

پایش علی انان، محلیزیت و توسعه پایدار  
باشگاه پژوهشگران جوان دانشگاه آزاد اسلامی واحد بهمان

۱۳۸۸/۱۲/۱۹

## کمی کردن پایداری در سیستم‌های کشاورزی؛ یک مطالعه موردی در مزرعه تحقیقاتی طرق

مریم صادقی قوجانی\*<sup>۱</sup>، محمد رضا اصغری پور<sup>۲</sup>

### چکیده:

در این مقاله روشی برای کمی کردن پایداری در سیستم‌های کشاورزی، بر اساس آنتروپی اضافی تولید شده بوسیله سیستم پیشنهاد می‌شود. همچنین نشان داده می‌شود چگونه آنتروپی تولید شده بوسیله سیستم با نحوه مدیریت زمین تغییر می‌کند. محصولات مختلف مقدار آنتروپی متفاوتی را دارا می‌باشند. این اختلافات به علل متفاوتی است، ولی در بسیاری از شرایط آنتروپی بالا به استفاده از نهاده‌های زیاد نسبت داده می‌شود. خصوصیات یک گیاه زراعی به تنهایی 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

۱- دانشجوی کارشناسی دانشگاه ملایر

۲- عضو باشگاه پژوهشگران جوان دانشگاه آزاد اسلامی واحد شیروان

مقدمه:

اصطلاحات «کشاورزی پایدار» به اشکال گوناگونی تعریف و به کار برده شده‌اند، اما در یک بیان کلی پایداری به نوعی ثبات عملکرد یعنی شرایطی که برداشت زری توده از سیستم را تداوم بخشد، اطلاق می‌شود (۲). وقتی که یک سیستم با هدف پایداری طراحی می‌شود، کشاورزان باید این توانایی را داشته باشند تعیین کنند آیا سیستم به کارکرد پایدار رسیده است یا خیر. اکولوژی مجموعه‌ای از روش‌ها برای کمی‌سازی خصوصیات اکوسیستم‌ها از جمله چرخه مواد، جریان انرژی، پویایی جمعیت، اثرات متقابل گونه‌ها و تغییرات محیط را دارا می‌باشد. از جمله پارامترهای اکولوژیکی که برای کمی کردن پایداری در سیستم‌های کشاورزی استفاده شده است، مقدار مواد آلی خاک (۴)، نسبت نهاده به بازده برای هر عنصر غذایی پر مصرف (۵)، شاخص استفاده از سموم (۵)، سرمایه گذاری بیوفیزیکی اکوسیستم (۵)، فعالیت آنزیمی خاک (۳)، مقدار محصول سرپا (۷) و تنوع گونه‌های گیاهی (۷) بوده است.

مقدار اندک این نوع اطلاعات حاکی از آن است که تحقیقات بسیار زیادی از این نوع مورد نیاز است. اما آنتروپی (معیاری از بی‌نظمی سیستم‌های فیزیکی) می‌تواند به عنوان 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 آنتروپی اضافی دارد نمی‌تواند در یک دوره زمانی نسبتاً طولانی پایدار باقی بماند و قطعاً تخریب خواهد شد (۸). در این بررسی آنتروپی به عنوان معیاری از پایداری در نقطه مقابل تخریب، برای نشان دادن وضعیت یک اکوسیستم مانند یک مزرعه استفاده شد. در این بررسی از رهیافت‌های ترمودینامیکی پیشنهاد شده بوسیله استینبرن و سویزرف (۸) استفاده شد.

