استفاده از آنتروپی برای کمی کردن پایداری در سیستمهای کشاورزی؛ یک مطالعه موردی در مزرعه تحقیقاتی طرق

علیرضا کوچکی[1]، مهدی نصیری محلاتی[2]، محمدرضا اصغری‌پور[3]

چکیده

در این مقاله روشی برای کمی کردن پایداری در سیستم های کشاورزی، بر اساس آنتروپی اضافی تولید شده بوسله سیستم‌ها پیشنهاد می‌شود. همچنین نشان داده می‌شود چگونه آنتروپی تولید شده بوسیله سیستم با نحوه مدیریت زمین تغییر می‌کند. مزارع محصولات مختلف مقدار آنتروپی متفاوتی را دارا می باشند. علت این اختلافات به دلایل متفاوتی است، ولی در بسیاری از شرایط آنتروپی بالا به استفاده از نهاده‌های ورودی زیاد نسبت داده می‌شود. خصوصیات یک گیاه زراعی به خودی خود نقش اندکی دارد. گرچه این روش تخمینی از آنتروپی در اکوسیستم کشاورزی را به ما می‌دهد، اما با این روش می‌توان اثبات کرد با کاهش انرژی‌های ورودی مصنوعی پایداری بهبود پیدا می‌کند. مقایسه نتایج مزرعه جو دیم و چغندر قند این موضوع را تأیید می‌کند. در مجموع هیچ کدام از گیاهان بررسی شده از نظر ترمودینامیکی وضعیت پایداری نداشتند.

کلمات کلیدی: کمی کردن پایداری، اکوسیستم کشاورزی، آنتروپی، انرژی

مقدمه

اصطلاحات «کشاورزی پایدار» و «پایداری» به اشکال گوناگونی تعریف شده و به طور گسترده‌ای به کار برده شده‌اند. اما توافق عمومی بر این است که پایداری مستلزم تولید بر مبنای روابط اکولوژیک است. در یک بیان کلی پایداری به نوعی ثبات عملکرد یعنی شرایطی که برداشت زیست توده از سیستم را تداوم بخشد، اطلاق می شود، زیرا توانایی سیستم برای بازسازی خود با خطر مواجه نخواهد شد (۳).

در تحقیقات کشاورزی اکولوژیک، به منظور ایجاد کشاورزی پایدار لازم است چارچوب مشخصی برای اندازه‌گیری وکمی‌سازی پایداری ایجاد شود(۷، ۱۱). کشاورزان باید این توانایی را داشته باشند که در ارزیابی یک سیستم خاص بتوانند فاصله‌ای را که از پایداری دارند مشخص کنند که کدام یک از جنبه‌های سیستم از پایداری کمتری برخوردار است و تا چه حدی پایداری سیستم مورد نظر در حال تحلیل رفتن است و چگونه می‌توان آن را به سمت کارکرد پایدار تغییر داد. وقتی که یک سیستم با هدف پایداری طراحی می‌شود، کشاورزان باید این توانایی را داشته باشند که از طریق کنترل آن تعیین کنند آیا سیستم به کارکرد پایدار رسیده است یا خیر. ابزار و روشهای این بررسی را می‌شود از علم اکولوژی گرفت. اکولوژی مجموعه‌ای از روش‌هائی برای کمی سازی خصوصیات اکوسیستم‌ها از جمله چرخه مواد، جریان انرژی، پویایی جمعیت، اثرات متقابل گونه‌ها و تغییرات محیط را دارا می‌باشد. با استفاده از این ابزارها، خصوصیات اکوسیستمهای

۱- استاد دانشکده کشاورزی دانشگاه فردوسی مشهد. Koochki@ferdowsi.um.ac.ir

۲- استادیار دانشکده کشاورزی دانشگاه فردوسی مشهد.

۳- دانشجوی مقطع دکتری (Ph.D) دانشکده کشاورزی دانشگاه فردوسی مشهد.

کشاورزی و این که چگونه آنها به وسیله انسان تحت تاثیر قرار می‌گیرد، را می‌توان از سطح یک گونه خاص تا سطح وسیعتر محیط جهانی مورد بررسی قرار داد (۲).

تجزیه و تحلیل اکوسیستم کشورزی بدین معنی است که مشخص شود یک پارامتر اکولوژیکی یا مجموعه‌ای از پارامترها در چه سطحی برای کارکرد پایدار باید عمل کند.

متخصصین بسیار کمی در این زمینه کار کرده‌اند. از جمله پارامترهای اکولوژیکی که برای کمی کردن پایداری در سیستمهای کشورزی استفاده شده است، عبارتند از مقدار مواد آلی خاک (۷)، تست نماتد به بارده برای هر عنصر غذایی پر مصرف(۹)، شاخص استفاده از سموم (۹)، سرمایه‌گذاری بیوفیزیکی اکوسیستم (۹)، فعالیت آنزیمی خاک (۵)، بالاترین محصول سریا (۱۶) و تنوع گونه‌های گیاهی (۱۶) بوده است.

