فصلنامه علوم‌محیطی، دوره دوازدهم، شماره ۲، تابستان ۱۳۹۳

۱-۱۰

مطالعه سلامت اگرواکوسیستم‌ها با استفاده از کارایی مصرف انرژی و آنتروپی تولیدشده

محمدرضا اصغری‌پور[۱*]، فرشته سلیمان‌عزیزی[۲] و محمود رمرودی[۱]

[۱] دانشیار گروه زراعت، دانشکده کشاورزی، دانشگاه زابل

[۲] دانشجوی کارشناسی ارشد اگرواکولوژی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه زابل

تاریخ دریافت: ۹۲/۴/۴ تاریخ پذیرش: ۹۳/۵/۲۳

چکیده

در کشاورزی نیازی روز افزونی به یک چارچوب استاندارد برای سنجش و ارزیابی پایداری وجود دارد. در سال‌های اخیر تعداد زیادی از مدل‌های شبیه‌سازی سیستمی به‌منظور ارزیابی پایداری کشت بوم‌ها توسعه یافته‌اند. در این مقاله به‌اختصار روشی برای ارزیابی سلامت بوم‌نظام‌های کشاورزی بر مبنای کارایی مصرف انرژی و آنتروپی اضافی تولید شده در سیستم تبیین می‌شود. سپس پایداری کشت بوم با استفاده از پارامترهای ورودی و خروجی مجتمع کشت و صنعت جوین سبزوار در سال ۸۵-۱۳۸۴ و ۹۰-۱۳۸۹ مورد بررسی قرار می‌گیرد. نتایج نشان داد، محصولات مختلف پایداری اکولوژیکی مختلفی را دارا می‌باشند. این اختلافات علل متفاوتی دارد، ولی در بسیاری از موارد 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 بوم‌نظام کشاورزی به ما می‌دهد، اما با این روش می‌توان اثبات کرد با کاهش انرژی‌های ورودی مصنوعی پایداری بهبود پیدا می‌کند، مقایسه نتایج سال ۹۰-۱۳۸۹ و ۸۵-۱۳۸۴ این موضوع را تایید می‌کند. در مجموع هیچ‌کدام از گیاهان بررسی شده در دو سال مطالعه از نظر ترمودینامیکی وضعیت پایداری نداشتند.

کلمات‌کلیدی: بوم‌نظام کشاورزی، کمّی کردن پایداری، آنتروپی، کارآیی مصرف انرژی.

Evaluation of Agro-Ecosystem Health Using Energy-Use Efficiency and Overproduction of Entropy

Mohammad Reza Asgharipour,[1*] Fereshte Soleymanazizi[2] & Mahmoud Ramroudi[1]

[1] *Associate Professor, Department of Agronomy, Faculty of Agriculture, University of Zabol, Zabol, Iran*

[2] *MSc. Student in Agroecology, Faculty of Agriculture, University of Zabol, Zabol, Iran*

Abstract

There is an increasing call for a standardized framework to monitor and evaluate sustainability in agriculture. In recent years, a large number of models of system simulation have been developed in order to assess agro-ecosystems sustainability. This paper presents a brief description of an indicator for the sustainability of agro-ecosystems, based on the energy efficiency and overproduction of entropy. Agro-ecosystem sustainability is then evaluated using energetic input and output parameters of Jovain Agricultural and Industrial Company in Sabzevar in 2005 and 2009. The results indicated that the different kind of crops have different environmental sustainability. Various reasons could be caused these differences, but in many cases the extensive use of inputs was the important reason. The characteristics of the crop itself play a minor role. Although the method allows only rough estimations of entropy in agro-ecosystems. It can be stated that, sustainability was improved due to a reduction of artificial energy input comparing to the results that obtained in 2005 and 2009. Nevertheless, all the examined crop fields are far from reaching a sustainable state from a thermodynamic point of view in both years.

Keywords: Agro-ecosystem, Sustainability quantification, Entropy, Energy-use efficiency.

* Corresponding author. *E-mail Address*: m_asgharipour@uoz.ac.ir

۱- مقدمه

آنچه امروزه توجه مجامع علمی را به توسعه پایدار جلب نموده، عوارض زیست‌محیطی ناشی از اجرای برنامه‌های کشاورزی مبتنی بر انقلاب سبز است. تخریب خاک، تلفات گسترده آب، اتکا به نهاده‌های خارجی، زوال تنوع ژنتیکی، آلودگی آب‌های سطحی، بیابان زایی در مناطق خشک و نیمه خشک و مانند این‌ها عوارضی است که بیش‌تر ناشی از اثر استفاده از ارقام پر محصول همراه با مصرف بیش‌تر آب، کود شیمیایی، سموم دفع آفات و گسترش کشاورزی به زمین‌های حاشیه‌ای است [۱، ۲].

اساساً تعریف واحدی برای کشاورزی پایدار وجود ندارد [۳، ۴، ۵]. برخی از محققین از دید اکولوژیکی به کشاورزی پایدار نگریسته‌اند و برخی دیگر این اصطلاح را فراتر از تضمین جنبه‌های اکولوژیکی صرف دانسته و آن را در برگیرنده جنبه‌های اخلاق، رشد پایدار، پایداری نهاده‌ها و جوامع روستایی نیز می‌دانند [۶]. پس از انتشار گزارش برانت لند تحت عنوان «آینده مشترک ما» در سال ۱۹۸۷ تعاریف مختلفی از پایداری و کشاورزی پایدار ارائه شد [۷]، اما شاید بهترین و جامع‌ترین تعریف درباره کشاورزی پایدار در همین گزارش برانت لند ارائه گردیده است. این کمیسیون کشاورزی پایدار را سیستمی می‌داند که نیازهای زمان حال را بر طرف سازد بدون آنکه از توانایی نسل‌های آینده برای ارضای نیازهایشان مایه بگذارد [۸].

