برآورد انرژی و بهینه‌سازی الگوی مصرف انرژی در کشت هندوانه با کمک روش تحلیل پوششی داده‌ها

حنیف رضا معتمدشریعتی[۱]، میثم ایرانپور[۲]، بنیامین خوشنویسان[۲]

[۱]دانشجوی دکترای مکانیزاسیون کشاورزی، دانشکده‌ی مهندسی و فناوری کشاورزی، دانشگاه تهران (hr_motamed@ut.ac.ir)
[۲] دانش آموختگان کارشناسی ارشد مکانیزاسیون، دانشکده مهندسی و فناوری کشاورزی، دانشگاه تهران

چکیده

برای مشخص کردن میزان انرژی ورودی کشت هندوانه در شهرستان ارزویه، تحقیقی در سال زراعی ۹۱-۹۲ صورت پذیرفت. از میان ۸۸ پرسشنامه‌ی توزیع شده بین هندوانه‌کاران منطقه، میانگین انرژی مورد نیاز برای هر هکتار ۱۳۷۴۸۴ مگاژول برآورد گردید. نسبت انرژی ۴/۰، بهره‌وری انرژی ۲/۰ کیلوگرم بر گیگاژول، شدت انرژی ۴/۴ مگاژول بر کیلوگرم و افزوده‌ی خالص انرژی ۸۰۴۸۵- مگاژول در هکتار محاسبه گردید. ۸۵٪ انرژیهای ورودی، انرژی مستقیم، ۱۵٪ انرژی غیرمستقیم، ۴٪ انرژی تجدیدپذیر و ۹۶٪ انرژی تجدیدناپذیر محاسبه شدند. الکتریسیته با ۷۹٪ و پس از آن ازت با ۷٪ بیشترین سهم انرژی ورودی را داشتند. کارایی کشاورزان با کمک روش تحلیل پوششی داده‌ها (DEA) در مدلهای CCR و BCC با کمک نرم افزار *EMS* محاسبه گردید و کارایی فنی ۸۳/۰، کارایی فنی خالص ۹۸/۰ و کارایی مقیاس ۸۵/۰ بدست آمد. محاسبات انجام شده نشان داد بر اساس مدل تحلیل پوششی داده‌ها بدون کاهش عملکرد و یا تغییر تکنولوژی کشت، می‌توان ۶۷/۸ ٪ از کل انرژی مصرف شده را که معادل ۱۱۹۴۳ مگاژول در هکتار است، ذخیره کرد که از این مقدار انرژی الکتریسیته با ۸۴٪ بیشترین سهم را دارد.

واژگان کلیدی: انرژی، تحلیل پوششی داده‌ها، کارایی، کشت هندوانه

۱- مقدمه

۱-۱- هندوانه

هندوانه[۱] به عنوان یکی از محصولات اصلی خانواده‌ی کدوییان[۲] همه ساله سطح زیر کشت زیادی را به خود اختصاص می‌دهد. ایران از لحاظ سطح زیر کشت هندوانه در آسیا بعد از چین قرار دارد (سیلسپور و جعفری، ۱۳۸۴) و طبق گزارش فائو[۳] رتبه‌ی سوم تولید در سال ۲۰۱۱ میلادی و مطابق گزارش ایسنا رتبه‌ی چهارم تولید را در سال ۱۳۹۱ شمسی به خود اختصاص داده است. این گیاه، بومی اراضی خشک در مناطق گرمسیری و نیمه گرمسیری جنوب آفریقا می‌باشد. این گیاه در دمای ۱۸ تا ۳۵ درجه‌ی سانتیگراد رشد خوبی دارد و دمای روزانه‌ی ۲۲ تا ۳۰ درجه سانتیگراد بهینه است. هندوانه در مقابل PH نسبتاً مقاوم است و در محدوده‌ی ۵ تا ۵/۶ می‌توان آن را کشت کرد. قند میوه در آب و هوای گرم و خشک ۱۱٪ و در شرایط مرطوب ۸٪ می‌باشد، به

[1] Citrulus Vulgaris
[2] Cucurbitaceae
[3] Food and Agriculture Organization (FAO)

سرما بسیار حساس است و طول دوره‌ی رشد آن بین ۸۰ تا ۱۱۰ روز متغیر است (صابری و همکاران، ۱۳۸۵). هندوانه سرشار از ویتامین C و A بوده و تجویز آن برای بیماران دیابتی توصیه شده است. استان کرمان رتبه‌ی نخست از نظر تولید هندوانه در سطح کشور را دارد که در سالهای اخیر محصول هندوانه به کشورهای همسایه و بخصوص عراق، صادرات زیادی داشته است.