مقدار اندک این نوع اطلاعات حاکی از آن است که تحقیقات بسیار زیادی از این نوع مورد نیاز است. اما انتروپی (معیاری از بی نظمی سیستمهای فیزیکی) می‌تواند برای توسعه شاخصی برای کمی کردن پایداری در سیستمهای کشاورزی استفاده شود می‌توان از آنتروپی تولید شده به وسیله یک سیستم به عنوان معیاری برای تخریب محیط زیست و دور شدن سیستم از وضعیت پایدار استفاده کرد. سیستمی که این آنتروپی اضافی دارد نمی‌تواند در یک دوره زمانی نسبتاً طولانی پایدار باقی بماند و قطعاً تخریب خواهد شد (۱۷).

در این بررسی از آنتروپی به عنوان معیاری از پایداری در نقطه مقابل تخریب، برای نشان دادن وضعیت یک اکوسیستم حقیقی مانند یک مزرعه استفاده شد و از رهیافتهای ترمودینامیکی پیشنهاد شده بوسیله استینبرن وسوبرژف (۱۷) استفاده شده است.

مواد و روش

روش محاسبه آنتروپی:

بر اساس قانون دوم ترمودینامیک هر نهاده‌ای با یک کارایی (η) به عملکرد تبدیل می‌شود. امروزه از انرژی به صورت مستقیم و غیر مستقیم درکشاورزی استفاده می شود. از انرژی مصنوعی در راه اندازی تراکتور، وسایل حمل و نقل، ماشین‌های فرآیند ساز، پمپهای آبیاری و گرم و سرد کردن گلخانه‌ها مستقیماً استفاده می‌شود. این انرژی در خارج مزرعه برای تولید ماشین الات، وسایل حمل و نقل، نهاده‌های شیمیایی و سایر کالاها و خدمات که بعداً در عملیات مزرعه به کار گرفته می‌شوند، به صورت غیر مستقیم مصرف می‌شود. پیمنتل(۱۴) معتقد بود که ارتباط بین عملکرد محصول (Y) و انرژیهای ورودی مصنوعی (W) خطی است.

$Y = \eta W$ ضریب تجربی کارایی انرژی (η) در گرو اکوسیستم‌های مختلف در کشورها و مناطق زیادی محاسبه شده است. این ضریب بر اساس قانون دوم ترمودینامیک همیشه کمتراز واحد است. اما در مورد اکوسیستم‌های کشاورزی معمولاً بیشتر از یک می‌شود چرا که ما انرژی ورودی از تشعشع خورشید یا انرژی اکولوژیک (ES) را در نظر نگرفته‌ایم. بنابراین معادله پیمنتل(۱۴) را باید به شرح ذیل اصلاح کرد:

$$Y = \eta W E_s$$
$$\eta = Y / W E_s$$

با در نظر گرفتن ضریب پیمنتل می توان نتیجه گرفت که

$$Y = f W E_s$$

زمانیکه انرژی‌های ورودی صنعتی به کشاورزی صفر باشد ($W=0$)، داریم:

$$Y(W, E_s) \approx y(0, E_s) - (\partial y / \partial W)_0 W. \qquad [1]$$

جزء اول معادله [۱] در مقایسه با جزء دوم این معادله بسیار کوچک و قابل صرفنظر کردن است. این بدان علت است که زمانیکه انرژی های ورودی صنعتی به سمت صفر میل کند، مزرعه با پوشش وحشی جایگزین می‌شود. در نتیجه عملکرد گیاهان زراعی در W پائین، بسیار کم است.

عبارت $((\partial y / \partial W)_0)$همان ($\eta$) است که برای هر محصول در یک شرایط آب و هوایی مشخص تا اندازه زیادی ثابت است. بنابراین تشدید فعالیت‌های کشاورزی (افزایش تولید محصول) با افزایش جریان انرژی مصنوعی در اکوسیستم در ارتباط است. اما جریان انرژی بر طبق قانون

دوم ترمودینامیک بنها تا حدی می‌تواند افزایش عملکرد را سبب شود. به عبارت دیگر ما بهای افزایش تولید را با تخریب محیط زیست به خصوص خاک می‌پردازیم.

موازنه انتروپی برای اگرواکوسیستمی که در مفهوم ترمودینامیک یک سیستم باز می‌باشد، بدین شکل محاسبه شد.

در یک سیستم باز کلیه تغییرات آنتروپی از دو منبع ناشی می شود:

$$dS_{(t)} = \sigma - d_iS_{(t)} - d_eS_{(t)} \qquad [۲]$$

که، $dS_{(t)} = (\sigma)$ کل آنتروپی سیستم، $d_iS_{(t)}$ آنتروپی تولیدی در سیستم و $d_eS_{(t)}$ آنتروپی انتقالی از خارج سیستم می‌باشد.

$$d_iS_{(t)} = dQ_{(t)} / T_{(t)}, dQ_{(t)}$$

$dQ_{(t)}$ گرمای تولید شده به وسیله واکنشهای برگشت‌ناپذیر انجام شده بوسیله سیستم و $T_{(t)}$ درجه حرارت محیط (در مقیاس کلوین) در نقطه‌ای مشخص از سطح زمین است که بوسیله اگرواکوسیستم اشغال می‌شود.

بنابراین معادله کل آنتروپی برابر است با:

$$\sigma = 1/T\,(W + \lambda P_1 - P_0) \qquad [۳]$$

که T درجه حرارت در طول فصل رشد و W مقدار انرژی‌های ورودی مصنوعی سالانه است.

اگر λP_1 را بخشی از تولید ناخالص سالانه اکوسیستم فرض کنیم، P_1 بخشی از تولید است که به صورت تنفس و بقایا از دسترس خارج شده و یا از مزرعه خارج نمی‌شود.

