های کشاورزی که فرسایش خاک زیادی دارند یا تلفات پوشش گیاهی در آن‌ها شدید است به دلیل اینکه صورت معادله شاخص پایداری در آن‌ها به شدت کاهش می‌یابد، پایداری کمی دارند. به همین ترتیب، نظام‌هایی که از منابع موجود به خوبی حفاظت می‌کنند از پایداری بالایی برخوردار خواهند بود. شاخص دیگری با همین مبنا توسط Lal (۱۹۹۱) ارائه شده است (Sands and Podmore, 1993):

$$C_s = f\{O_i, O_d, O_m\} \times t$$

که در آن C_s شاخص پایداری، O_i ستانده به ازای مقدار نهادهای که بیشترین تاثیر را در افزایش عملکرد دارد؛ O_d ستانده به ازای مقدار کاهش محدود کننده‌ترین منبع غیر قابل تجدید؛ O_m حداقل ستانده قابل حصول و t زمان است. بنابراین، شاخص پایداری وابسته به مقدار تولیدات محصولات کشاورزی، کاهش منابع محیطی که تولید به آن‌ها وابسته است و از همه مهم‌تر زمان است.

نامبیار و *همکاران* (۲۰۰۰)، با استفاده از یک سری سنجه‌های زیست - فیزیکی، شیمیایی و اجتماعی - اقتصادی، شاخصی جهت سنجش پایداری نظام‌های کشاورزی در چین تدوین کرده‌اند که صورت‌بندی این شاخص به این ترتیب است:

$$ASI = N \times Y \times S \times M \times Q \times B \times I \times E$$

که در آن ASI شاخص پایداری کشاورزی، N موازنه عناصر غذایی، Y عملکرد محصولات زراعی، S کیفیت خاک، M مدیریت کشاورزی، Q کیفیت زیست‌محیطی نظام کشاورزی، B تنوع زیستی کشاورزی، I جنبه‌های اقتصادی و اجتماعی نظام زراعی و E موازنه انرژی خالص در کشاورزی است. در هر یک از این گروه‌های ۸گانه از سنجه‌هایی برای کمی‌کردن آن‌ها استفاده شده و امتیاز سنجه در سه گروه کم، متوسط و زیاد قرار داده شده که حداقل امتیاز ۷۵ و حداکثر امتیاز ۱۰۰ برای هر سنجه منظور شده است. به طور مثال، در گروه کیفیت خاک از سنجه عمق خاک استفاده شده است. چنانچه عمق خاک کمتر از ۵۰ سانتیمتر باشد امتیاز کم (۷۵)؛ اگر عمق خاک بین ۵۰ تا ۱۰۰ سانتیمتر باشد امتیاز متوسط (۸۵) و چنانچه عمق خاک بیش از ۱۰۰ سانتیمتر باشد امتیاز زیاد (۱۰۰) برای آن منظور می‌شود. در نهایت، حاصلضرب مجموع سنجه‌های گروه‌های هشت‌گانه است که امتیاز نهایی شاخص پایداری کشاورزی را تعیین می‌کند.

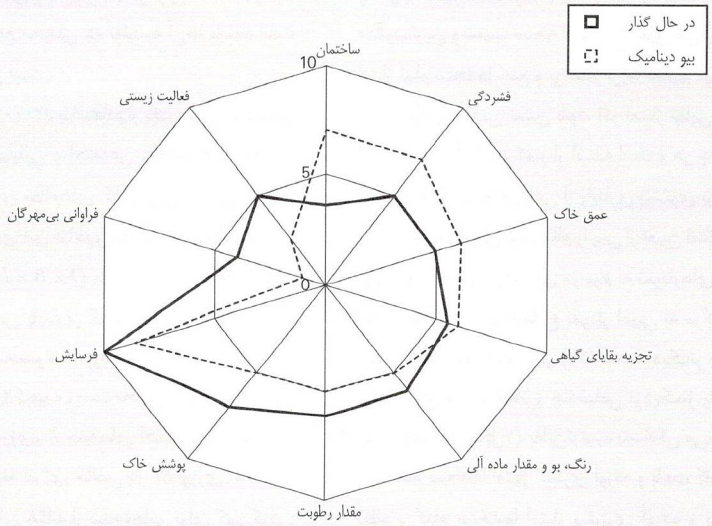
نیکولز و *همکاران* (۲۰۰۴)، شاخصی جهت تعیین پایداری تاکستان‌ها ارائه کرده‌اند که در آن دو گروه سنجه به‌کار رفته است. سنجه‌های کیفیت خاک شامل ساختمان، فشردگی، عمق، تجزیه بقایای گیاهی، رنگ و مقدار ماده آلی، مقدار آب، پوشش، فرسایش، تراکم بی‌مهرگان و فعالیت زیستی خاک در یک گروه و سنجه‌های سلامت محصولات زراعی شامل وضعیت ظاهری، رشد محصول، شیوع بیماری‌ها، شیوع حشرات، فراوانی دشمنان طبیعی، رقابت علف‌های هرز، عملکرد بالقوه و حقیقی، تنوع زراعی و تنوع زیستی در گروه دیگری طبقه بندی شده‌اند. به هر سنجه امتیازی بین ۱ تا ۱۰ تعلق می‌گیرد که به نامطلوب‌ترین وضعیت امتیاز ۱، به وضعیت متوسط یا آستانه امتیاز ۵ و به مطلوب‌ترین وضعیت سنجه امتیاز ۱۰ تعلق می‌گیرد. در پایان، امتیاز تمام سنجه‌ها جمع و بر تعداد آن‌ها تقسیم می‌شود تا مقدار کمی نهایی شاخص تعیین شود. اگر امتیاز نهایی مزرعه کمتر از ۵ باشد، پایداری آن کمتر از آستانه است و هر چه امتیاز نهایی از ۵ بیشتر باشد، نظام زراعی از پایداری بیشتری برخوردار است.