۲-۱- انرژی

انرژی توانایی انجام کار یا توانایی تبدیل حالت محیط به شرایط جدید است. در بخش کشاورزی که تولید غذای بشر را بر عهده دارد، استفاده از انرژی و بکارگیری آن اهمیت ویژه‌ای دارد زیرا قیمت تمام شده‌ی محصولات رابطه‌ی مستقیم با مقدار، انواع و قیمت انرژیهای مصرف شده دارد. بنابراین با کنترل و بهینه سازی انرژی صرف شده، می‌توان میزان تولید و قیمت محصول نهایی را مدیریت کرد. در زمینه‌ی کشاورزی می‌توان انرژی را به دو گروه مستقیم و غیرمستقیم طبقه‌بندی کرد. انرژی مستقیم بصورت مستقیم و بدون واسطه باعث انجام کار و فعالیت می‌شود. انرژی ماهیچه‌ای، نیروی دام، انواع سوختها و الکتریسیته مثالهایی از انرژی مستقیم هستند. انرژی غیرمستقیم عبارت است از انرژی صرف شده برای تولید نهاده‌هایی که در کشاورزی استفاده می‌شوند. انرژی مصرفی برای تولید ماشین‌آلات، بذرها، کودها و مواد بسته‌بندی نمونه‌هایی از این نوع هستند (Khoshnevisan *et al.*, 2013a). در طبقه‌بندی دیگری، انرژی را به دو گروه تجدیدپذیر و تجدیدناپذیر تقسیم می‌کنیم. در صورتیکه امکان تولید و تبدیل شکلی از انرژی را در مدت کوتاهی داشته باشیم، آن را تجدیدپذیر و در غیر اینصورت آن را تجدیدناپذیر می‌نامیم. انرژی تجدیدپذیر مانند انرژی ماهیچه‌ای انسان و دام، انرژی خورشیدی، باد، بیوگاز، امواج دریا و انرژی تجدیدناپذیر مانند سوختهای فسیلی، سوختهای هسته‌ای و شاخ و برگ گیاهان. اگر الکتریسیته از منابع آبی تهیه شده باشد، انرژی تجدیدپذیر در نظر گرفته می‌شود (Khoshnevisan *et al.*, 2013b). نسبت انرژی خروجی به انرژی ورودی را کارایی یا راندمان انرژی می‌نامیم. بهره‌وری انرژی نسبت عملکرد محصول به انرژی ورودی است و عکس بهره‌وری یا نسبت انرژی ورودی به عملکرد را شدت انرژی یا انرژی ویژه می‌گوییم. تفاضل انرژی ورودی (نهاده) را از انرژی خروجی (ستاده) افزوده‌ی خالص انرژی می‌نامیم (Moore, 2010).

تحقیقات فراوان انجام شده برای محاسبه‌ی انرژی نهاده‌ها و ستاده‌ها و بهینه‌سازی مصرف انرژی نشان از اهمیت این مطلب در بخش کشاورزی با توجه به راهبرد کشاورزی پایدار و کاهش مشکلات زیست محیطی و اقتصادی دارد (Streimikiene *et al.*, 2007). در تحقیقی که در استان گیلان روی توت فرنگی انجام پذیرفت، میانگین کل انرژی ورودی و خروجی برای تولید در زمین زراعی[1] به ترتیب ۳۵۰۹۲ مگاژول و ۱۰۴۰۵ مگاژول و برای تولید در گلخانه ۱۳۵۶۹۳۲ مگاژول و ۱۳۷۷۷۲ مگاژول برای هر هکتار برآورد گردید. همچنین بیان گردید با استفاده از مدیریت صحیح در ۲/۲۰ ٪ از انرژی صرف شده برای تولید که معادل ۲۷۳۹۰۲ مگاژول در هکتار است، می‌توان صرفه‌جویی کرد (Khoshnevisan e*t al.*, 2014). در تحقیقی که بر روی گندم در یونان صورت گرفت، میزان انرژی برای تولید بین ۱۶۰۰۰ تا ۲۶۰۰۰ مگاژول در هکتار گزارش گردید که ۸۱-۸۴ درصد آن متعلق به کودهای شیمیایی و سوخت دیزل گزارش گردید (Tsatsarelis, 1993) درحالیکه تحقیق مشابه بر روی گندم در مشهد بیشترین

[1] Open Field

سهم انرژی را به برق مصرفی برای آبیاری با ۵/۴۱ ٪ و پس از آن به نیتروژن خالص مصرفی با ۷۵/۱۷ ٪ و سوخت با ۱۵/۱۵ ٪ مربوط دانست و همچنین در این تحقیق نیروی انسانی با ۷/۰ و علف‌کش و آفت‌کش به ترتیب با ۴۹/۰ و ۲۹/۰ درصد، کمترین انرژی را کسب کردند (طالقانی، ۱۳۹۰). در پژوهشی که در ترکیه صورت پذیرفت انرژی مورد نیاز برای پرتغال، لیموترش و نارنگی مورد بررسی قرار گرفت. نتایج بیانگر این بود که بیشترین انرژی تولید با ۶۲۹۷۷ مگاژول در هکتار برای لیموترش بود و پس از آن پرتغال با ۶۰۹۴۹ و نارنگی با ۴۸۸۳۸ مگاژول در هکتار قرار گرفتند. برای تولید لیموترش بیشترین مصرف کننده‌ی انرژی، کودهای شیمیایی با ۶۸/۴۹ ٪ و پس از آن سوخت دیزل با ۷۹/۳۰ ٪ گزارش شد. نسبت انرژی برای پرتغال ۲۵/۱ و برای نارنگی ۱۷/۱ و لیموترش ۰۶/۱ بدست آمد. سهم انرژیهای تجدیدپذیر و تجدیدناپذیر در این محصولات به ترتیب ۴/۱۰ ٪ و ۹۰/۹۵ ٪ ذکر گردید و بالاترین نسبت سود به هزینه با ۳۷/۲ برای پرتغال و پس از آن لیموترش و نارنگی گزارش گردید (Ozkan *et al*., 2004). نتایج بدست آمده در گلخانه‌های مورد مطالعه در کرمانشاه نشان داد برای تولید هر کیلوگرم گوجه‌فرنگی گلخانه‌ای ۸۰۸۱/۰ مگاژول انرژی مصرف می‌شود. در این بررسی، کارایی یا نسبت انرژی ۹۸۹۹/۰ و متوسط بهره‌دهی انرژی ۳۲۷/۱ کیلوگرم بر مگاژول بدست آمد (رحمتی و همکاران، ۱۳۹۱). در تحقیق مشابهی که در شهرستان مرند صورت گرفت، کارایی یا نسبت انرژی و بهره‌وری انرژی برای کشت گوجه‌فرنگی در مزرعه به ترتیب ۶/۰ و ۷۴/۰ کیلوگرم بر مگاژول بدست آمد. سهم انرژی تجدیدپذیر ۹/۳۰ ٪ و سهم انرژی تجدیدناپذیر ۱/۶۹ ٪ گزارش شد و بیشترین میزان انرژی مورد نیاز با ۵۱٪ مربوط به کودهای شیمیایی بود (راعی جدیدی و همکاران، ۱۳۸۹). در تحقیق دیگری که روی پنبه در ترکیه صورت گرفت مهمترین بخش هزینه‌های تولید مربوط به نیروی کارگری، ماشینها، زمین و آفت‌کشها گزارش گردید. نسبت انرژی در این تحقیق ۷۴/۰ و بهره‌وری انرژی ۰۶/۰ کیلوگرم بر مگاژول بدست آمد. همچنین بیان گردید با اینکه نیروی انسانی کمتر از ۳٪ از کل انرژی مصرفی را تشکیل می‌داد، بیش از ۲۴٪ هزینه‌ها را شامل می‌شد (Yilmaz *et al*., 2005).