## مواد و روش‌ها:

### روش محاسبه آنتروپی:

پیمتتل (۶) معتقد بود که ارتباط بین عملکرد محصول ( $y$ ) و انرژی‌های ورودی ( $W$ ) خطی است.

$$y = \eta W$$

ضریب کارایی انرژی ( $\eta$ ) در اکوسیستم‌های زیادی محاسبه شده است. این ضریب بر اساس قانون دوم ترمودینامیک همیشه کمتر از واحد است. اما در مورد اگر اکوسیستم‌ها معمولاً بیشتر از یک می‌شود. زیرا ما انرژی ورودی از تشعشع خورشید ( $E_s$ ) را در نظر نگرفته‌ایم. بنابراین معادله پیمتتل (۱۴) را باید به شرح ذیل اصلاح کرد:

$$y = \eta (W + E_s)$$
$$\eta = y / (W + E_s)$$

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

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

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 با افزایش جریان انرژی مصنوعی در اکوسیستم در ارتباط است. اما جریان انرژی بر طبق قانون دوم ترمودینامیک تنها تا حدی می‌تواند افزایش عملکرد را سبب شود. به عبارت دیگر ما بهای افزایش تولید را با تخریب محیط زیست می‌پردازیم. در یک سیستم باز کلیه تغییرات آنتروپی از دو منبع ناشی می‌شود:

$$dS_{(t)} = \sigma = d_i S_{(t)} + d_e S_{(t)} \quad [2]$$

که،  $dS_{(t)} = (\sigma)$  کل آنروپی،  $d_i S_{(t)}$  آنروپی تولیدی سیستم و  $d_e S_{(t)}$  آنروپی انتقالی از خارج سیستم می باشد.  
 $d_i S_{(t)} = dQ_{(t)} / T_{(t)} \cdot dQ_{(t)}$   
 $dQ_{(t)}$  گرمای تولید شده به وسیله واکنش های برگشت ناپذیر انجام شده بوسیله سیستم و  $T_{(t)}$  درجه حرارت محیط (در مقیاس کلوین) در نقطه ای مشخص از سطح زمین است که بوسیله آگرواکوسیستم اشغال می شود.  
 بنابراین معادله کل آنروپی برابر است با؛

$$\sigma = 1/T (W + \lambda P_1 - P_0) \quad [3]$$

که  $T$  درجه حرارت در طول فصل رشد و  $W$  مقدار انرژی های ورودی مصنوعی سالانه است. اگر  $\lambda P_1$  را بخشی از تولید ناخالص سالیانه اکوسیستم فرض کنیم،  $P_1$  بخشی از تولید است که به صورت تنفس و بقایا از دسترس خارج شده، و یا از مزرعه خارج نمی شود. پس:

$$d_i S_{(t)} = (W + \lambda P_1) / T.$$

همچنین،

$$d_e S_{(t)} = -P_0 / T$$

که  $P_0$  تولید ناخالص اولیه (GPP) یک اکوسیستم طبیعی مشابه با اکوسیستم مزرعه می باشد.  
 تولید خالص در یک سیستم با عبارت  $(1-r)P_1$  متناسب است.  $r$  ضریب تنفسی یا بخشی از تولید ناخالص اولیه است که صرف فعالیت های حیاتی خود گیاه می شود. لذا عملکرد محصول برابر است با:

$$y = k (1-r) P_1. \quad [4]$$

$k$  آن بخشی 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:

$$\lambda P_1 = (1-k)(1-r) P_1 \text{ residue} + r P_1 \text{ respiration} = (1-k+kr) P_1. \quad [5]$$

$P_1 \text{ residue}$  و  $P_1 \text{ respiration}$  به ترتیب بخش هایی از عملکرد است که به صورت بقایا و تنفس تلف می شود.  
 با استفاده از معادله [4] می توان معادله [5] را باز نویسی کرد.

$$\lambda P_1 = (1 - k + k_r) P_1 = ((1-S)/S) y$$

که  $S$  بخشی از تولید ناخالص است که به صورت محصول اقتصادی از مزرعه خارج می شود،

پس

$$S = k (1-r) \quad [6]$$

در نهایت موازنه آنروپی آگرواکوسیستم به شکل زیر بیان خواهد شد.