پس:

$$d_iS = (W + \lambda P_1)/T.$$

همچنین:

$$d_eS = -P_0/T$$

که P_0 تولید ناخالص اولیه (GPP) یک اکوسیستم طبیعی مشابه با اکوسیستم مزرعه می‌باشد.

تولید خالص در یک سیستم با عبارت $(1-r)P_1$ مناسب است. r ضریب تنفسی یا بخشی از تولید ناخالص اولیه است که صرف فعالیت‌های حیاتی خود گیاه می‌شود.

لذا عملکرد محصول برابر است با:

$$y = k\,(1-r)P_1 \qquad [۴]$$

k آن بخش از تولید خالص است که به صورت عملکرد از سیستم خارج می شود. مقدار بقایا برابر است با:

$$(1-K)\,(1-r)\,P_1$$

پس:

$$\lambda P_1 = (1-k)(1-r)\,P_{1\,residue} + rP_{1\,respiration} + (1-k-kr)\,P_1 \qquad [۵]$$

$P_{1\,residue}$ و $P_{1\,respiration}$ به ترتیب بخش‌هایی از عملکرد است که به صورت بقایا و تنفس تلف می‌شود.

با استفاده از معادله[۴] می توان معادله [۵] را بازنویسی کرد:

$$\lambda P_1 = (1 - k + k\,r)P_1 = [(1-S)/S]\,y$$

که S بخشی از تولید ناخالص که به صورت محصول اقتصادی از مزرعه خارج می شود:

پس:

$$S = k\,(1-r) \qquad [۶]$$

در نهایت موازنه آنتروپی اگرواکوسیستم به شکل زیر بیان خواهد شد:

[۷]

$$\sigma = \frac{1}{T}\left(W + \frac{1-s}{S}y - P_0\right).$$

مقدار تولید ناخالص یک اکوسیستم طبیعی در شرایط مشابه ۲۵۰۰ کیلوگرم فرض شد (سازمان منابع طبیعی، تماس شخصی)، لذا GPP یک اکوسیستم طبیعی ۳۵Gj در نظر گرفته شد.

با استفاده از رابطه پیمنتل $Y=\eta W$ داریم:

[۸]

$$\sigma = \frac{1}{T}\left[W\left(1 - \eta + \frac{\eta}{S}\right) - P_0\right]$$

$$= \frac{1}{T}\left[W\left(\frac{1}{\eta} + \frac{1}{S} - 1\right) - P_0\right]$$

چنانچه $\sigma > 0$ باشد، سیستم دارای آنتروپی اضافی

چنانچه در بخش اول معادله [۸] که فقط W دارد، آنتروپی اضافی تولید شده بوسیله سیستم را صفر کنیم ($\sigma = 0$)، تخمینی برای حداکثر انرژی که باید به سیستم وارد کنیم تا سیستم در وضعیت پایدار بماند، بدست می آید.

[۹]

$$W_{cr} = \frac{P_a}{1-\eta+(\eta/s)}$$

W_{cr} حداکثر انرژی است که انسان می‌تواند وارد سیستم بکند تا سیستم در وضعیت پایدار باقی بماند. این انرژی شامل تمام دخالتهای انسان (شامل خاکورزی، کودهی، آبیاری، کنترل آفات، برداشت، حمل و نقل، خشک کردن و غیره می‌شود.) چنانچه $W > W_{cr}$ باشد، آنتروپی $\sigma > 0$ است و حتمن سیستم محیط زیست را تخریب می‌کند.

با استفاده از بخش دوم معادله [۸] که فقط Y دارد، حداکثر عملکرد یک سیستم پایدار یعنی یک مزرعه در وضعیت پایدار بر مبنای محتوای انرژی، وزن خشک محاسبه شده است.

[۱۰]

$$Y_{cr} = \frac{P_a}{(Vs)+(Vf)-I'}$$

Y_{cr} یعنی عملکرد در شرایط پایدار.

خصوصیات محل آزمایش:

داده‌های مورد نیاز برای مطالعه موردی از اراضی مزرعه تحقیقاتی کشاورزی طرق (شکل ۱) واقع در ۶ کیلومتری جنوب شرقی مشهد با عرض جغرافیایی ۳۶و ۱۶′ شمالی و طول جغرافیایی ۵۹و ۳۸° شرقی و ارتفاع ۹۸۵ متر از دریا جمع‌آوری شده است.

متوسط بارندگی سالیانه مشهد ۲۸۶ میلیمتر و آب و هوای آن بر اساس اقلیم نمای آمبرژه خشک و سرد می‌باشد. حداکثر درجه حرارت مطلق آن ۴۳/۴ درجه سانتیگراد و حداقل مطلق آن ۲۸/۷- درجه سانتیگراد و متوسط سالیانه آن ۱۴/۵ درجه سانتیگراد است. خاک محل اجرای آزمایش با داشتن ۲۹/۷ درصد شن، ۵۳/۵ درصد سیلت و ۱۶/۸ درصد رس در کلاس بافت سیلتی لوم جای دارد.

محاسبه انرژی های ورودی و خروجی به مزرعه:

جهت بررسی میزان ورود و خروجی انرژی در تولید محصولات زراعی در مزرعه تحقیقاتی طرق کلیه محاسبات بر اساس آمار موجود تنظیم گردیده است. در سال زراعی ۸۳-۸۲ تمامی ورودی‌ها و خروجی‌ها به مزرعه ثبت شده است(جدول ۱).