۲- مواد و روشها

۲-۱- انرژی نهاده‌ها و ستاده

این تحقیق در استان کرمان و در شهرستان ارزویه انجام گرفت. استان کرمان با مساحت ۱۸۳۰۰۸ کیلومتر مربع ۵/۱۱ ٪ از مساحت کشور را به خود اختصاص داده است. سطح زیر کشت هندوانه در این استان سالانه شش تا هشت هزار هکتار و متوسط عملکرد آن حدود ۳۵ تن در هکتار می‌باشد. داده‌های مورد استفاده در این پژوهش بصورت مصاحبه‌ی حضوری و از طریق پرسشنامه جمع‌آوری شدند و همچنین در موارد لازم جهت تکمیل داده‌ها از آمار موجود در آرشیو سازمان جهاد کشاورزی شهرستان مربوطه استفاده شد. برای تعیین حجم نمونه از فرمول پیشنهاد شده توسط کوچران استفاده شد (Cochran and Snedecor, 1989) که بصورت زیر است:

$$n = \frac{Nt^2S^2}{Nd^2 + t^2S^2} \qquad (۱)$$

در این رابطه n حجم نمونه، N حجم جامعه، t ضریب اطمینان قابل قبول برای تحقیق، S^2 واریانس جامعه و d دقت احتمالی مطلوب (نصف فاصله‌ی اطمینان) است. برای تخمین انحراف معیار جامعه یک نمونه‌ی اولیه از ۲۵ مزرعه بصورت تصادفی انتخاب شدند و بنابراین اندازه‌ی نمونه‌ی مورد نیاز با توجه به پارامترهای ذکر شده برای تحقیق ۸۸ مورد برآورد گردید. سوالات پرسشنامه که در مورد میزان نهاده‌های تولید شامل نیروی کارگری، ماشین‌آلات، سوخت، کود و سم، آب آبیاری، الکتریسیته، میزان بذر مصرفی و عملکرد محصول بود، بصورت حضوری از این تعداد کشاورز پرسیده شد. برای تعیین میزان انرژی نهاده‌ها و ستاده‌ها از ضرایب انرژی آنها یا معادل انرژی آنها استفاده شد. معادل کمی قرار داده شده برای نهاده‌ها یا ستانده‌ها (محصول) در واقع بیان کننده میزان محتوای انرژی‌ای می‌باشد که در فرآیند تولید، وارد یا خارج می‌شود. ضرایب انرژی نهاده‌ها و ستاده برای هندوانه در جدول (۱) آمده است.

جدول ۱– محتوای انرژی نهاده‌ها و ستاده در تولید هندوانه

	عنوان		واحد	محتوای انرژی (MJ/Unit)	مرجع
نهاده‌ها					
	۱– نیروی کارگری		h	۱/۹۶	(Mohammadi *et al*., 2008)
	۲– ماشین آلات		kg		(Khoshnevisan *et al*., 2013b)
		تراکتور		۹–۱۰	
		تجهیزات ثابت		۸–۱۰	
		سایر ماشین‌ها		۶–۸	
	۳– سوخت دیزل		L	۴۷/۸	(Banaeian *et al*., 2011)
	۴– سموم		kg	۱۲۰	(Khoshnevisan *et al*., 2013b)
	۵– کود		kg		
		نیتروژن		۷۸/۱	(Omid *et al*., 2011)
		فسفر		۱۷/۴	(Omid *et al*., 2011)
		پتاسیم		۱۳/۷	(Omid *et al*., 2011)
		کود حیوانی		۰/۳	(Omid *et al*., 2011)
	۶– آب آبیاری		m^3	۱/۰۲	(Mohammadi *et al*., 2008)
	۷– الکتریسیته		kWh	۱۲	(Mohammadi *et al*., 2008)
	۸– گاز طبیعی		m^3	۴۹/۵	(Khoshnevisan *et al*., 2013b)
	۹– بذر		kg	۱	(Namdari *et al*., 2011)
	۱۰– پلاستیک		kg	۱۱/۹۰	(Omid *et al*., 2011)
ستاده					
	هندوانه		kg	۱/۹	(Namdari *et al*., 2011)