وضعیت پایداری یک نظام را پس از تعیین امتیازات سنجه‌ها می‌توان در قالب نمودارهای موسوم به نمودارهای آمیبی نشان داد که در آن هر چه اضلاع نمودار آمیبی به مرکز چند ضلعی منتظمی‌که معرف امتیاز کل (۱۰) است نزدیک‌تر باشد، پایداری کمتر و هر چه به اضلاع چندضلعی نزدیک‌تر باشد، پایداری بیشترخواهدبود (شکل۱). به‌این‌ترتیب، به‌سادگی می‌توان مشخص کرد کدام سنجه‌ها امتیاز کمتری آورده و باعث کاهش پایداری نظام و کدام سنجه‌ها امتیاز بیشتری آورده و پایداری نظام کشاورزی را افزایش داده‌اند. بنابراین می‌توان در مرحله بعد و با اعمال مدیریت‌های مناسب برای سنجه‌هایی که امتیاز پایینی آورده‌اند، نقاط ضعف نظام را برطرف و پایداری را بهبود بخشید.

همان‌طورکه مشاهده شد، برای تعیین شاخص پایداری، ابتدا باید سنجه‌هایی تعیین، سپس سنجه‌ها امتیازدهی، این امتیازات جمع و در نهایت امتیاز نهایی شاخص محاسبه شود. با این حال، در مورد بسیاری از سنجه‌ها امتیازدهی به سهولت مواردی که پیش از این اشاره شد نیست و گاه برای کمی‌کردن یک سنجه لازم است از روش‌های پیچیده‌تر نظیر محاسبات و معادلات شبیه‌سازی بهره گرفت تا شدت اثر واقعی یک سنجه بر پایداری بوم نظام کشاورزی مشخص شود. از جمله سنجه‌هایی که محاسبه اثر آن‌ها بر وضعیت پایداری دشوارتر از محاسبه سایر سنجه‌هاست، مصرف آفت‌کش‌ها و مواد شیمیایی نظیر کودهای نیتروژن است که معادلات بسیاری برای کمی کردن آن‌ها پیشنهاد شده است (Freemark and Boutin, 1995؛ Bockstaller *et al*, 1997؛ Van der Verf, 1996 and Morasso, 2000؛ Jorgensen *et al*, 1997؛ Hansen *et al*, 2000؛ Bolognesi).

۳- نتیجه‌گیری

شاخص‌های پایداری مقادیری کمی هستند که دیدگاه ما را نسبت به شرایط محیطی و پایداری نظام‌های کشاورزی روشن می‌سازند. با کمک این شاخص‌ها می‌توان کارایی و کیفیت بوم نظام‌های کشاورزی را ارزیابی کرد و از آن‌ها به عنوان ابزاری برای مطالعه روندها، مشخص و تعیین کردن شرایط خاص محیطی و کمک به تصمیم‌گیری‌های کلان در اداره محیط‌زیست بهره گرفت (کوچکی، ۱۳۸۲). بنابراین در طراحی نظام‌های کشاورزی بوم سازگار که در آن‌ها ضمن دستیابی به عملکرد قابل قبول محصولات زراعی، سلامت محیط و کارکردهای بوم‌شناختی، اجتماعی و اقتصادی جوامع نیز به شکل پایدار حفظ و مدیریت می‌شود، استفاده از شاخص‌های پایداری نخستین گام در راه طراحی پایدار و در مرحله بعد پایش پیوسته نقاط حساس و بحرانی نظام کشاورزی، شناخت خلاءهای موجود و راهکارهای برطرف ساختن آن‌ها خواهد بود. استفاده از شاخص