مفهوم پایداری در کشاورزی و سنجش و ارزیابی پایداری دو رکن جدایی ناپذیر قلمداد می‌شوند، به بیانی دیگر پایداری باید در قالب هدفی اندازه‌گیری شدنی درآید. چرا که اهتمام به نظام‌های ارزیابی پایداری کشاورزی به‌منظور درک علمی سیاست و طراحی توسعه پایدار کشاورزی، ضروری است [۹]. مقبول‌ترین رهیافت برای اندازه‌گیری پایداری و توسعه پایدار، به کارگیری معرف‌ها و شاخص‌هاست [۱۰]. تعاریف متعددی که از مفهوم پایداری، روش‌های دست‌یابی و اهداف آن از سوی محققان مختلف ارائه گردیده، موجب شده که به تبع آن، شاخص‌ها، معیارها و روش‌های متفاوتی نیز جهت سنجش میزان پایداری، پیشنهاد شود.

اصل اول ترمودینامیک برای انرژی موجودیتی از بین رفتنی قائل بود، زیرا می‌توانست از حالتی به حالت دیگر تبدیل شود. اصل دوم که کارنو آن را مطرح و کلوسیوس فرموله کرد، نه تنها ایده اتلاف بلکه زوال و از بین رفتن انرژی را مطرح ساخت. طبق این اصل، تمام اشکال انرژی می‌تواند از یکی به دیگری تبدیل شود و در نتیجه این تبدیل، مقداری از قابلیت انجام کار را از دست می‌دهد. کلوسیوس، این کاهش جایگزین نشدنی قابلیت تبدیل و انجام کار را که خاص حرارت بود آنتروپی نامید [۱۱]. آنتروپی رفتار توزیع انرژی است. آنتروپی افزون بر تعیین کمیت انرژی، کیفیت انرژی را نیز اندازه‌گیری می‌کند و این کیفیت، اندازه‌گیری بی‌نظمی در یک سیستم است. در واقع آنتروپی، یک معیار سنجش از بی‌نظمی در یک سیستم است. شاخص آنتروپی میزان بی‌نظمی را در محیط نشان می‌دهد. به طور خلاصه، آنتروپی به معنای کمیتی از بی‌نظمی بین علل و نتایج یا تصمیم‌گیری‌ها در موضوع‌های مختلف مورد بحث است [۱۲، ۱۳]. علاوه‌بر کار، حرارت و انرژی مفهوم پایداری در کشاورزی نیز با مفهوم آنتروپی پیوند یافته است؛ پایداری عبارت از نظم یا نگانتروپی است و حداکثر آنتروپی حداکثر بی‌نظمی یا نبود پایداری در یک نظام فیزیکی است. به‌عبارت دیگر، آنتروپی در برداشت بسیار رایج خود نه تنها بی‌نظمی یا نبود سازمان در یک نظام فیریکی، بلکه کاهش سطح پایداری درباره موضوع مورد مشاهده خود را نیز می‌سنجد [۱۴].

در این پژوهش با استفاده از آنتروپی تولید شده به‌وسیله یک سیستم روشی برای ایجاد شاخصه‌ای که تاثیرات کاربری زمین بر پایداری را توصیف می‌کند (شاخص تأثیرگذاری[۱])، ارائه می‌شود. شاخصه تاثیرگذاری این‌جا به‌عنوان سنجه‌ای جهت ارزیابی سهم یک سیستم کاربری زمین در تهدیدات پایداری[۲] [۱۵] یا محدودیت‌های پایداری[۳] [۱۶] معرفی می‌شود. با استفاده از این شاخصه تاثیرات منفی و مثبت یک عملیات یا نهاده خاص به خوبی قابل ارزیابی است. در این مطالعه از رهیافت‌های ترمودینامیکی پیشنهاد شده به‌وسیله استینبرن و سویرژف [۱۲] استفاده می‌شود. ابتدا ساختار مدل اندازه‌گیری پایداری توصیف شده و به‌منظور افزایش شفافیت، فرضیات اساسی و مفاهیم مورد بحث قرار می‌گیرد. سپس این روش در یک مطالعه موردی برای ارزیابی پایداری محصولات مختلف مجتمع کشت و صنعت جوین سبزوار مورد استفاده قرار خواهد گرفت.

۲- مواد و روش‌ها

۲-۱- ساختار مدل محاسبه شاخص تاثیرگذاری در سیستم و پارامترهای مدل

چهار قانون ترمودینامیک کمیت‌های بنیادی فیزیک (دما، انرژی و آنتروپی) را که تشکیل دهنده سیستم ترمودینامیکی هستند، تعریف می‌کنند. عمل قانون دوم ترمودینامیک به‌وضوح در بوم‌نظام‌های کشاورزی دیده می‌شود، با این‌حال در سیستم‌های کشاورزی رایج به علت ورود دائمی انرژی‌های یارانه‌ای از خارج به داخل سیستم، معمولا عملکردهای بالا حاصل می‌شود. پیمنتل معتقد بود رابطه بین عملکرد محصول، y و مقدار انرژی یارانه‌ای ورودی، W، خطی است، $y=\eta W$. ضریب تجربی کارآیی انرژی، η در اگرواکوسیستم‌های مختلف در کشورها و مناطق زیادی محاسبه شده است. ضریب η شکلی از ضریب کارآیی ترمودینامیک و پیامد قانون اول ترمودینامیک است. این ضریب بر اساس قانون دوم ترمودینامیک همیشه کم‌تر از واحد است. اما در مورد اکوسیستم‌های کشاورزی معمولا بیش‌تر از یک می‌شود، چرا که در محاسبات انرژی ورودی از خورشید در نظر نگرفته نمی‌شود.

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. به‌عبارت دیگر ما بهای افزایش تولید را با تخریب محیط‌زیست به‌خصوص خاک خواهیم پرداخت [۱۲].