برای مثال هم‌ارز (معادل) درنظر گرفته شده برای هر ساعت کار انسان برای شرایط کار در مزرعه، ۱/۹۶ مگاژول برای کارگر مرد و ۱/۵۷ مگاژول برای کارگر زن می‌باشد که معادل با میزان انرژی مصرفی توسط آنها است. معادل یا هم‌ارز در نظر گرفته شده برای نهاده‌ها از محاسبه‌ی میزان انرژی مصرف شده برای تولید هر واحد آن بدست می‌آید.

۲-۲- تحلیل پوششی داده‌ها (DEA[1])

تحلیل پوششی داده‌ها یا روش اندازه‌گیری کارایی فنی، یکی از ابزارهای قدرتمند مدیریتی است که حداکثر خروجی را با مصرف ورودیهایی که به آن واحد داده می‌شوند، ایجاد می‌کند. تحلیل پوششی داده‌ها یک روش غیر پارامتری برای تخمین توابع تولید است. در این روش هر یک از واحدها که یک واحد تصمیم‌گیری (DMU[2]) نام دارد، در مقایسه با دیگر واحدها بررسی می‌شود. در یک تحلیل پارامتری، یک معادله رگرسیونی بصورت فرضی برای واحدهایی قابل اجرا است که تابعی نزدیک به وضع ویژه‌ی متغیرهای مستقل برای بیان متغیر وابسته ارایه می‌کند. در حالت رگرسیونی نیاز به فرضیات در رابطه با توزیع خطا و محدودیت‌های دیگر است. در مقایسه، روش تحلیل پوششی داده‌ها به هیچ فرضی در این زمینه نیاز ندارد و میزان کارایی هر واحد تصمیم‌گیری را نسبت به دیگر واحدها محاسبه می‌کند. تحلیل پوششی داده‌ها دارای چهار مدل اصلی بازگشت به مقیاس ثابت (CRS[3])، مدل بازگشت به مقیاس متغیر (VRS[4])، مدل بازگشت به مقیاس افزایشی (IRS[5]) و مدل بازگشت به مقیاس کاهشی (DRS[6]) می‌باشد. مدل بازگشت به مقیاس ثابت به لحاظ زمانی اولین مدل پیشنهادی در این روش است که توسط چانز، کوپر و رودز در سال ۱۹۷۸ ارایه شد که گاهی اوقات با حروف (CCR[7]) نامبرده می‌شود. مدل دوم با نام بازگشت به مقیاس متغیر توسط بانکر، چارنز و کوپر در سال ۱۹۸۴ ارایه شد و نام دیگر آن (BCC[8]) و برگرفته از نام پدیدآورندگان مدل است (Lee, 2010). در این تحقیق برای محاسبه کارایی و تحلیل داده‌ها از نرم افزار *EMS* استفاده شد.

۳- نتایج و بحث

۳-۱- انرژی مصرف شده

جدول (۲) مقدار مصرف نهاده‌ها و ستاده را در تولید هندوانه در شهرستان ارزویه نشان می‌دهد.

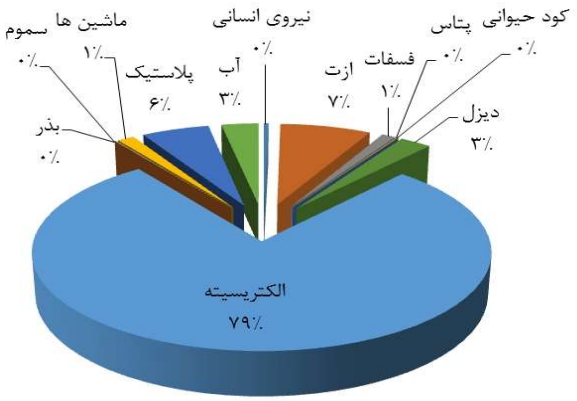
[1] Data Envelopment Analysis
[2] Decision Making Unit
[3] Constant Return to Scale
[4] Variable Return to Scale
[5] Increase Return to Scale
[6] Decrease Return to Scale
[7] Charns, Cooper and Rhodes
[8] Banker, Charns and Cooper

جدول ۲- انرژی نهاده‌ها و ستاده در تولید هندوانه در ارزویه

	عنوان (واحد)	میزان مصرفی در هکتار	انرژی معادل (مگاژول بر هکتار)
نهاده‌ها			
	نیروی انسانی(h)	۲۵۷/۶	۵۰۴/۲۵
	ماشین‌های کشاورزی (h)	۱۰۵۷۴/۹	۱۸۹۲/۲۹
	سوخت (L)	۶۲/۴	۳۵۲۰
	کود		
	ازته (kg)	۱۵۹/۳	۱۰۱۶۱/۵۱
	فسفاته (P_2O_5)(kg)	۱۲۶/۷	۱۵۵۵
	پتاسه (K_2O)(kg)	۱۱/۸	۱۵۰/۷۸
	دامی (kg)	۲۹/۵	۸/۱۸
	سموم (kg)	۱/۳	۱۴۵/۵۷
	آب آبیاری(m^3)	۴۰۵۷/۷	۴۱۶۲/۶۱
	الکتریسیته (kWh)	۹۰۳۹/۷	۱۰۷۸۰۳/۳۴
	بذر (kg)	۱/۵	۲/۷۹
	پلاستیک (kg)	۸۴/۱	۷۵۷۸/۴۱
	انرژی ورودی کل (MJ/ha)		۱۳۷۴۸۴/۷۵
ستاده			
	انرژی خروجی کل (MJ/ha)	۲۹۹۴۳/۲	۵۷۰۰۰