شکل ۱- نمودار آمیبی سنجه‌های کیفیت خاک دو تاکستان با نظام‌های بیودینامیک (خطوط نقطه چین) و در حال گذار (خطوط پر) در شمال کالیفرنیا (Nicholls *et al*, 2004).

پایداری برای توصیف یک نظام پیچیده ممکن است در نگاه اول رهیافتی تحلیلی و تقلیل‌گرایانه به نظر برسد، اما هنگامی که با کمک یک‌سری شاخص با تمام عملیات کشاورزی یک نظام برخورد می‌کنیم، این رهیافت، کل گرایانه خواهد بود. علاوه بر این، چنین شاخص‌هایی که شامل مجموعه متنوعی از سنجه‌های پایداری هستند به ابعاد مختلف نظام کشاورزی (آبیاری، آفتکش‌ها، عناصر غذایی، تناوب زراعی، . . .) می‌پردازند و تنها به یک یا چند بعد محدود توجه ندارند. بنابراین چنین روشی به کشاورزان امکان می‌دهد تا بوم نظام کشاورزی و نظام مجاور آن (محیط بیرونی) را با همدیگر به صورت یک مجموعه در نظر بگیرند. به علاوه، چون شاخص‌های پایداری برای کمک به کشاورزان تهیه و تدوین می‌شوند، با عناصری مواجه هستند که نیازهای واقعی کشاورزان را منعکس می‌کنند. بی‌شک در نظام‌های کشاورزی بوم سازگار آینده، شاخص‌های پایداری مهمترین ابزار مدیریت نظام کشاورزی از نخستین مرحله طراحی نظام تا آخرین نقطه که بازار فروش محصولات کشاورزی است، خواهند بود.

پی‌نوشت

1. Holism
2. Sustainability index
3. Sustainability indicator

منابع

چیذری، م.، و م. ذوقی(۱۳۷۸). بررسی نگرش‌های کارشناسان ترویج سازمان کشاورزی خراسان نسبت به کشاورزی پایدار. *علوم کشاورزی مدرس*. شماره دوم.

حیاتی، د.، وع. کرمی (۱۳۷۶). تدوین شاخصی جهت سنجش پایداری نظام‌های زراعی به منظور کاربرد در پژوهش‌های اقتصادی ـ اجتماعی. *اولین کنفرانس اقتصاد کشاورزی ایران (جلد دوم)*. دانشگاه سیستان و بلوچستان.

کرمی، علیرضا (۱۳۷۶). *رابطه سازه‌های اجتماعی ـ اقتصادی با دانش فنی و کشاورزی پایدار بین گندم‌کاران*. معاونت برنامه‌ریزی و بودجه وزارت کشاورزی.

کوچکی، علیرضا(۱۳۷۶). کشاورزی پایدار؛ بینش یا روش؟ *اقتصاد کشاورزی و توسعه*. شماره ۲۰ .

کوچکی، علیرضا (۱۳۸۲). *کشاورزی پایدار و محیط‌زیست*. گزارش نهایی طرح آینده غذا. فرهنگستان علوم جمهوری اسلامی ایران. منتشر نشده.

کوچکی، علیرضا، عبدالمجید مهدوی دامغانی و م. دهقان(۱۳۸۱). *درآمدی بر پدیدارشناسی در علوم‌زیستی* (ترجمه). مشهد: انتشارات جهاد دانشگاهی.

Berroteran, J.L., J.A. Zinck (1997). *Indicators of agricultural sustainability at the national level*: A case study of Venezuela. http: //ces. iisc. ernet. in/energy/HC 270799/ LM/ SUSLUP/ Thema 1/ 258/ 258.pdf.

Bockstaller, C.B., P. Girardin, H.M.G. van der Werf (1997). Use of agro – ecological indicators for the evaluation of farming systems. *Eur. J. Agron* 7: 261-270.

Bolognesi, C., G. Morasso (2000). Genotoxicity of pesticides: Potential risk for consumers. *Trends in Food Sci. Techn.* 11:182-187.