$$\sigma = \frac{1}{T} (W + \frac{1-s}{S} y - P_0). \quad [7]$$

مقدار تولید ناخالص یک اکوسیستم طبیعی در شرایط مشهد 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؛

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

$$= \frac{1}{T} [y(\frac{1}{\eta} + \frac{1}{S} - 1) - P_0] \quad [8]$$

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

چنانچه در بخش اول معادله [۸] که فقط  $W$  دارد، مقدار آنتروپی اضافی بوسیله سیستم را صفر فرض کنیم ( $\sigma = 0$ )، تخمینی برای حداکثر انرژی که مجازیم به سیستم وارد کنیم تا سیستم در وضعیت پایدار باقی بماند، بدست می‌آید.

$$W_{cr} = \frac{P_o}{1 - \eta + (\eta / s)} \quad [9]$$

$W_{er}$  حداکثر انرژی است که انسان می‌تواند وارد سیستم کند، تا سیستم در وضعیت پایدار باقی بماند. این انرژی شامل تمام دخالت‌های انسان (شامل خاکورزی، کوددهی، آبیاری، کنترل آفات، برداشت، حمل و نقل، خشک کردن و غیره) چنانچه  $W > W_{er}$  باشد، آنگاه  $\sigma > 0$  است، و چنین سیستمی 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 را بر مبنای محتوای انرژی وزن خشک محاسبه شد.

$$y_{cr} = \frac{P_o}{(1/s) + (1/\eta) - 1} \quad [10]$$

$Y_{er}$  یعنی عملکرد در شرایط پایدار.

### خصوصیات محل آزمایش:

داده‌های مورد نیاز برای این مطالعه از اراضی مزرعه تحقیقاتی کشاورزی طرق (جدول ۱) با عرض جغرافیایی  $36^\circ$  و  $16'$  شمالی و طول جغرافیایی  $59^\circ$  و  $38'$  شرقی و ارتفاع  $985$  متر از دریا جمع آوری شد. متوسط بارندگی سالانه مشهد  $286$  میلیمتر و آب و هوای آن بر اساس اقلیم نمای آمبرژه خشک و سرد می‌باشد.

### محاسبه انرژی‌های ورودی و خروجی به مزرعه:

جهت بررسی میزان ورود و خروج انرژی در تولید محصولات زراعی در مزرعه تحقیقاتی طرق کلیه محاسبات بر اساس آمار ارائه شده توسط مسئولین مزرعه تنظیم گردید. نهاده‌ها شامل انرژی مورد نیاز برای ساخت ماشین آلات، سوخت، کودهای شیمیایی، مقدار آب آبیاری، آفت کش‌ها و نیروی انسانی می‌شود. برای تعیین انرژی وارد شده بوسیله هر جزء ورودی ضریب تبدیلی مورد نیاز بود. محتوای کل انرژی نهاده‌های مختلف از منابع استخراج گردید (۱). ضریب تنفس در محل مطالعه  $0/35$  می‌باشد (۱). این مقدار برای تخمین  $GPP$  (تولید ناخالص اولیه) بر اساس  $NPP$  (تولید خالص اولیه) استفاده شد. با استفاده از مقادیر تولید ناخالص و خالص اگر اکوسیستم 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 شد (جدول ۳).

جدول ۱: سطح زیر کاشت، انرژی ورودی و خروجی هریک از محصولات بررسی شده در مزرعه تحقیقاتی دانشگاه در سال زراعی ۸۶-۸۷

گیاه زراعی	سطح زیر کاشت (ha)	انرژی ورودی (Gj ha <sup>-1</sup> )	انرژی خروجی (Gj ha <sup>-1</sup> )	$\eta$ (output/input)
گندم	۲۰	۳۵/۲۴	۱۲۶	۳/۵۷
جو آبی	۳۰	۳۱/۱۷	۹۸/۰۵	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 ۲: محتوای انرژی ناخالص محصولات بررسی شده (۱۰)