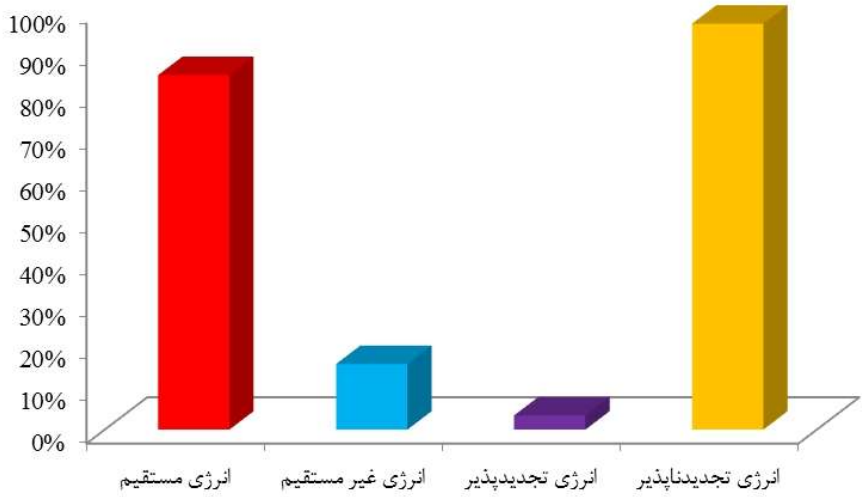
از محاسبات انجام گرفته نتیجه می‌شود برای تولید یک هکتار هندوانه در حدود ۱۳۷۴۸۴ مگاژول انرژی مورد نیاز می‌باشد و انرژی ستاده در هر هکتار حدود ۵۷۰۰۰ مگاژول برآورد می‌گردد.

با توجه به شکل (۱) که سهم نهاده‌های مختلف از کل انرژی مصرفی برای تولید هندوانه را نشان می‌دهد، الکتریسیته با ۷۹٪ بیشترین سهم انرژی را دارد. پس از آن کود ازته و سپس پلاستیک مورد مصرف بیشترین انرژی ورودی را داشتند. از آنجاییکه جهت آبیاری محصول از آب چاه با عمق متوسط ۱۲۲ متر استفاده می‌شد و نیروی مورد نیاز برای پمپ از طریق الکتروموتور تأمین می‌گردید، و با توجه به اینکه برای هر هکتار در طول فصل زراعی بطور متوسط ۴۰۵۸ مترمکعب آب مصرف می‌شود، لذا برای هر هکتار در حدود ^{kWh}۹۰۴۰ مصرف الکتریسیته داشتیم و به همین دلیل درصد بالایی از انرژی ورودی مربوط به الکتریسیته است. در تحقیق مشابهی که در استان همدان صورت پذیرفت، بیشترین مصرف انرژی مربوط به کودهای شیمیایی (۴۴٪) و سپس به سوخت دیزل (۳۳٪) تعلق داشت و انرژی نهاده ۸۱۴۸۳ مگاژول در هر هکتار محاسبه شد. در تحقیق مذکور چاههای آبیاری بجای الکتریسیته با سوخت دیزل پمپ می‌شدند (Namdari *et al.*, 2011). همچنین به نقل از نامداری و همکاران، انرژی نهاده‌ها برای هندوانه در کشور ترکیه حدود ۱۴۱۹۳ مگاژول در هکتار گزارش شد که بیشترین میزان انرژی مصرفی با حدود ۲۶ تا ۲۸ درصد، به عملیات زراعی، آبیاری و حمل و نقل مربوط بود. روش و نهاده‌های متفاوت کشت و عملکرد محصول، باعث این اختلاف می‌شود.



شکل ۱– سهم نهاده‌های مختلف از کل انرژی ورودی در تولید هندوانه

همانطور که در شکل (۲) نشان داده شده است، انرژی تجدیدپذیر فقط ۴٪ از مجموع انرژیهای ورودی را تشکیل داده است و ۹۶٪ سهم انرژیهای تجدیدناپذیر می‌باشد. همچنین ۱۵٪ انرژی بصورت غیرمستقیم و ۸۵٪ آن بصورت مستقیم در تولید نقش داشتند.