جدول ۱ محتوای انرژی نهاده های کشاورزی

نهاده	محتوای انرژی ($Mj\ kg^{-1}$)	منبع
کودهای معدنی		
N	۸۰	میانگین مقادیر مطالعات مختلف (۴و۱۵)
P	۱۴	
K	۹	
کودهای آلی	۳/۲	(۱۳)
آفت کشها	۷۷-۲۵۲ ($Mj\ l^{-1}$)	برای آفت کشهای مختلف(۱۸و۱۴)
بذر	۲/۹۹-۵/۶۷	برای گیاهان مختلف(۱۴)
تولید ماشین آلات	۸۶/۸	(۳)
حمل و نقل	۸/۸	(۱۲)
انبار داری	۴۷/۷	(۱۴)
سوخت	۴۱($Mj\ l^{-1}$)	(۱۵)

نهاده‌ها شامل انرژی مورد نیاز برای ساخت ماشین آلات، سوخت، کودهای شیمیایی، مقدار آب آبیاری، آفت‌کش‌ها و نیروی انسانی می‌باشند. مقدار نهاده‌های مصرف شده در هر هکتار بر حسب کیلوگرم در هکتار برآورد شده است. برای تعیین انرژی وارد شده بوسیله هر جزء ورودی ضریب تبدیلی مورد نیاز بوده است. محتوای کل انرژی نهاده‌های مختلف در (جدول ۲) ارائه شده است.

جدول ۲- محتوای انرژی ناخالص محصولات بررسی شده (۱۰)

	ذرت	گندم	جو	چغندر قند
مقدار انرژی ناخالص میوه	۱۴/۸	۱۵/۰	۱۴/۸	۱۶/۴
مقدار انرژی ناخالص کاه	۱۴/۸	۱۴/۰	۱۳/۹	۱۳/۴

برای تخمین خروجی‌ها از اگرواکوسیستم (عملکرد محصول) اطلاعات مورد نیاز در رابطه با محتوای انرژی بیوماس که از دانه و کاه تشکیل شده بود، برداشت شد (جدول ۳). همچنین تولید خالص محصولات با جمع‌آوری نسبت‌های که به دانه و اندام‌های هوایی به ریشه موجود در منابع، محاسبه گردیده است(جدول۴).

جدول۳- سطح زیر کاشت، انرژی ورودی و خروجی هریک از محصولات بررسی شده در مزرعه تحقیقاتی دانشگاه در سال زراعی۸۳-۸۲

گیاه زراعی	سطح زیر کاشت (ha)	انرژی ورودی ($Gj\ ha^{-1}$)	انرژی خروجی ($Gj\ ha^{-1}$)	η (output/input)
گندم	۲۰	۳۵/۲۴	۱۲۶	۳:۵۷
جو آبی	۳۰	۳۱/۱۷	۹۸.۵	۳:۱۴
جو دیم	۲۴	۲۲/۳۹	۴۸.۳۵	۲:۱۶
ذرت علوفه ای	۷	۳۱/۶۷	۱۲۰.۴۱	۳:۸۰
چغندر قند	۲	۱۲۶/۵۸	۱۹۶	۱:۵۵

جدول ۴ نسبت کاه به دانه و نسبت ریشه به اندامهای هوایی برای محصولات مختلف(۱۴)

	ذرت	گندم	جو	چغندر قند
نسبت کاه به دانه	۰/۷	۰/۹	۱	۰/۳
نسبت اندامهای هوایی به ریشه	۴	۲/۹	۲.۸	۰/۸
K	۰/۷۲	۰.۷۴	۰.۷۳	۰/۹۳

ضریب تنفس در محل مورد مطالعه به ۰/۳۵ می‌باشد (۱) از این مقدار برای تخمین GPP (تولید ناخالص اولیه) بر اساس NPP (تولید خالص اولیه) استفاده گردیده است. با استفاده از مقادیر تولید ناخالص و تولید خالص اکرواکوسیستم مقادیر k (آن بخشی از تولید خالص که ارزش اقتصادی داشته و از مزرعه خارج می‌شود) و S (آن بخشی از تولید ناخالص که ارزش اقتصادی داشته و از مزرعه خارج می‌شود) تعیین گردیده است (جدول ۵).

جدول ۵ مقادیر K، S و T برای گیاهان بررسی شده (۲۱)

گیاه زراعی	K	S	T (k)	R
گندم	۰/۷۴	۰/۴۸۱	۲۹۰	۰/۳۵
جو	۰/۷۳	۰/۴۷۴	۲۹۰	۰/۳۵
ذرت	۰/۹۸	۰/۶۳	۲۹۹	۰/۳۵
چغندر قند	۰/۹۲	۰/۶۰	۲۹۵	۰/۳۵