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

جدول ۳: 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	۰/۹۳	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 و بحث:

همانطور که در شکل ۲ ملاحظه می‌شود، بیشترین مصرف انرژی در مزرعه برای کودهای شیمیایی به خصوص کود ازته که در این محاسبه حدود ۲۷٪ انرژی را به خود اختصاص داده است، مصرف می‌شود. بعد از کودهای شیمیایی به ترتیب مصرف سوخت جهت استفاده از ادوات، آبیاری، و انرژی مورد نیاز برای ساخت ادوات در خارج از مزرعه قرار داشتند. 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 در کشاورزی مدرن برای تولید کودهای نیتروژن مصرف می‌شود (۱۴). مقدار زیاد این انرژی به مقدار زیاد مصرف کود و مقدار زیاد انرژی که برای تولید کودهای نیتروژن مصرف می‌شود نسبت داده می‌شود. 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 کارآمد است. بیش از ۷۰٪ آبی که برای محصولات زراعی به کار می‌رود هرگز به وسیله گیاه استفاده نمی‌شود (۲). در واقع این آب زهکشی شده یا به صورت تبخیر از مزرعه خارج می‌شود. بخشی از این ضایعات آب اجتناب ناپذیر است، اما اگر عملیات کشاورزی به سمت ذخیره آب و نه در جهت حداکثر کردن تولید هدایت شود، مقدار زیادی از ضایعات آب تقلیل خواهد یافت (۱ و ۲). از مجموع کل انرژی‌های ورودی به کشاورزی ۲۶٪ آن، در تولید ماشین‌آلات کشاورزی در خارج از مزرعه و انرژی مورد نیاز برای راه اندازی آنها در مزرعه مصرف می‌شود.

برای نشان دادن چگونگی انجام محاسبات، این محاسبات برای گندم آورده شده است. برای محاسبه بالانس آنتروپی اضافی تولید شده مزرعه گندم از معادله [۸] استفاده شد. انرژی ورودی برای گندم  $35/26 \text{ GJ ha}^{-1}$  و انرژی خروجی (کاه و دانه) معادل  $126 \text{ GJ ha}^{-1}$  (جدول ۲) می‌باشد. با استفاده از این مقادیر نسبت  $\eta$  (خروجی به ورودی) محاسبه شد.

$$\eta = 35/26 / 126 \approx 3/57$$

مقدار  $k$  برای گندم  $0/74$  گزارش شده است (جدول ۳). در این بررسی از یک ضریب تنفسی عمومی که بوسیله زارع فیض‌آبادی (۱) برای چندین گونه زراعی در محل مطالعه گزارش شده بود، استفاده شد. مقدار  $S$  به شکل  $S = 0/481$   $k(1-r) =$  محاسبه شد. با فرض مقدار  $P_0 = 35 \text{ GJ ha}^{-1}$  برای یک اکوسیستم طبیعی در شرایط مشهد و میانگین دمای هوا در طول فصل رشد برابر با  $290^\circ\text{K}$  و جایگزینی تمام این مقادیر در معادله [۸] داریم:

$$\sigma \approx 4696 \text{ GJ ha}^{-1} \text{ k}^{-1}$$

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

$$W_{er} \approx 7/21 \text{ GJ ha}^{-1}$$

$$y_{er} \approx 25/75 \text{ GJ ha}^{-1}$$

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

$$S_d = \frac{W - W_{er}}{W_{er}} = \frac{y - y_{cr}}{y_{cr}} \quad [11]$$

با استفاده از این معادله ما قادر خواهیم بود فاصله از حالت پایدار را کمی کنیم. این مقدار برای مزرعه گندم ۰/۷۹  $S_d$  نبود. این محاسبات برای سایر محصولات نیز انجام شد. نتایج این محاسبات در جدول ۴ ارائه شده است. می توان گفت میزان آنروپی در مزرعه جو به خصوص جو دیم، از سایر مزارع کمتر و میزان آنروپی در مزرعه چغندر قند، بیشترین است. معیار انحراف از وضعیت پایدار نیز روند مشابه ای را نشان می دهد.