شکل ۲– مقایسه‌ی سهم شکلهای مختلف انرژی در کشت هندوانه

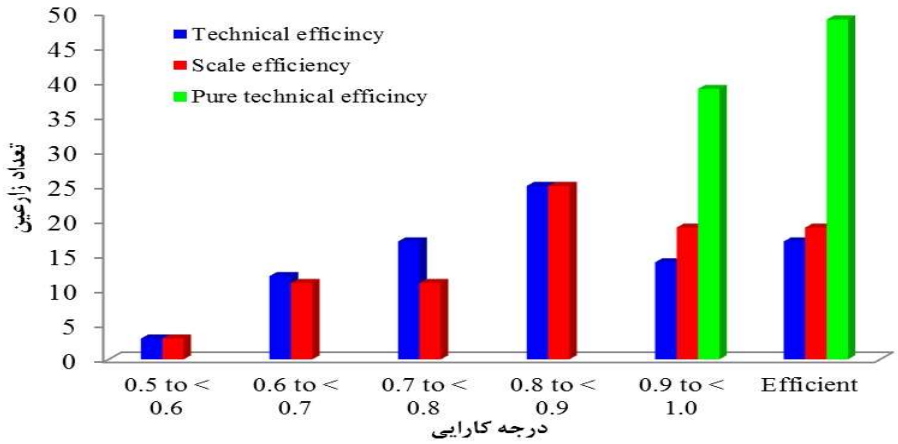
شاخص‌های انرژی در تولید هندوانه در جدول (۳) آورده شده است. در این منطقه نسبت انرژی ۴/۰ بدست آمد. بهره‌وری انرژی ۲/۰ کیلوگرم بر گیگاژول، شدت انرژی ۴/۴ مگاژول بر کیلوگرم و افزوده‌ی خالص انرژی ۸۰۴۸۵– مگاژول در هکتار بدست آمد.

جدول ۳– شاخص‌های انرژی در تولید هندوانه

عنوان	واحد	مقدار
نسبت انرژی	-	۰/۴
بهره‌وری انرژی	kg/GJ	۰/۲
شدت انرژی	MJ/kg	۴/۴
افزوده خالص انرژی	MJ/ha	-۸۰۴۸۵
انرژی مستقیم	MJ/ha	۱۱۶۱۱۲/۸
انرژی غیر مستقیم	MJ/ha	۲۱۵۰۷/۹
انرژی تجدیدپذیر	MJ/ha	۴۶۷۱/۷
انرژی تجدیدناپذیر	MJ/ha	۱۳۲۹۴۲/۱

۲-۳- کارایی انرژی

برای تعیین کشاورزان کارا و ناکارا، ورودیهای مدل شامل نهاده‌های انرژی (مگاژول در هکتار) و خروجی شامل عملکرد (کیلوگرم در هکتار) در مدل CCR و BCC از نرم افزار *EMS* در نظر گرفته شدند. نتایج نشان می‌دهد از ۸۸ واحد (کشاورز) مورد بررسی، ۱۷ واحد دارای کارایی فنی یک بوده و ۷۱ واحد دیگر که دارای کارایی فنی کمتر از یک بودند، در محدوده‌ی ۵/۰ تا ۱ قرار گرفتند. همچنین از بین ۸۸ واحد مورد مطالعه، تعداد ۴۹ واحد دارای کارایی فنی خالص برابر یک بوده‌اند و ۳۹ واحد دیگر که کارا شناخته نشده‌اند، در محدوده‌ی کارایی ۹/۰ تا ۱ قرار داشتند (شکل۳).



شکل ۳– فراوانی کشاورزان از نظر امتیاز کارایی فنی، کارایی مقیاس و کارایی فنی خالص

مقادیر میانگین کارایی‌های مختلف برای کشاورزان در جدول (۴) ارایه شده است. همانطور که نشان داده شده است مقادیر متوسط کارایی فنی، کارایی فنی خالص و کارایی مقیاس بر اساس مدلهای انجام شده به ترتیب ۸۳/۰، ۹۸/۰ و ۸۵/۰ بدست آمد. انحراف معیار در کارایی فنی خالص بیانگر اینست که همه‌ی کشاورزان از روشهای صحیح تولید آگاهی ندارند و یا نهاده‌های مختلف را در زمان مناسب یا به مقدار بهینه استفاده نکرده‌اند. تحقیق مشابه در همدان میانگین کارایی فنی و کارایی فنی خالص برای هندوانه را به ترتیب ۸/۰ و ۹۷/۰ اعلام کرد و گزارش شد کارایی فنی کشاورزان ناکارا در آن ناحیه بین ۵/۰ تا ۱ بوده و کارایی فنی خالص واحدهای ناکارا بین ۷/۰ تا ۱ متغیر بوده است (Namdari *et al*., 2011).

جدول ۴- مقادیر میانگین کارایی‌های مختلف کشاورزان

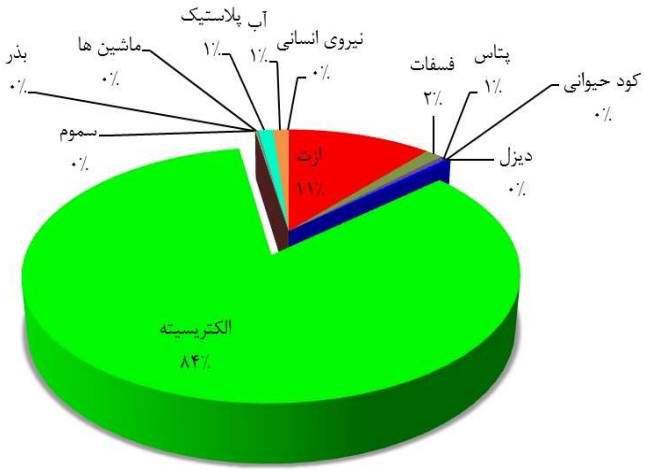
عنوان	میانگین	انحراف معیار	حداقل	حداکثر
کارایی فنی	۰/۸۳	۰/۱۳	۰/۵۶	۱
کارایی فنی خالص	۰/۹۸	۰/۰۲	۰/۹۲	۱
کارایی مقیاس	۰/۸۵	۰/۱۳	۰/۵۶	۱

مقادیر بهینه انرژی برای کشت هندوانه در منطقه و مقادیر انرژی قابل ذخیره‌ی آن نسبت به مصرف اولیه در جدول (۵) آمده است. همانطور که در جدول مشاهده می‌شود میزان کل انرژی لازم در حالت بهینه‌ی مصرف برای هندوانه ۱۲۵۵۴۱ مگاژول برای هر هکتار بدست آمد و بنابراین می‌توان بطور متوسط در حدود ۱۱۹۴۳ مگاژول انرژی در هر هکتار (در مزارع ناکارا) ذخیره کرد که این مقدار در حدود ۶۷/۸ ٪ از کل انرژی مزارع ناکارا می‌باشد.