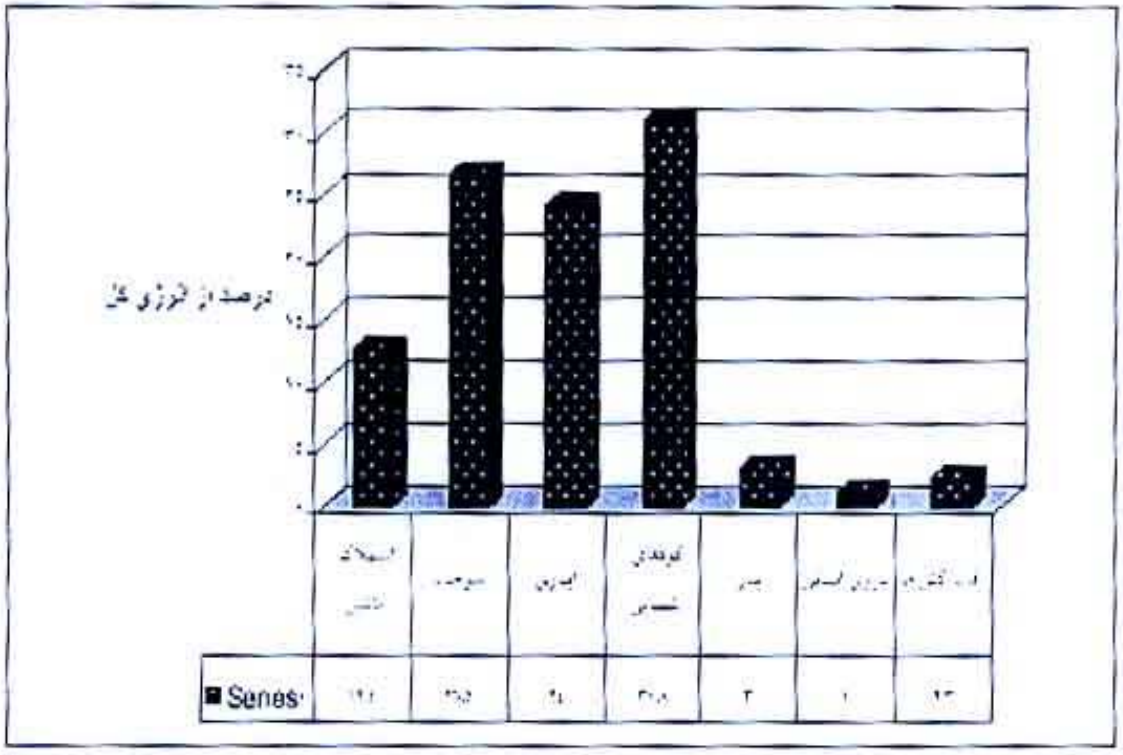
k =آن بخشی از تولید خالص که به صورت محصول اقتصادی از مزرعه خارج می شود.

S= آن بخشی از تولید ناخالص که به صورت محصول اقتصادی از مزرعه خارج می شود

T= درجه حرارت بر حسب کلوین در طی رشد در مزرعه

نتایج

همانطور که در شکل ۳ ملاحظه می‌شود، بیشترین مصرف انرژی در مزرعه برای کودهای شیمیایی به خصوص کود ازته که در این محاسبه حدود ۳۷٪ انرژی را به خود اختصاص داده است، مصرف می‌شود. بعد از کودهای شیمیایی به ترتیب مصرف سوخت گازوئیل جهت استفاده از ادوات آبیاری و انرژی مورد نیاز برای ساخت ادوات در خارج از مزرعه قرار داشتند.



شکل ۳- مقایسه انرژی استفاده شده از طریق هر یک از نهاده ها در مزرعه تحقیقاتی دانشگاه فردوسی مشهد در سال زراعی

در چند دهه گذشته افزایش میزان مصرف انرژی در کشاورزی نقش مهمی در افزایش عملکرد بسیاری از سیستمهای کشاورزی جهان داشته است. اما استفاده از تکنولوژیهای مدرن صنعتی سبب افزایش آنتروپی در سیستم می‌شود. به عبارت دیگر آنتروپی اضافی تولید شده بهایی است که جامعه برای نادیده گرفتن فرآیندهای اکولوژیک در سطح مزرعه، مکانیزاسیون و استفاده از سوختهای فسیلی و مشتقات آنها می‌پردازد.

در مزرعه تحقیقاتی طرق در حدود ۵۱/۵٪ انرژی مصرفی به شکل مستقیم و ۴۸/۵٪ آن به شکل غیر مستقیم است. تولید کودهای شیمیایی به خصوص نیتروژن به عنوان مهمترین انرژی مصرفی غیر مستقیم در کشاورزی محسوب می‌شود. در حدود یک سوم انرژی مصرفی درکشاورزی مدرن برای تولید کودهای نیتروژن مصرف می‌شود (۱۴) مقدار زیاد این انرژی به مقدار زیاد مصرف کود و مقدار زیادی از این انرژی صرف تولید کودهای نیتروژنه می‌گردد. این انرژی ورودی می‌تواند به وسیله مصرف کودهای حیوانی، تثبیت بیولوژیکی نیتروژن و باز چرخش مواد به مقدار زیادی کاهش یابد. ۵۰٪ انرژی‌های مستقیم صرف انرژی آبیاری می‌شود که این مقدار انرژی زیاد به علت اتلاف شدید آب و استفاده از آب به صورت غیر کارامد است. بیش از ۷۰٪ آبی که برای محصولات زراعی به کار می‌رود هرگز به وسیله گیاه جذب نمی‌شود (۲)، در واقع این آب زهکشی شده و یا به صورت تبخیر از مزرعه خارج می‌شود. بخشی از این مازاد آب

...تاب ناپذیر است، اما اگر عملیات کشاورزی به سمت ...خیره آب و نه در جهت حداکثر کردن تولید هدایت شود، ...مقدار زیادی از مازاد آب تقلیل خواهد یافت (۱، ۲).