تغییرات آنتروپی یک سیستم باز از دو منبع ناشی می‌شود:

$$dS_{(t)} = \sigma = d_iS_{(t)} + d_eS_{(t)} \qquad (۱)$$

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 به‌وسیله واکنش‌های برگشت ناپذیر انجام شده به‌وسیله سیستم و $T_{(t)}$ درجه حرارت محیط (در مقیاس کلوین) در نقطه‌ای مشخص از سطح زمین است که به‌وسیله اگرواکوسیستم اشغال می‌شود. بنابراین معادله کل آنتروپی برابر است با؛

$$\sigma = 1/T\,(W + \lambda P_1 - P_0) \qquad (۲)$$

که T درجه حرارت در طول فصل رشد و W مقدار انرژی‌های ورودی مصنوعی سالانه است. اگر λP_1 را بخشی از تولید ناخالص سالیانه اکوسیستم فرض کنیم، P_1 بخشی از تولید است که به‌صورت 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 P_1 $(1\text{-}r)$ متناسب است. r ضریب تنفسی یا بخشی از تولید ناخالص اولیه است که صرف فعالیت‌های حیاتی خود گیاه می‌شود. لذا عملکرد محصول برابر است با:

$$y = k\,(1\text{-}r)P_1 \qquad (۳)$$

k آن بخشی از تولید خالص است که به‌صورت عملکرد از سیستم خارج می‌شود. مقدار بقایا برابر است با:

$(1\text{-}K)\,(1\text{-}r)\,P_1$

پس:

$$\lambda P_1 = (1\text{-}k)(1\text{-}r)\,P_{1\ residue} + rP_{1\ respiration}$$
$$= (1\text{-}k+kr)\,P_1. \qquad (۴)$$

$P_{1\ residue}$ و $P_{1\ respiration}$ به‌ترتیب بخش‌هایی از عملکرد است که به‌صورت بقایا و تنفس تلف می‌شود.

با استفاده از معادله ۳ می‌توان معادله ۴ را بازنویسی کرد.

$\lambda P1= (1 - k + k_r)P_1 = ((1\text{-}S)/S)\,y$

که S بخشی از تولید ناخالص که به‌صورت محصول اقتصادی از مزرعه خارج می‌شود، پس

$$S= k\,(1\text{-}r) \qquad (۵)$$

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

$$\sigma = \frac{1}{T}\left(W + \frac{1-S}{S}y - P_o\right) \qquad (۶)$$

با استفاده از رابطه پیمنتل ($y=\eta W$) داریم؛

$$\sigma = \frac{1}{T}[W(1-\eta+\frac{\eta}{s}) - Po] = \frac{1}{T}[y(\frac{1}{\eta}+\frac{1}{S}-1) - P_o] \qquad (۷)$$

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

چنانچه در بخش اول معادله ۶ که فقط W دارد، مقدار آنتروپی اضافی تولید شده به‌وسیله سیستم را صفر

فرض شود ($\sigma = 0$)، تخمینی برای حداکثر انرژی که مجازیم به سیستم وارد کنیم تا سیستم در وضعیت پایدار باقی بماند، بدست می‌آید.

$$W_{cr} = \frac{P_o}{1-\eta+(\eta/s)} \quad (۸)$$

W_{er}، حداکثر انرژی است که می‌تواند وارد سیستم شود و سیستم در وضعیت پایدار باقی بماند. این انرژی شامل تمام دخالت‌های انسان (شامل خاکورزی، کوددهی، آبیاری، کنترل آفات، برداشت، حمل و نقل، خشک‌کردن و غیره می‌شود)، چنانچه $W > W_{er}$ باشد، آنگاه $\sigma>0$ است، و چنین سیستمی محیط‌زیست را تخریب می‌کند.

با استفاده از بخش دوم معادله ۶ که فقط y دارد، حداکثر عملکرد یک سیستم پایدار یعنی یک مزرعه در وضعیت پایدار را بر مبنای محتوای انرژی وزن خشک محاسبه شد.

$$y_{cr} = \frac{P_o}{(1/s)+(1/\eta)-1} \quad (۹)$$

y_{er} یعنی عملکرد در شرایط پایدار

مقدار P_0 و تنفس پوشش گیاهی با استفاده از مدل FBEM[۴] (مدل بوم‌نظام مبتنی بر جریان)توصیف شده توسط وو و همکاران (Wu *et al.*, 2009) تخمین زده شد. به طور خلاصه در این روش مقدار P_0 و تنفس پوشش گیاهی به‌وسیله متغییرهای محیطی محاسبه می‌شود. تنفس پوشش گیاهی به شکل تابعی از درجه حرارت (T, °C) و معادله Q_{10} ون هوف تخمین زده شد [۱۷].

$$ER = ER_0 \times Q_{10}^{T/10} \quad (۱۰)$$

ER_0 مقدار تنفس بوم‌نظام در صفر درجه سانتی‌گراد و Q_{10} نسبت افزایش (ER/ER_0) تنفس به‌ازای افزایش هر ۱۰ درجه سانتی‌گراد می‌باشد.

مقدار تولید ناخالص از طریق معادله زیر تخمین زده شد؛

$$P_0 = NEE + ER \quad (۱۱)$$

در این معادله NEE، تبادلات خالص بوم‌نظام[۵]، P_0، تولید ناخالص اولیه[۶] و ER تنفس بوم‌نظام[۷] می‌باشد.

۲-۲- منطقه مورد مطالعه و داده‌های مورد استفاده

داده‌های مورد نیاز برای این مطالعه از اراضی شرکت کشاورزی برکت جوین وابسته به مجتمع کشت و صنعت جوین واقع در شمال شهرستان سبزوار با مختصات جغرافیایی ۵۶°۳۰ تا ´۵۸°۳۰ شرقی و ´۱۵°۳۶ تا ´۴۵°۳۶ شمالی جمع‌آوری گردید. مساحت اراضی شرکت ۸۶۰۰ هکتار و محصولات آن شامل گندم، جو، یونجه، چغندرقند و ذرت می‌شود. بافت خاک غالب مجتمع لوم-شنی و میانگین بارندگی سالیانه آن ۱۸۰ میلی‌متر می‌باشد.

داده‌های مورد نیاز برای این مطالعه بر اساس آمار ارائه شده توسط مسئولین در سال‌های ۸۵-۱۳۸۴ و ۹۰-۱۳۸۹ به‌دست آمد. در این بررسی ابتدا اطلاعات مربوط به سطح زیر کشت، عملکرد و تولید هر محصول جمع‌آوری شد، سپس کلیه فعالیت‌های زراعی از قبیل آماده‌سازی زمین، میزان بذر مصرفی، میزان آب آبیاری، کودها، سموم شیمیایی مصرفی و نیروی انسانی مورد نیاز و غیره در محصولات مختلف مشخص شد. برای تعیین انرژی وارد شده به‌وسیله هر جزء ورودی محتوای کل انرژی نهاده های مختلف از منابع استخراج گردید. داده‌های بدست آمده پس از دسته‌بندی و پردازش براساس به معادل انرژی، تبدیل و کلیه نهاده‌های ورودی و خروجی به واحد انرژی تبدیل شده تا براساس روابط مربوطه، میزان آنتروپی اضافی تولید شده در سیستم، مقدار انحراف سیستم‌ها از وضعیت پایدار (وضعیت پایداری) محاسبه شد. به‌منظور برآورد میزان انرژی‌های ورودی و خروجی در مزارع معادل انرژی نهاده‌های مختلف در جدول ۱ ارائه شده است.