جدول ۵- مقادیر مصرف انرژی بهینه مورد نیاز نهاده‌های مختلف و مقدار قابل ذخیره برای هندوانه

نهاده‌ها (واحد)	مقدار بهینه‌ی مصرف (مگاژول در هکتار)	مقدار انرژی ذخیره شده (مگاژول در هکتار)
۱- ماشینها (کیلوگرم)	۱۸۸۰/۸۳	۴۶/۱۱
۲- نیروی کارگری (ساعت)	۴۹۸/۶۳	۶۲/۵
۳- سوخت دیزل (لیتر)	۳۴۷۸/۸۸	۱۳/۴۱
۴- الکتریسیته (کیلووات‌ساعت)	۹۷۷۷۳/۰۹	۲۵/۱۰۰۳۰
۵- کودهای شیمیایی (کیلوگرم)		
الف) نیتروژن	۸۸۲۷/۶۰	۹۱/۱۳۳۳
ب) فسفات	۱۳۹۳/۶۵	۳۵/۱۶۱
ج) پتاسیم	۹۰/۳۸	۴۰/۶۰
۶- کود حیوانی (کیلوگرم)	۶/۳۰	۸۸/۱
۷- سموم شیمیایی (کیلوگرم)	۱۳۱/۳۴	۲۳/۱۴
۸- آب آبیاری (مترمکعب)	۴۰۱۷/۸۳	۷۸/۱۴۴
۹- بذر (کیلوگرم)	۲/۷۱	۰۸/۰
۱۰- پلاستیک (کیلوگرم)	۷۴۳۹/۷۷	۶۴/۱۳۸
کل انرژی نهاده	۱۲۵۵۴۱/۰۲	۷۳/۱۱۹۴۳

سهم هر یک از نهاده‌ها در ذخیره‌ی انرژی (از کل انرژی ذخیره شده) در شکل (۴) نشان داده شده است. همانگونه که در شکل مشخص است الکتریسیته با ۸۴٪ و میزان ۱۰۰۳۰ مگاژول در هکتار بیشترین سهم انرژی ذخیره شده را دارد. پس از آن کود ازت با ۱۱٪ و مقدار ۱۳۳۴ مگاژول در هکتار در رتبه‌ی دوم قرار دارد.



شکل۴– سهم نهاده‌های مختلف در ذخیره‌سازی انرژی در تولید هندوانه

۴- نتیجه‌گیری

نتایج حاصل از این تحقیق نشان داد که برای کشت هندوانه در استان کرمان در حدود ۱۳۷۴۸۴ مگاژول برای هر هکتار انرژی لازم داریم و نیز پتانسیل زیادی برای ذخیره و کاهش انرژی ورودی وجود دارد. با بررسی کشاورزان منطقه، این نکته مشخص گردید که کشاورزان از نظر کارایی در سطح مطلوبی قرار نداشته و با بکارگیری تکنولوژی یکسان و روشهای بهتر در کشت و زمان‌بندی دقیق‌تر برای مصرف نهاده‌ها، می‌توان راندمان مصرف انرژی بالاتری داشت. بر اساس آنالیز مدل تحلیل پوششی داده‌ها (DEA) بدون کاهش عملکرد و یا تغییر تکنولوژی کشت، می‌توان ۶۷/۸ ٪ از کل انرژی مصرف شده که معادل ۱۱۹۴۳ مگاژول در هکتار است، را ذخیره کرد که از این مقدار انرژی الکتریسیته با ۸۴٪ بیشترین سهم را دارد.

منابع

۱- راعی جدیدی، م.، همایونی‌فر، م.، صبوحی صابونی، م.، و خردمند، و. ۱۳۸۹. بررسی میزان کارایی و بهره‌وری انرژی در تولید گوجه فرنگی. نشریه‌ی اقتصاد و توسعه‌ی کشاورزی (علوم و صنایع کشاورزی). جلد ۲۴. شماره ۳. پاییز ۱۳۸۹. صفحات ۳۶۳-۳۷۰.

۲- رحمتی، م.، پاشایی، پ.، پاشایی، ف.، رضایی اصل، ع.، و محمد رزداری، آ. ۱۳۹۱. تعیین میزان مصرف انرژی برای تولید گوجه‌فرنگی گلخانه‌ای در شهرکهای گلخانه‌ای استان کرمانشاه. مجله‌ی پژوهشهای تولید گیاهی. جلد نوزدهم. شماره‌ی دوم.

۳- سیلسپور، م.، و جعفری، پ. ۱۳۸۴. اثر دور آبیاری بر عملکرد محصول و بذر سه رقم هندوانه در منطقه‌ی ورامین. مجله‌ی پژوهش در کشاورزی. جلد اول. شماره‌ی دوم.