از مجموع کل انرژی‌های ورودی به کشاورزی ۲۶٪ آن، ...تولید ماشین‌آلات کشاورزی، درخارج از مزرعه و انرژی ...ورد نیاز برای راه اندازی آنها در مزرعه مصرف می‌شود.

برای نشان دادن چگونگی انجام محاسبات، این محاسبات برای گندم آورده شده است. برای محاسبه پالاس انتروپی اضافی تولید شده مزرعه گندم از معادله[۸] استفاده شده است. انرژی ورودی برای گندم $35/26 Gj\ ha^{-1}$ و انرژی خروجی(کاه و دانه) معادل $126\ Gj\ ha^{-1}$ (جدول۳) می‌باشد. با استفاده از این مقادیر نسبت η (راندمان تبدیل انرژی: نسبت انرژی خروجی به ورودی) محاسبه گردیده است:

$$\eta = 35/24/126 \approx 3/57$$

مقدار k برای گندم ۰/۷۴ گزارش شده است(جدول۴). در این بررسی از یک ضریب تنشی عمومی که بوسیله زارع میش آبادی (۱) برای چندین گونه زراعی در محل مورد مطالعه گزارش شده بود استفاده شده است.

مقدار S به شکل $S = k(1-\eta) = 0/481$ محاسبه شده است. با فرض مقدار $P_u = 35\ Gj\ ha^{-1}$ برای یک اکوسیستم طبیعی در شرایط مشهد و میانگین دمای هوا در طول فصل رشد برابر با ۲۹۰ K و جایگزینی تمام این مقادیر در معادله [۸] داریم:

$$\alpha \approx 4696 Gj\ ha\ \ k$$

با استفاده از معادله [۹] و [۱۰] حداکثر مقدار مجاز انرژی ورودی و خروجی برای تولید پایدار محصول محاسبه گردیده است.

$$W_{cr} \approx 7/21\ Gj\ ha^{-1}$$

$$y_{cr} \approx 25/75\ Gj\ ha^{-1}$$

برای تخمین انحراف سیستم از وضعیت پایدار معیار زیر معرفی شد.

[۱۱]

$$S_d = \frac{W - W_{cr}}{W_{cr}} = \frac{y - y_{cr}}{y_{cr}}$$

با استفاده از این معادله ما قادر خواهیم بود فاصله از حالت پایدار را کمی کنیم. این مقدار برای مزرعه گندم S_d ۰/۷۹ بود.

این محاسبات برای سایر محصولات نیز انجام شد. نتایج این محاسبات در جدول۶ ارائه شده است.

می توان گفت میزان آنتروپی در مزرعه جو به خصوص جو دیم، از سایر مزارع کمتر و میزان انتروپی در مزرعه چغندرقند، بیشترین است. معیار انحراف از وضعیت پایدار نیز روند مشابهی را نشان می دهد (جدول۶).

جدول ۶ انتروپی اضافی تولید شده و انحراف از وضعیت پایدار برای محصولات مختلف در سال زراعی ۸۳-۸۲

گیاه زراعی	اضافی انتروپی ($Gj\ ha^{-1}K^{-1}$)	W_{cr} ($Gj\ ha^{-1}$)	انرژی ورودی ($Gj\ ha^{-1}$)	Y_{cr} ($Gj\ ha^{-1}$)	انرژی خروجی ($Gj\ ha^{-1}$)	S_d
گندم	۰/۴۶۹۶	۷/۲۱۳۵	۳۵/۲۴	۲۵/۷۵۴	۱۲۶/۰۰	۰/۷۹۵
جو ابی	۰/۳۶۲	۸/۳۰۲	۳۱/۱۷	۲۶/۰۸۰۴	۹۸/۰۵	۰/۷۳۴
جو دیم	۰/۱۳۸	۱۰/۸۹۶	۲۱/۳۹	۲۳/۵۳۸	۴۸/۳۵	۰/۴۹۱
ذرت علوفه ای	۰/۴۴۶۶	۶/۵۷۹	۳۱/۶۸	۲۵/۰۰	۱۲۰/۴۱	۰/۷۹۳
چغندر قند	۰/۷۴۶۰	۱۷/۳۷۸	۱۲۶/۵۸	۲۶/۹۴۳	۱۹۶/۰۰	۰/۸۶۳

S_d= انحراف سیستم از حالت پایدار Y_{cr}= مقدار عملکرد در شرایط پایدار W_{cr}= حداکثر مقدار مجاز

انتروپی تولید شده در کشاورزی تا حدود زیادی با میزان تغییرات در فرایندهای اکوسیستم طبیعی ارتباط دارد. زمانیکه اساس ساختاری اکوسیستم دست نخورده باقی گذاشته شود، هزینه پایین است. اما زمانیکه یک

اکوسیستم پیچیده طبیعی به وسیله یک سیستم تک کشتی از یک محصول زراعی با شکل بسیار متفاوت جایگزین می‌شود، تولید انتروپی به سرعت افزایش می‌یابد. بنابراین پایین بودن میزان انتروپی در مزرعه جو دیم که بسیار به یک اکوسیستم طبیعی شبیه است امری قابل انتظار است.