۳- نتایج و بحث

مساحت زمین‌های زیر کشت از سال زراعی ۸۵-۱۳۸۴ تا ۹۰-۱۳۸۹ در شرکت کشاورزی برکت جوین وابسته به مجتمع کشت و صنعت جوین سبزوار با افزایشی ۳۲ درصدی از ۳۱۵۰ هکتار به ۴۱۵۵ هکتار افزایش یافت. هم‌چنین تغییر در سطح زیر کشت محصولات مختلف نیز قابل ملاحظه بود، به‌طوری‌که در سال زراعی ۸۵-۱۳۸۴ سهم محصولات گندم، جو، چغندرقند، ذرت بذری و یونجه از کل سطح زیر کشت محصولات زراعی مجتمع به‌ترتیب ۵۷٪، ۱۳٪، ۲۵٪، ۱٪ و ۴٪ بود. این نسبت‌ها در سال زراعی ۹۰-۱۳۸۹ برای محصولات گندم، جو، چغندرقند، ذرت بذری و یونجه به‌ترتیب ۴۸٪، ۱۷٪، ۱۰٪، ۵٪ و ۲۰٪ از کل سطح زیر کشت محصولات زراعی تغییر کرد (جدول ۲).

جدول ۱- معادل‌های انرژی برای نهاده‌های ورودی و خروجی مورد استفاده برای تولید گندم، جو، ذرت، چغندرقند و یونجه

		معادل انرژی (مگاژول در واحد)				
ورودی	**واحد**	**گندم**	**جو**	**ذرت**	**چغندر قند**	**یونجه**
نیروی انسانی	(h)	۱/۹۵	۱/۹۶	۱/۹۶	۱/۹۶	۱/۹۶
ماشین آلات	(h)	۶۲/۷	۶۲/۷	۶۲/۷	۶۲/۷	۶۲/۷
سوخت	(l)	۵۰/۲۳	۵۶/۳۱	۵۶/۳۱	۵۶/۳۱	۵۱/۳۳
نیتروژن	(kg)	۶۶/۱۴	۶۶/۱۴	۶۰	۶۶/۱۴	۶۶/۱۴
فسفات(P_2O5)	(kg)	۱۲/۴۴	۱۲/۴۴	۱۱/۱	۱۲/۴۴	۱۲/۴۴
پتاسیم(K_2O)	(kg)	۱۱/۱۵	۱۱/۱۵	۶/۷	۱۱/۱۵	۱۱/۱۵
کود دامی	(kg)	۰/۳	۰/۳	۰/۳	۰/۲	۰/۳
کودمیکرو	(kg)	۱۲۰	۱۲۰	۱۲۰	۱۲۰	۱۲۰
علف کش	(kg or l)	۲۳۸	۱۲۰	۲۳۸	۲۳۸	۱۲۰
آفت کش	(l)	۲۸۰/۴۴	۱۰۱/۲	۱۰۱/۲	۱۰۱/۲	۱۲۰
قارچ کش	(kg or l)	۱۸۱/۹	۲۱۶	۲۱۶	۲۱۶	۲۱۶
الکتریسیته	(kWh)	۳/۶	۳/۶	۳/۶	۳/۶	۳/۶
آب آبیاری	(m^{-3})	۱/۰۲	۱/۰۲	۰/۶۳	۰/۶۳	۰/۶۳
دانه	(kg)	۱۴/۷	۱۴/۷	۱۴/۷	۵۰	۶/۹
خروجی						
عملکرد	(kg)	۱۴/۷	۱۴/۷	۱۴/۷	۱۶/۸	۱۷/۷۷
کاه		۱۲/۵	۱۲/۵	۱۸		

[اطلاعات برای گندم از منبع ۱۸، برای جو از منبع ۱۹، برای ذرت از منبع ۲۰، برای چغندرقند از منبع ۲۱ و برای یونجه از منبع ۲۲ اقتباس شده است.]