De koeijer, T.J., G.A.A. Wossink, P.C. Struik, J.A. Renkema (2002). Measuring agricultural sustainability in terms of efficiency: The case of Dutch sugar beet growers. *J. Environ. Manag.* 66: 9-17.

Ehui, S.K., D.S.C. Spencer (1993). Measuring the sustainability and economic viability of tropical farming systems: a model from sub-saharan Africa. *Agric. Econ.* 9: 279-296.

Masera, O. (1999). *MESMIS: the indicator–based framework for evaluating the sustainability of natural resource management systems*. unam. mx/gira. mesmisingles. htm.

Nambiar, K. K. M., A.P. Gupta, Q.Fu, S. Li (2001). Biophysical, chemical and socio – economic indicators for assessing agricultural sustainability in the Chinese coastal zone. *Agric. Ecos. Environ.* 87:209-214.

Nicholls, C.I., M.A. Altieri, A. Dezanet, M. Lana, D. Feistauer, M. Ouriques (2004). *A rapid, farmer–friendly agroecological method to estimate soil quality and crop helth in veinyard systems (unpublished).*

Pannell, D. J., N. A. Glenn (2000). A framework for the economic evaluation and selection of sustainability indicators in agriculture. *Ecol. Econ.* 33: 135-149.

Pannell, D.J., S. Schillizi (1999). Sustainable agriculture: A matter of ecology, equity, economic efficiency or expedience? *J. Sust. Agric.* 13: 57-66.

Sands, G.R., T.H. Podmore (1993). Development of an environmental sustainability index for irrigated agricultural systems. In: J. K. Michell (Ed.) Integrated resource management and landscape modification for environmental protection. Pp. 71-80. *Proceedings of the International Symposium, Chicago.*

Senanayake, R (1991). Sustainable agriculture: definitions and parameters for measurement. *J. Sust. Agric,* 1: 7-28.

Van der Werf, H.M.G (1996). Assessing the impact of pesticides on the environment. *Agric. Ecos. Environ.* 60: 81-96.

Walter, G. R (2002). Economics, ecology – based communites, and sustainability. *Ecol. Econ.* 42: 81-87.

Webster, J.P.G (1997). Assessing the economic consequences of sustainability in agriculture. *Agric. Ecos. Environ.* 64: 95-102.

Farshad, A., J.A. Zinck (2001). Assessing agricultural sustainability using the six pollar model: Iran as a case study. In: *Agroecosystem sustainability . S.R.Gliessman* (Ed.). CRC.

Freemark, K., C. Boutin (1995). Impacts of agricultural herbicide use on terrestial wild life in temperate landscapes: A review with special references to North America. *Agric. Ecos. Environ.* 52: 67-91.

Giampietro, M. (1997). Socioeconimic constraints to farming with biodiversity . *Agric. Ecos. Environ.* 62: 145-167.

Hansen, J.W. (1996). Is agricultural sustainability a useful concept? *Agric. Sys.* 50: 117-143.

Hansen, B., E.S. Kristensen, R. Grant, H. Hogh – Jensen, S.E. Simmelsgaard, J.O. Olesen (2000). Nitrogen leaching from conventional versus organic farming systems – a system modelling approach. Eur. *J. Agron.* 13: 65-82.

IUCN, (1996). Barometer of sustainability : What it's for and how to use it? *IUCN/ IDRC project on assessing progress toward sustainability,* Geneva.

Jorgensen, S.E., J.C. Marques, P.M. Anastacio (1997). Modelling the fate of surfactants and pesticides in a rice field. *Ecol. Model.* 104: 205-213.

Kleinman, P.J.A., D. Pimentel, R.B. Bryant (1995). The ecological sustainability of slash – and – burn agriculrture. *Agric. Ecos. Environ.* 52:235-249.

Koocheki, A (1998). A quantifying approach for evaluating sustainable agriculture in Iran. In : G.S. Dhaliwal, N.S. Randhawa, R. Arora, A.K. Dhawan (Eds). *Ecological agriculture and sustainable development.* India.

Lefory, R.D.B., H.D. Bechstedt, M. Rais (2000). Indicators for sustainable land management based on farmer surveys in Vietnam, Indonesia, and Thailand. *Agric. Ecos. Environ.* 81: 137-146.

Liverman, D.M., M.E. Hanson, B.J. Brown, R.W. Merideth, Jr. (1988). Global sustainability: Toward measurement. *Environ. Manag.* 12: 133-143.

MacRae, R.J., S.B. Hill, G.R. Mehuys, J.Henning (1990). Farm– scale agronomic and economic conversion from conventional to sustainable agriculture. *Adv. in Agron.* 43: 155-198.