شکل ۱: مقایسه انرژی استفاده شده از طریق هر یک از نهاده ها در مزرعه تحقیقاتی دانشگاه فردوسی مشهد در سال زراعی ۸۶-۷

جدول ۴: آنروپی اضافی تولید شده و انحراف از وضعیت پایدار

برای محصولات مختلف در سال زراعی ۸۶-۸۷

گیاه زراعی	اضافی آنروپی ( $Gj ha^{-1} K^{-1}$ )	$W_{er}$ ( $Gj ha^{-1}$ )	انرژی ورودی ( $Gj ha^{-1}$ )	$Y_{er}$ ( $Gj ha^{-1}$ )	انرژی خروجی ( $Gj ha^{-1}$ )	$S_d$
گندم	۰/۴۶۹۶	۷/۲۱۳۵	۳۵/۲۴	۲۵/۷۵۴	۱۲۶/۰۰	۰/۷۹۵
جو آبی	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	۰/۴۴۶۶	۶/۵۷۹	۳۱/۶۸	۲۵/۰۰	۱۲۰/۴۱	۰/۷۹۳
علوفه ای						
چغندر قند	۰/۷۴۶۰	۱۷/۳۷۸	۱۲۶/۵۸	۲۶/۹۴۳	۱۹۶/۰۰	۰/۸۶۳

$S_d$  = انحراف سیستم از حالت پایدار

$Y_{er}$  = مقدار عملکرد در شرایط پایدار

$W_{er}$  = حداکثر مقدار مجاز انرژی وارد شده به یک سیستم

آنتروپی تولید شده در کشاورزی تا حدود زیادی با میزان تغییرات در فرایندهای اکوسیستم طبیعی ارتباط دارد. بنابراین پایین بودن میزان آنتروپی 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 می‌توان به شکل زیر بازنویسی کرد.

$$\sigma = \frac{1}{T} [W + (\frac{1}{k(1-r)} - 1)y]. \quad [12]$$

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

۱- مصرف انرژی ورودی،  $W$ ، کمتر؛ 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 از انرژی نهاده‌های صنعتی و افزایش انرژی‌های بیولوژیک، مقدار مواد غذایی را با کارایی بیشتری از نظر انرژی تولید می‌کنند.

۲- کاستن از مقدار انرژی خروجی،  $y$ ؛ اما 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 زیست توده از سیستم؛ یعنی استفاده از بخش بزرگتری از زی‌توده به عنوان عملکرد اقتصادی (که سبب افزایش مقدار  $k$  در معادله ۱۲ می‌شود)، به عنوان مثال با خارج کردن کاه بیشتری 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 و نمی‌تواند مورد نظر کشاورزی پایدار باشد.

چنانچه در این مقاله پیشنهاد شد، 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.

## منابع و مأخذ:

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

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

3- Dick, R. N. Paulus, J., And Ludlow, M.M. 1994. Conservation of traditional agroecosystems. Science. 37: 199-208.

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

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

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



- 7- Risser, P.G. 1995. Indicator of grassland sustainability: A first approximation. In M. Munasinghe and W. Shearer (Ed.), *Defining and Measuring Sustainability: The Biophysical Foundation*. Pp. 310-319. World Bank: Washington, D.C.
- 8- Steinborn, W., and Svirezhev, Y. 2000. Entropy as an indicator of sustainability in agroecosystems: North Germany case study. *Ecological Modelling* 133: 247-257.

# **Using entropy for quantifying sustainability in agricultural systems: A case study in Torogh research station**

*M. Sadeghi-Ghoghani and M. Asgharipour*

## **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 agroecosystem. 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 agor-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.

**Keyword:** Quantification of sustainability, agro-ecosystems, entropy, and energy