جدول ۲ – نحوه مدیریت اراضی و مقدار عملکرد محصولات مختلف در مجتمع کشت و صنعت جوین

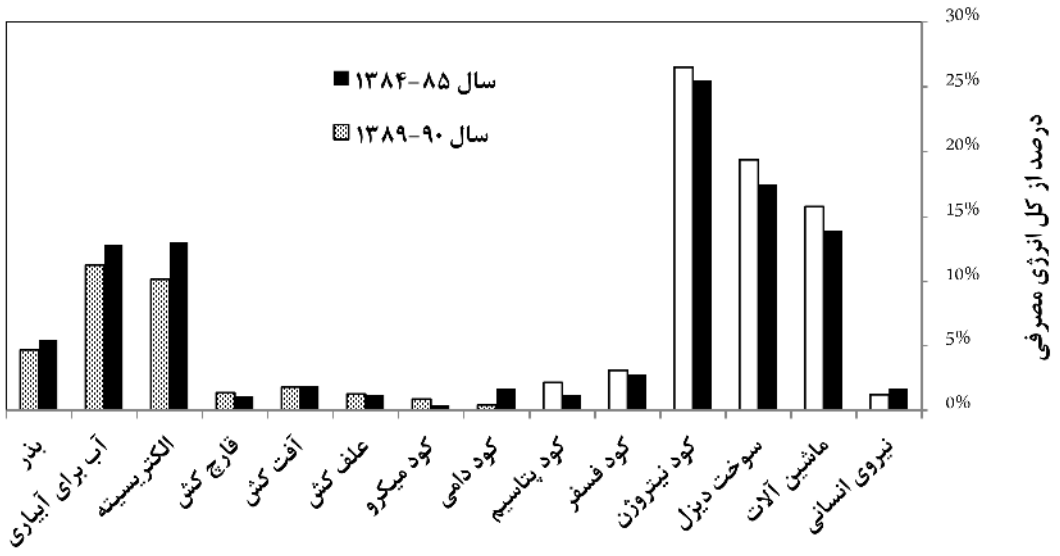
گیاه زراعی	**سطح زیر کاشت (ha)**		**سهم از کل سطح زیر کاشت (٪)**		**مقدار عملکرد محصول ($kg\ ha^{-1}$)**	
	۱۳۸۴-۸۵	**۱۳۸۹-۹۰**	**۱۳۸۴-۸۵**	**۱۳۸۹-۹۰**	**۱۳۸۴-۸۵**	**۱۳۸۹-۹۰**
گندم	۱۸۰۰	۱۹۷۵	۵۷	۴۸	۴۵۰۰	۴۲۲۵
جو	۴۰۰	۷۱۰	۱۳	۱۷	۳۷۰۰	۴۶۹۰
چغندر قند	۸۰۰	۴۰۰	۲۵	۱۰	۴۳۰۰۰	۵۱۰۰۰
ذرت بذری	۳۰	۲۲۰	۱	۵	۲۱۰۰	۵۳۰۰
یونجه	۱۲۰	۸۵۰	۴	۲۰	۹۷۵۰	۱۱۰۰۰
مجموع	۳۱۵۰	۴۱۵۵	۱۰۰	۱۰۰	-	-

برای غالب محصولات در این دوره میزان مصرف انرژی‌های زراعی ورودی و عملکرد افزایش یافت. نتایج حاصل از این بررسی نشان داد که کل انرژی مصرفی در مجتمع در سال‌های ۸۵-۱۳۸۴ و ۹۰-۱۳۸۹ به‌ترتیب معادل ۳۸/۷۳ و ۴۳/۲۲ گیگاژول در هکتار بود. بدین ترتیب در سال ۹۰-۱۳۸۹ نسبت به ۸۵-۱۳۸۴، در هر هکتار حدود ۱۰ درصد انرژی بیش‌تری مصرف شده است (جدول ۳).

همان‌گونه که در شکل ۱ نشان داده شده است، در سال ۸۵-۱۳۸۴ بین نهاده‌های ورودی در مزارع کود نیتروژن (۲۶درصد) بیش‌ترین سهم (۴۵/۴درصد) را داشت و پس از سوخت دیزل (۱۷درصد)، ماشین آلات (۱۴درصد) و الکتریسیته (۱۳درصد) بیش‌ترین سهم را داشتند. در سال ۹۰-۱۳۸۹ نیز بیش‌ترین سهم انرژی مصرفی مربوط به کود نیتروژن (۲۷ درصد) و پس از آن سوخت دیزل (۱۹درصد)، ماشین آلات (۱۶درصد) و انرژی الکتریسیته (۱۰درصد) بالاترین سهم را داشتند. از عوامل مؤثر در مصرف بالاتر انرژی در سال ۹۰-۱۳۸۹ مصرف بیش‌تر انرژی سوخت دیزل و ماشین آلات نسبت به سال ۸۵-۱۳۸۴ بود.

جدول ۳- مقدار انرژی مصرفی (W)، مقدار انرژی خروجی (y) و کارایی مصرف انرژی (η) برای محصولات مختلف در مجتمع کشت و صنعت جوین

گیاه زراعی	W (GJ ha^{-1})		y (GJ ha^{-1})		η	
	۱۳۸۴-۸۵	۱۳۸۹-۹۰	۱۳۸۴-۸۵	۱۳۸۹-۹۰	۱۳۸۴-۸۵	۱۳۸۹-۹۰
گندم	۳۹/۱۱	۴۵/۴۵	۳۱۸/۰۳	۳۱۵/۸۶	۸/۲۱	۶/۹۵
جو	۲۸/۷۹	۳۶/۳۵	۲۶۵/۶۴	۴۲۶/۵۱	۹/۲۳	۱۱/۷۳
چغندر قند	۴۴/۰۸	۴۶/۸۵	۷۲۲/۴۰	۸۵۶/۸۰	۱۶/۳۹	۱۸/۲۹
ذرت بذری	۶۲/۶۷	۷۳/۰۲	۱۱۴/۸۷	۲۸۹/۹۱	۱/۸۳	۳/۹۷
یونجه	۳۰/۳۰	۳۴/۳۴	۱۷۳/۲۶	۱۹۵/۴۷	۵/۷۲	۵/۶۹
میانگین وزنی	۳۸/۷۳	۴۳/۲۲	۴۰۵/۲۳	۳۶۰/۸۴	۱۰/۴۶	۸/۳۵



شکل ۱- ترکیب انرژی مصرفی در مجتمع کشت و صنعت جوین در سال‌های ۸۵-۱۳۸۴ و ۹۰-۱۳۸۹

برای نشان دادن چگونگی انجام محاسبات، این محاسبات برای محصول گندم آورده شده است. برای محاسبه موازنه آنتروپی مزرعه گندم، با استفاده از معادله ۸ ما نیاز به مقادیر W یا y، η، P_0، $S= k\ (1-r)$ و T برای هر سال داریم. انرژی ورودی برای تولید گندم در سال ۸۵-۱۳۸۴، ۳۹/۱۱ گیگاژول به ازای هر هکتار بود. هم‌چنین معادل انرژی خروجی در مزارع گندم (شامل دانه و بخش زیادی از کاه و کلش) برابر ۳۱۸/۰۳ گیگاژول بر هکتار بود (جدول ۳). با استفاده از این مقادیر بهره‌وری انرژی، η، به شکل نسبت بین انرژی خروجی به ورودی محاسبه گردید. مقدار k برای گندم ۰/۷۴ گزارش شده است (جدول ۴). ضریب تنفس نیز برای منطقه مورد مطالعه با استفاده از مدل FBEM، ۰/۳۳تخمین زده شد.