با قرار دادن $k(1-r)$ به جای S در معادله [۸]، معادله را می توان به شکل زیر بازنویسی کرد.

$$\sigma = \frac{1}{T}[W + (\frac{1}{k(1-r)} - 1)W] \quad [۱۲]$$

برخی از راهکارهای طراحی سیستم های تولید غذا با در نظر گرفتن معادله [۱۲] عبارتند از:

۱- مصرف انرژی ورودی، W، کمتر : به علت فشاری که انسان برای تولید مواد غذایی بر محیط وارد می‌کند سیستم‌های کشاورزی جهت حفظ رشد و نمو محصولات زراعی به انرژی های ورودی مصنوعی نیاز دارند. مصرف انرژی ورودی زیادتر باعث افزایش تولید می‌شود، اما ارتباط مستقیمی بین این دو وجود ندارد. بازده اقتصادی انرژی در مقادیر زیاد انرژی ورودی در حداقل ممکن است. اکوسیستمهای کشاورزی پایدار از طریق کاستن انرژی‌های نهاده‌های صنعتی و افزایش انرژی‌های بیولوژیک، مقدار مواد غذایی را با کارآیی بیشتری از نظر انرژی تولید می‌کنند. انرژی‌های بیولوژیک تجدید پذیرند و در تبدیل انرژی خورشیدی به زیست توده کارآمدند. همچنین اکوسیستم‌های کشاورزی متکی بر انرژی بیولوژیک دارای مطلوبترین نسبت انرژی خروجی به ورودی هستند.

۲- کاستن از مقدار انرژی خروجی، y : اما کشاورزی برای تأمین غذای جمعیت رو به افزایش بشر باید قدرت تولید زیادی داشته باشد و کاستن از مقدار تولید با اهداف کشاورزی در تضاد است. علاوه بر این تولید پایدار لزوماً به معنای تولید کم نیست، چنانچه سیستم‌های فشرده بیولوژیکی که میزان آنتروپی پایینی دارند قادرند عملکرد را در سطوح بالایی حفظ کنند. ۳- افزایش خروج بیوماس از سیستم : یعنی استفاده از بخش بزرگتری از زیست توده به عنوان عملکرد اقتصادی (که سبب افزایش مقدار k در معادله ۱۲می‌شود)، به عنوان مثال با خارج کردن کاه بیشتری در هنگام برداشت از مزرعه می‌توان مقدار k را افزایش و آنتروپی را به لحاظ تئوری کاهش دهیم اما این کار، می‌تواند کربن آلی خاک را در دراز مدت کاهش دهد که در حاصلخیزی خاک تأثیری منفی داشته و نمی‌تواند مورد نظر کشاورزی پایدار باشد. افزون بر این خارج کردن بقایای بیشتر از مزرعه به شکل کاه و ریشه به مقادیر زیادی انرژی نیاز دارد. بنابراین برای افزایش k باید W افزایش پیدا کند، در نتیجه ما نمی توانیمσ یا آنتروپی را حتی با افزایش k پایین بیاوریم.

لذا سودمندترین استراتژی برای تولید پایدار غذا کاستن از انرژی‌های تأمین شده برای سیستم از منابع انسانی است. چنانچه در این مقاله پیشنهاد شده است عامل مهم مصرف پایدارتر انرژی در کشاورزی در توسعه مصرف انرژی‌های بیولوژیک نهفته است. نهاده‌های بیولوژیک نه تنها قابل تجدید بوده بلکه به طور محلی در دسترس و قابل کنترل هستند، از نظر محیطی بی‌خطر بوده و به سلامت اکولوژیکی اکوسیستم‌های کشاورزی کمک می‌کند.

انتروپی اضافی یک منطقه با اندازه زیادی به اختصاص زیست توده بین اندامهای هوایی و ریشه، نسبت اندامهای اقتصادی به کل زیست توده محیط بنفس و سیستم طبیعی که به عنوان مرجع در نظر گرفته می‌شود وابسته است. سیستم مرجع باید یک سیستم طبیعی بالغ باشد که مشابه آگرواکوسیستم مورد بررسی باشد. اکوسیستم دست‌کاری شده به وسیله انسان تنها در صورتی بدون تولید مقادیر مشخصی آنتروپی محیط را تخریب نمی‌کند که ساختار و کارکردش شبیه سیستم مرجع باشد. در شرایط اقلیمی و خاکی مشهد فرایند توالی منجر به توسعه اکوسیستمی مرتعی خواهد شد. در این مطالعه مقدار زیست توده یک اکوسیستم مرتع در شرایط مشهد ۲۵۰۰ kg در هکتار فرض شد. لذا در محاسبات تولید ناخالص اولیه یک اکوسیستم طبیعی(P_0) یا در نظر گرفتن محتوی انرژی زیست توده مرتعی معادل با Mj $35Gj\ ha^{-1}$ (۱۰) $14.3kg^{-1}$ در نظر گرفته شده است.

منابع

۱- زارع فیض‌آبادی، ا. (۱۳۷۷) بررسی کارایی انرژی و بازده اقتصادی نظام‌های زراعی متداول و اکولوژیک در شاوب‌های مختلف با گندم. پایان نامه دکتری تخصصی (PhD) دانشکده کشاورزی دانشگاه فردوسی مشهد، رشته زراعت. ۱۸۰ صفحه.