۴- صابری، م. ح.، ذوالفقاران، ا.، آذری نصرآباد، ع.، عطاردی، ب. ۱۳۸۵. بررسی اثر شوری بر عملکرد و اجزاء عملکرد ارقام هندوانه. مجله‌ی نهال و بذر. جلد ۲۲. شماره‌ی یک.

۵- طالقانی، ا. ۱۳۹۰. ارزیابی کارایی انرژی در زراعت گندم آبی در استان خراسان رضوی. مجله‌ی پژوهش در علوم زراعی. سال چهارم. شماره ۱۳. پاییز ۱۳۹۰.

6- Banaeian, N., Omid, M., Ahmadi, H., 2011. Energy and economic analysis of greenhouse strawberry production in Tehran province of Iran. Energy Conversion and Management 52, 1020-1025.

7- Cochran, W. G. and Snedecor, G. W. 1989. Statistical Methods 8th edn. Iowa State Press, USA.

8- Khoshnevisan, B., Motamed Shariati, H. R., Rafiee, Sh., Mousazadeh, H. 2014. Comparison of energy consumption and GHG emissions of open field and greenhouse strawberry production. Renewable and Sustainable Energy Reviews 29, 316-324.

9- Khoshnevisan, B., Rafiee, Sh., Omid, M., Mousazadeh, H. 2013a. Applying data envelopment analysis approach to improve energy efficiency and reduce GHG (greenhouse gas) emission of wheat production. Energy 58, 588-593

10- Khoshnevisan, B., Rafiee, Sh., Omid, M., Yousefi, M., Movahedi, M. 2013b. Modeling of energy consumption and GHG (greenhouse gas) emissions in wheat production in Esfahan province of Iran using artificial neural networks. Energy 52, 333-338.

11- Lee, W. S. 2010. Benchmarking the energy performance for cooling purposes in buildings using a novel index-total performance of energy for cooling purposes. Energy 35, 50-54.

12- Mohammadi, A., Tabatabaeefar, A., Shahin, S., Rafiee, Sh., Keyhani, A. 2008. Energy use and economical analysis of potato production in Iran a case study: Ardabil province. Energy Conversion and Management 49, 3566-3570.

13- Moore, S. R. 2010. Energy efficiency in small-scale biointensive organic onion production in Pennsylvania, USA. Renewable Agriculture and Food Systems 25, 181-188.

14- Namdari, M., Mohammadi, A., Ghasemi Mobtaker, H. 2011. Assessment of energy requirement and sensitivity analysis of inputs for watermelon production in Iran. International Journal of Plant, Animal and Environmental Science 1, 102-110.

15- Omid, M., Ghojabeige, F., Delshad, M., Ahmadi, H. 2011. Energy use pattern and benchmarking of selected greenhouses in Iran using data envelopment analysis. Energy Conversion and Management 52, 153-162.

16- Ozkan, B., Akcaoz, H., Karadeniz, F. 2004. Energy requirement and economic analysis of citrus production in Turkey. Energy Conversion and Management 45, 1821-1830.

17- Streimikiene, D., Klevas, V., Bubeliene, J., 2007. Use of EU structural funds for sustainable energy development in new EU member states. Renewable and Sustainable Energy Reviews 11, 1167-1187.

18- Tsatsarelis, C. A. 1993. Energy inputs and outputs for soft winter wheat production in Greece. Agriculture, Ecosystems & Environment 43, 109-118.

19- Yilmaz, I., Akcaoz, H., Ozkan, B. 2005. An analysis of energy use and input costs for cotton production in Turkey. Renewable Energy 30, 145-155.

Estimating Energy Use and Optimizing Pattern Use of Energy for Watermelon Using Data Envelopment Analysis (DEA) Method

Hanifreza Motamed Shariati[1], Meysam Iranpour[2], Benyamin Khoshnevisan[2]

1- PhD Student of Mechanization, Department of Agricultural Machinery and Bio-system, University of Tehran (*hr_motamed@ut.ac.ir*)

2- Alumni of Master Mechanization, Department of Agricultural Machinery and Bio-system, University of Tehran

Abstract

A study conducted in planting season 1391-1392 to determine input energy use for planting watermelon in Orzuiye, Kerman province, Iran. With the help of 88 asked farmers, mean of input energy was estimated 137484$\frac{MJ}{ha}$. Energy rate (ER) 0.4, energy productivity (EP) 0.2$\frac{kg}{GJ}$, pure increasing energy (PIE) -80485$\frac{MJ}{ha}$, energy intensity (EI) 4.4$\frac{MJ}{kg}$ and were calculated. The value of direct energy was determined 85%, indirect energy 15%, renewable energy 4% and nonrenewable energy 96% were determined too. The most input was electricity with 79% followed by nitrogen, used in fertilizer mode, with 7% of total input energy. Energy use efficiency was determined with the aim of Data Envelopment Analyze (DEA) method in the CCR and BCC models; *EMS* software was used and the following results were obtained: technical efficiency (TE) 0.83, pure technical efficiency 0.98 and scale efficiency 0.85. With the aim of DEA without decreasing yield and/or improving the technology of planting, we can save 8.67% of the total energy equal to 11943$\frac{MJ}{ha}$ of which electricity has the most value (84%) of total saved energy.

Keywords: Data Envelopment Analysis (DEA), Efficiency, Energy, Watermelon.