مقدار Sبه شکل $S=k\ (1-r)$= ۰/۴۹۶ محاسبه شد. هم‌چنین مقدار P_0 برای یک بوم‌نظام طبیعی مستقر در این منطقه در مرحله کلیماکس با استفاده از روش وو و همکاران و با در نظر گرفتن خصوصیت اقلیمی منطقه [۲۳] ۲۷/۴ گیگاژول در هکتار تخمین زده شد. دمای هوا نیز در طول فصل رشد محصول گندم بر اساس آمار هواشناسی برابر با ۲۹۰ درجه کلوین در نظر گرفته شد. با جایگزینی تمام این مقادیر در معادله ۸ داریم؛

σ = ۱/۱۶ GJ ha^{-1} K^{-1}

با استفاده از معادله‌های ۸ و ۹ حداکثر مقدار مجاز انرژی ورودی و خروجی برای تولید پایدار محاسبه شد.

$W_{er} \approx$ ۲/۹۲ GJ ha^{-1} و $y_{er} \approx$ ۲۳/۹۹ GJ ha^{-1}

با تکرار این محاسبات برای سال ۹۰-۱۳۸۹ خواهیم داشت.

σ = ۱/۱۷ GJ ha^{-1} K^{-1} ،W_{er} ≈۳/۳۹ GJ ha^{-1} و y_{er} ≈ ۲۳/۵۴ GJ ha^{-1}

مقدار آنتروپی تولیدی در فاصله ۶ ساله ۸۵-۸۴ تا ۹۰-۸۹ از ۱/۱۶ به ۱/۱۷ گیگاژول در هکتار در کلوین افزایش یافت. این افزایش عمدتاً ناشی از افزایش مصرف انرژی و کاهش کارآیی مصرف انرژی در مزرعه گندم بود.

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

$$S_d = \frac{W - W_{er}}{W_{er}} = \frac{y - y_{er}}{y_{er}} \quad (۱۲)$$

با استفاده از این معادله مقدار انحراف از وضعیت پایدار قابل محاسبه می‌باشد. این مقدار برای مزرعه گندم در سال‌های ۸۵-۱۳۸۴ و ۹۰-۱۳۸۹ به‌ترتیب معادل ۱۲/۲۵ و ۱۲/۴۲ بود. این تخمین نشان داد که در این فاصله زمانی وضعیت پایدار تولید گندم در این سیستم کاهش یافته است، اما این تغییرات کند و غیرمعنادار بوده است.

این محاسبات برای سایر محصولات نیز انجام شد. نتایج این محاسبات در جدول ۵ ارائه شده است. می‌توان گفت میزان آنتروپی در سیستم‌های تولید یونجه از سایر مزارع کم‌تر و میزان آنتروپی در سیستم‌های تولید چغندر قند، بیش‌ترین است. معیار انحراف از وضعیت پایدار نیز روند مشابهی را نشان می‌دهد.

جدول ۴- مقادیر k، S و T برای گیاهان بررسی شده [مقادیر k و S از منبع شماره ۲۴ اقتباس شده است].

گیاه زراعی	K	S	T (°k)		R	
			۱۳۸۴-۸۵	۱۳۸۹-۹۰	۱۳۸۴-۸۵	۱۳۸۹-۹۰
گندم	۰/۷۴	۰/۴۹۶	۲۹۰	۲۹۱	۰/۳۳	۰/۳۴
جو	۰/۷۳	۰/۴۸۹	۲۹۰	۲۹۱	۰/۳۳	۰/۳۴
ذرت	۰/۹۸	۰/۶۵۶	۲۹۹	۲۹۸	۰/۳۳	۰/۳۴
چغندرقند	۰/۹۳	۰/۶۲۳	۲۹۶	۲۹۶	۰/۳۳	۰/۳۴
یونجه	۱	۰/۶۷	۲۹۹	۳۰۰	۰/۳۳	۰/۳۴

K= آن بخشی از تولید خالص که به‌صورت محصول اقتصاد یاز مزرعه خارج می‌شود.

S= آن بخش از تولید ناخالص که به‌صورت محصول اقتصادی از مزرعه خارج می‌شود.

T=درجه حرارت بر حسب کلوین در طی رشد مزرعه

جدول ۵- آنتروپی اضافی تولید شده در سیستم (σ)، مصرف انرژی مجاز (W_{er})، عملکرد در شرایط پایدار (y_{er}) و معیار انحراف از وضعیت پایدار (S_d) برای محصولات مختلف در مجتمع کشت و صنعت جوین

گیاه زراعی	σ (GJ ha^{-1} K^{-1})		W_{er} (GJ ha^{-1})		y_{er} (GJ ha^{-1})		S_d	
	۱۳۸۴-۸۵	۱۳۸۹-۹۰	۱۳۸۴-۸۵	۱۳۸۹-۹۰	۱۳۸۴-۸۵	۱۳۸۹-۹۰	۱۳۸۴-۸۵	۱۳۸۹-۹۰
گندم	۱/۱۶	۱/۱۷	۲/۹۲	۳/۳۹	۲۳/۵۴	۲۳/۹۹	۱۲/۲۵	۱۲/۴۲
جو	۰/۹۶	۱/۳۱	۲/۵۷	۲/۳۹	۲۳/۹۴	۲۳/۷۶	۱۰/۱۸	۱۳/۸۹
ذرت	۰/۳۲	۰/۶۶	۱۳/۹۷	۸/۸۹	۳۵/۳۰	۲۵/۶۱	۳/۴۹	۷/۲۱
چغندرقند	۱/۵۳	۱/۸۲	۲/۵۱	۲/۲۷	۴۱/۵۳	۴۱/۱۳	۱۶/۵۶	۱۹/۶۳
یونجه	۰/۳۰	۰/۳۵	۷/۱۸	۷/۲۰	۴۱/۰۰۳	۴۱/۰۵	۳/۲۲	۳/۷۷
میانگین وزنی	۰/۸۹	۱/۰۱	۵/۸۴	۴/۴۷	۲۹/۲۶	۲۵/۱۹	۹/۴۶	۱۰/۷۸