۲- نصیری محلاتی، م.، کوچکی، ع. ر.، رضوانی مقدم، ب.، بهشتی، ع. ر. (۱۳۸۰) اگرواکولوژی. انتشارات دانشگاه فردوسی مشهد. (ترجمه)

3. Bowers, W. (1992). Agriculture field equipment. In: Stout, B.A. (Ed.), Energy in World Agriculture, vol. 6. Elsevier, Amsterdam, pp.117-129

4. Deleage, P. (1970). Eco-energetic analysis of an agriculture system: the French case in 1970. Agro-Ecosystem 5, 345-365.

5. Dick, R. N. Paulus, J. and Ludlow, M. M. (1994). Conservation of traditional agroecosystems, Science, 37: 199-208.

6. Gliesman, S. R. (Ed.). (1990). Agroecology: Researching the Ecological Basis for Sustainable Agriculture. Springler-Verlag: New York.

7. Gliesman, S. R., Werner, M. R., Sweezy, S., Csswell, E., Cochran, J. and Rosado-May, F. (1996). Conversion to organic strawberry management changes ecological process. California Agriculture, 50: 24-31.

8. Hydro Agri Dulmen, A.G. (Ed.). (1993). Faustzahlen Fur Land writsechaft und Gartenbua. 12th ed. Landwirschaftsverlag, Munster-Hiltrup.

9. Jansen, D. M., Stoorvogel, J. J. and Schipper, R. A. (1995). Using sustainability indicator in agriculture land use analysis: An example from Costa Rica. Netherlands Journal of Agriculture Science, 43: 61-82.

10. Jeroch, H. (Ed.), (1993). Futtermittelkunde. In: G. Fischer Jena, pp. 510.

11. Liverman, D. M., Hanson, M. E., Brown, B. J. and Meridth, J. R. W. (1988). Global sustainability: Towards measurements. Environmental Management, 12:133-14.

12. Loewr, O. J., Benock, G., Gay, N., Smith, E. M., Burgess, S., Wells, L. C., Bridges, T. C., Springate, L., Boling, J. A., Bradford, G. and Debertin, D. (1977). Beef: production of beef with minimum grain and fossil energy inputs, I, II, III. Report to NSF, Washington DC.

13. Chartier, P. (1980). Energy from Biomass in Europe. Applied Science Publishers and Barking, pp.234.

14. Pimentel, D. (Ed.). (1980). Handbook of Energy Utilization in Agriculture. CRS press, Boca Raton, FL, p. 234.

15. Projektgemeinschaft Bioenergietrager.(1995).Ganzheirliche Bilanzierung von nachwachsenden energeitrragen unter verschiedenen okologischen aspecten. Material band 2: Anbau Nachwachsender Energeitrager.

16. Risser, P. G. (1995). Indicator of grassland sustainability: Afirst approximation. In Munasinghe, M. and Shearer, W. (Ed.), Defining and Measuring Sustainability: The Biophysical Foundation. pp. 310-319. World Bank: Washington, D.C.

17. Steinborn, W., and Svirezhew, Y. (2000). Entropy as an indicator of sustainability in agroecosystems: North Germany case study. Ecological Modeling, 133: 247-257.

18. Trumpler, D., (1995). Raumlich hochauflosende untersuchungen zum antropogenen Energiehaushalt im bereich der Bornhoveder Seenkette. Geographical Institue, University of Kiel, pp. 110.
19. Vetter, H., (1952). Menge und zusammensetzung der erenteruckstande bei den wichtigsten kulturpflanzen und verschiedenen fruchtfolgen auf lehmoboden und rohhumuushaltiigem heidesand. Kiel Univ., diss. pp. 217.
20. Wachendorf, C., (1995). Eigenschaften und dynamic der organizchen bodensubsstanz ausgewahlter nutzung einer norddeutschen moranenlandschaft. Ecosystems 13, 130.
21. Weisheit, K. (1995). Kohlenstoffdynamik am grunlandstundort: untersucht an 4 dominanten grasarten. Kiel Univ., Diss., pp. 141.

Using Entropy for Quantifying Sustainability in Agricultural Systems: A Case Study in Torogh Research Station

A. Koocheki[1], M. Nassiri Mahallati[2] and M. R. Asgharipour[3]

Abstract

In this paper a method for quantifying sustainability of agro-ecosystems, based on over-production of entropy, is suggested. It is demonstrated that how land management practices could change the excess of entropy in an agro-ecosystem. Different crops have different value of over-production of entropy. It is assumed that these differences are due to a varying, but in many cases an excessive; use of high artificial energy and characteristics of the crop by itself plays a minor role. While the method allows only for rough estimate of entropy in agro-ecosystems, it can be stated that, due to a reduction of artificial energy input, sustainability could be improved. Also the results of barley and sugar beet confirm this matter. Nevertheless, all the examined crops are far from reaching a sustainable state from a thermodynamic point of view.

Key words: Quantification of Sustainability, Agro-Ecosystems, Entropy, Energy

1. Professor of Agriculture Faculty in Ferdowsi University, Mashhad, Iran.

2. Assistant Professor of Agriculture Faculty in Ferdowsi University, Mashhad, Iran.

3. P. h. D. Student of Agriculture Faculty in Ferdowsi University, Mashhad, Iran.