۴- نتیجه‌گیری

در طول دوره ۶ساله بین سال ۸۴ تا ۹۰ کل انرژی مصرفی در محصولات مختلف حدود ۱۲درصد افزایش یافت (از ۳۸/۷۳ به ۴۳/۲۲ گیگاژول در هکتار در سال رسید). بر خلاف مصرف انرژی میانگین معادل انرژی عملکرد محصولات در این دوره روندی کاهشی داشت و با کاهشی ۱۱ درصدی از ۴۰۵/۲۳ به ۳۶۰/۸۴ گیگاژول در هکتار در سال رسید. درنتیجه، در طول این دوره تولید آنتروپی که معیاری از تاثیر سیستم کشاورزی بر محیط‌زیست است به میزان ۱۳درصد افزایش یافت. معیار انحراف از وضعیت پایدار نیز به مقدار تقریبا برابری با تولید آنتروپی افزایش یافت. بنابراین ما در این منطقه شاهد یک حرکت آهسته به‌سمت ناپایدار شدن بیش‌تر مزرعه می‌باشیم. این حرکت به سوی نا پایداری برای محصولات مختلف یکسان نبود، به‌طوری‌که آنتروپی اضافی تولید شده توسط گندم، جو، ذرت، چغندر قند و یونجه در سال ۹۰-۱۳۸۹ نسبت به ۸۵-۱۳۸۴ به‌ترتیب ۱، ۳۶، ۱۰۶، ۱۹ و ۱۷درصد افزایش نشان داد. معیار انحراف از وضعیت پایدار، S_d هم روندی مشابه داشت. آنتروپی تولید شده در سیستم‌های کشاورزی تا حد زیادی با میزان تغییرات در فرآیندهای بوم‌نظام طبیعی ارتباط دارد. لذا، پایین بودن میزان آنتروپی در مزرعه یونجه که بسیار به یک بوم‌نظام طبیعی در مرحله کلیماکس در این منطقه شبیه است امری قابل انتظار است.

حداقل مقدار مصرف انرژی برای حفظ وضعیت پایدار (W_{er})، هم‌چنین حداکثر مقدار انرژی که ما مجازیم به شکل محصول از سیستم خارج کنیم و سیستم در وضعیت پایدار بماند (y_{er})، در هر دو سال مورد مطالعه بیش از مقدار انرژی مصرفی و مقدار انرژی خارج شده از سیستم بود، اما این اختلاف در سال ۹۰-۱۳۸۹ مشهودتر شد.

کاهش W_{er} و y_{er} نیز نتیجه افزایش مصرف انرژی‌های نهاده‌های مختلف بود. در قیاس با آنتروپی اضافی تولید شده توسط سیستم تغییرات W_{er} و y_{er} شدت بیش‌تری داشت. بنابراین می‌توان اینگونه نتیجه گرفت تفاوت‌ها میان محصولات مختلف در طول ۶ سال کاهش یافته است و بنابراین به نظر می‌رسد که خصوصیات نوع محصول کشت در قیاس با چگونگی صرفه جویی در مصرف منابع نسبتا بی‌اهمیت است.

با قرار دادن k $(1-r)$ به‌جای S در معادله [۷]، معادله را می‌توان به شکل زیر بازنویسی کرد.

$$\sigma = \frac{1}{\mathrm{T}}\left[W + \left(\frac{1}{k(1-r)} - 1\right)y\right] \qquad (۱۳)$$

برخی از راهکارهای طراحی سیستم‌های تولید غذا با در نظر گرفتن معادله ۱۳ عبارتند از؛

۱- مصرف انرژی ورودی، W کمتر؛ مصرف انرژی 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. بوم‌نظام‌های کشاورزی پایدار از طریق کاشتن از انرژی نهاده‌های صنعتی و افزایش انرژی‌های بیولوژیک، مقدار مواد غذایی را با کارآیی بیش‌تری از نظر انرژی تولید می‌کنند. برای بازگشت سیستم‌های کشاورزی به وضعیت پایدار، کاهش مصرف انرژی در سال ۸۴ از ۳۸/۷۳ به ۵/۸۴ و در سال ۹۰ از ۴۳/۲۲ به ۴/۴۷ ضروری است.

۲- کاستن از مقدار انرژی خروجی، y؛ اما تولید پایدار لزوماً به‌معنای کاستن از مقدار تولید نیست. نکته‌ای که باید به آن توجه داشت این است که دست‌یابی به پایداری نظام‌های کشاورزی هرگز به‌معنی توجه صرف به جنبه‌های زیست‌محیطی و بوم شناختی نیست و در آن باید تولید نیز در حد مطلوبی حفظ شود، چراکه اگر نظام کشاورزی از یک بعد (در این مورد، تولید محصولات کشاورزی) در سطح مطلوب نباشد، دست‌یابی به پایداری امکان پذیر نخواهد بود [۲۵]. به‌همین دلیل است که عده‌ای سودمندی اقتصادی را یکی از مولفه‌های اصلی پایداری نظام‌های کشاورزی می‌دانند [۲۶]. چنان‌چه سیستم‌های فشرده بیولوژیکی که میزان آنتروپی پایینی دارند قادرند عملکرد را در سطوح بالایی حفظ کنند.

۳- افزایش خروج زیست‌توده از سیستم؛ یعنی استفاده از بخش بزرگ‌تری از زیست توده به‌عنوان عملکرد اقتصادی (که سبب افزایش مقدار k می‌شود)، به‌عنوان 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 درازمدت کاهش دهد و نمی‌تواند مورد نظر کشاورزی پایدار باشد [۲۷].

افزون‌بر این، فرآیند خروج بخش بیش‌تری از بقایا (کاه و کلش و ریشه) نیاز به مقدار زیادی انرژی دارد. بنابراین برای افزایش k ناچارا مقدار W نیز افزایش پیدا

می‌کند. در نتیجه با اینکار نه تنها مقدار S کاهش نمی‌یابد، بلکه ممکن است افزایش هم داشته 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 نبوده بلکه به‌طور محلی در دسترس و قابل کنترل هستند، از نظر محیطی بی‌خطر بوده و به سلامت اکولوژیکی بوم‌نظام‌های کشاورزی کمک می‌کند [۲۸، ۲۹].

تشکر و قدردانی

بدین‌وسیله صمیمانه از مساعدت جناب آقای دکتر محمد آرمین برای جمع‌آوری اطلاعات از مجتمع کشت وصنعت جوین سپاسگزاری می‌گردد.

پی‌نوشت‌ها

1. Impact indicators
2. Threats to sustainability
3. Constraints to sustainability
4. Flux-Based Ecosystem Model
5. Net Ecosystem Exchange
6. Gross Primary Production
7. Ecosystem Respiration

منابع

[1] Pourzand F, Bakhshodeh M. Agriculture sustainability using adaptive programming. Agricultural Economics Research; 2012; 4: 1-26.

[2] Gliessman S R. Agroecology: Ecological Processes in Sustainable Agriculture. Ann Arbor Press, Chelsea, MI. 1998. p. 272.

[3] Sadati S A, Shaabanali Fami H, Asadi A, Sadati S A. Farmer's Attitude on Sustainable Agriculture and its Determinants: A Case Study in Behbahan County of Iran. Research Journal of Applied Sciences, Engineering and Technology; 2012; 2: 422- 427.

[4] Gomez-Limon J A, Riesgo L. Alternative approaches to the construction of a composite indicator of agricultural sustainability: An application to irrigated agriculture in the Duero basin in Spain. Journal of Environmental Management; 2009; 90: 3345- 3362.

[5] De Koeijer T J, Wossink G A A, Struik P C, Renkema J A. Measuring agricultural sustainability in terms of efficiency: the case of Dutch sugar beet growers. Journal of Environmental Management; 2002; 66: 9- 17.

[6] Rezaii Moghadam K, Karami A. Agricultural extension and sustainable agriculture. Iranian Journal of Agricultural Extension and Education; 2006; 2: 55-72.

[7] Gafsi M, Legagneux B, Nguyen G, Robin P. Towards sustainable farming systems: Effectiveness and deficiency of the French procedure of sustainable agriculture. Journal of Agricultural Systems; 2006; 90: 226-242.

[8] Zahedi Sh S. Challenges facing sustainable development from ecotourism point of view. Journal of Modares; 2003; 3: 89-103. [In Persian]

[9] Asadi A, Varmazyar H. Assessing the sustainability of agricultural systems. Rahbord; 2010; 21: 261-288. [In Persian]

[10] Bell S, Morse S. Measuring Sustainability: Learning by Doing, Earth scan, London. 2003. p. 462.

[11] Neshat N. Entropy, negative entropy and information. Library Journal; 2006; 40: 63-76.

[12] Steinborn W, Svirezhev Y. Entropy as an indicator of sustainability in agro-ecosystems: North Germany case study. Ecological Modelling; 2000; 133: 247–257.

[13] Wan S. A Spatial decision support system for extracting the core factors and thresholds for landslide susceptibility map. Engineering Geology; 2009; 108: 237-251.

[14] Luna B, Langbein W B. The Concept of Entropy in Landscape Evolution, Geological Survey Professional Paper, U.S. Govt. Print. Off, Washington. 1963. p. 187.

[15] Smith C S, McDonald G T. Assessing the sustainability of agriculture at the planning stage. Journal of Environmental Management; 1998; 52: 12-37.

[16] Stockle C O, Papendick R I, Saxton K E, Campbell G S, van Evert F K. A framework for evaluating the sustainability of agricultural production systems. American Journal of Alternative Agriculture; 1994; 9: 45-50.

[17] Van't Hoff J H. Lectures on Theoretical and Physical Chemistry. EdwardArnold, London. 1899.

[18] Ghorbani R, Mondani F, Amirmoradi Sh, Feizi H, Khorramdel S, Teimouri M, Sanjani S, Anvarkhah S, Aghel H. A case study of energy use and economical analysis of irrigated and dryland wheat production systems. Applied Energy; 2011; 88: 283–288.

[19] Ghasemi Mobtaker H, Keyhani A R, Mohammadi A, Rafiee Sh, Akram A. Sensitivity analysis of energy inputs for barley production in Hamedan Province of Iran. Agriculture, Ecosystems and Environment; 2010; 137: 367-372.

[20] Vural H, Efecan I. An analysis of energy use and input costs for maize production in Turkey. Journal of Food, Agriculture and Environment; 2012; 10: 613-616.

[21] Erdal G, Esengun K, Erdal H, Gunduz O. Energy use and economical analysis of sugar beet production in Tokat province of Turkey. Energy; 2007; 32: 35-41.

[22] Ghasemi Mobtaker H, Akram A, Keyhani A R. Investigation of energy consumption of perennial alfalfa production: Case study of Hamedan province. Journal of Food, Agriculture and Environment; 2010a; 8: 379-381.

[23] Wu J B, Xiao X M, Guan D X, Shi T T, Jin C J, Han S J. Estimation of the gross primary production of an old-growth temperate mixed forest using eddy covariance. International Journal of Environmental Monitoring; 2009; 30: 463–79.

[24] Weisheil K. Kohlenst off dynatink am gninland stundort; untersuoln an 4 dominanten grasarten, kicl. 1995. p. 141.

[25] Dunlap R E, Beus C E, Howell R E, Waud J. What is sustainable agriculture? An empirical examination of faculty and farmer definitions. Journal of Sustainable Agriculture; 1992; 3: 5-39.

[26] Farshad A, Zinck J A. Assessing agricultural sustainability using the six-pillar model: Iran as a case study. In. S.R. Gliessman (Ed.). Agroecosystem Sustainability: Developing Practical Strategies. pp. 137-151. CRC, Florida. 2001.

[27] Liu Zh, Chen X, Shi Y, Niu M. Available K and total organic C accumulation in soil with the utilization ages of the vegetable greenhouses in the suburb of Shenyang. ICESB 2011: 25-26 November 2011, Maldives. Procedia Environmental Sciences; 2011; 8: 48-53.

[28] Asgharipour M R, Mondani F, Riahinia Sh. Energy use efficiency and economic analysis of sugar beet production system in Iran: A case study in Khorasan Razavi province. Energy; 2012; 44: 1078-1084.

[29] Ghochebeyg F, Omid M, Ahmadi H, Delshad D. Evaluation and improvement of energy consumption for Cucumber Production Using Data Envelopment Analysis (DEA) Technique in Tehran, 6th International Congress of Agricultural Machinery Engineering and Mechanization, Tehran, Iran. 2010.