ششمین کنگره ملی مهندسی ماشین‌های کشاورزی و مکانیزاسیون
پردیس کشاورزی و منابع‌طبیعی دانشگاه تهران (کرج)
۲٤ و ۲۵ شهریور ۱۳۸۹

بهینه سازی مصرف سوخت در تولید گندم آبی در استان‌های جنوبی ایران

فائقه اصانلو[۱] منصور بهروزی لار[۲] زهرا خدا رحم پور[۳]

[۱]شرکت مهرگان ماشین ایرانیان

[۲و ۳] دانشگاه جامع آزاد اسلامی شوشتر گروه مکانیزاسیون کشاورزی

faegheho@yahoo.com

چکیده

عملیات ماشینی مختلف کشاورزی، انرژی‌های مصرفی متفاوتی دارند. آمار پرسش نامه‌ای از چهار استان جنوبی ایران شامل بوشهر، خوزستان، سیستان بلوچستان و هرمزگان برای مصرف انرژی این ماشین‌ها با نرم افزار SPSS تحلیل و با نتایج محاسبه‌ها برای عملیات متناظر مقایسه گردید. در تحلیل‌های آماری ملاحظه شد که کم‌ترین مصرف انرژی در این استان‌ها از بیش‌ترین مقدار محاسبه شده بیش‌تر است و در بعضی از موارد تا سه برابر افزایش نشان می‌دهد. ضریب انرژی کل میدانی برای استان‌ها $GJha^{-1}$ ۲٤/۱۰ تا ۳۸/۹۸ به دست آمد. این انرژی طبق محاسبه برای بیش‌ترین مصرف یا بدترین حالت یعنی سنگین‌ترین خاک و کم‌ترین ظرفیت مزرعه‌ای $GJha^{-1}$ ۲۳/٦۷ بود. در عملیات داشت، انرژی در سه بخش جداگانه، انرژی کولتیواتر زنی، انرژی سوخت آب و انرژی برق آب مورد تحلیل قرار گرفت. میانگین استانی انرژی‌ها برای عملیات خاک‌ورزی، کاشت، داشت (سوای انرژی آب)، برداشت و حمل و نقل بر اساس آمار میدانی به ترتیب برابر lha^{-1} ۵۷/۳۸، ۳٤/۲۸، ۲۷/۵۰، ٤۷/۰۲و ۷۸/٦۵ ولی با محاسبه lha^{-1} ٤٦/۷۸، ۱۱/۰۸، ٦/۱۰، ۳۸/۹۰، و ٤٦/۰۰ بود. شدت انرژی تولید دانه برای استان‌های بوشهر، خوزستان، سیستان بلوچستان و هرمزگان به ترتیب برابر GJt^{-1} ٤/۷۹، ۲۳/۳٤، ۸/۰۸ و ۷/۱۷ و بازده انرژی آن‌ها به ترتیب ۱٤/۵٤، ۰/٦۵، ۷/۹۲ و ۱۰/۵٦ به دست آمدند. رابطه ویژه ای برای مصرف سوخت و برق استحصال آب از چاه های ایران به دست آورده شد.

واژه های کلیدی: ضریب انرژی، شدت انرژی، گندم آبی، بازده انرژی، استان‌های جنوبی ایران

۱- مقدمه

اهمیت تعیین مصرف انرژی در کشاورزی فقط برای محاسبه قیمت تولید نیست گو این که با نزدیک شدن WTO ما نمی‌توانیم کشاورزی پایدار داشته باشیم مگر این که قیمت تولید ما قابل رقابت در سطح بین المللی باشد. اهمیت بیش‌تر موضوع به ویژه در کشورهای در حال توسعه در آن است که از آن می‌توان به تنگناهای کاربرد تکنولوژی پی برده و راهکارهای مناسب برای کاهش مصرف را ارایه نمود. به این منظور باید بیش‌ترین انرژی مصرفی برای هریک از عملیات ماشینی به طور نظری محاسبه شده تا به عنوان معیاری برای مقایسه مصرف سوخت میدانی به کار رود. آمار کشورهای خارجی نیز می‌تواند چنین معیاری باشد ولی کم‌تر می‌توان از شرایطی اطلاع یافت که این آمار در آن گرفته شده است. به دو دلیل نمی‌توان از این آمار خارجی برای مقایسه بهره گرفت اول این که معلوم نیست که انرژی مصرفی برای ماشین‌ها شامل انرژی لازم برای حرکت تراکتور کشنده نیز بوده است یا خیر. دوم این که تولید گندم در بیش‌تر این کشورها به صورت دیم انجام می‌گیرد و لذا یک مصرف کننده مهم یعنی استحصال آب را فاقد است؛ ولی اگر هم شامل باشد، معلوم نیست که انرژی مصرفی آن با شرایط کشور ما همخوانی داشته باشد. به هر حال دانستن این آمار شاید به عنوان یک هدف قابل توجیه باشد و لذا به بعضی از این آمار اشاره می شود. اگر آمار میدانی نشان دهد که مصرف انرژی بیش از بیش‌ترین انرژی ممکن محاسبه شده یا بیش از مصرف انرژی در کشورهای مشابه برای محصول های مشابه باشد، آن گاه باید علت‌ها را تحقیق نموده و راهکارهای مناسب را ارایه داد.

۲- مرور منابع

عملیات ماشینی مختلف کشاورزی، انرژی‌های مصرفی متفاوتی دارند که هریک باید جداگانه تعیین شود. عملیات ماشینی در چند بخش مجزای خاک‌ورزی (اولیه و ثانویه)، کاشت، داشت، برداشت و پس از برداشت تفکیک می‌شوند.

انرژی مصرفی برای عملیات داشت در سه بخش نفت گاز برای کولتیواتر زنی، نفت گاز برای چاه‌های دیزلی و برق برای چاه‌های آبی تفکیک شده‌اند. عملیات پس از برداشت شامل کارهایی می‌شود که پس از برداشت محصول باید انجام گیرند و با حمل محصول به خارج مزرعه تا فرآوری و تبدیل محصول ادامه می‌یابد ولی در این تحقیق فقط بخش حمل محصول به سیلو در نظر گرفته شده است.

بیش‌ترین مصرف انرژی در کشاورزی در جهان مربوط به شخم زدن است که فرمول های متفاوتی را برای محاسبه آن ارایه نموده اند. در منطقه گرم و نیمه خشک ایران به هر حال، انرژی مصرفی استحصال آب بیش از انرژی خاک‌ورزی است.

هانت [۱] نیروی کششی بر هر متر از عرض کار ماشین را برای گاو آهن‌های برگردان‌دار و عمق کار ۱۸ سانتی متر و سرعت ٤/٨ km/h در خاک‌های سنگین ٨/٥ kN/m تا ١٦/٦ داده است. لذا همان رقم ١٦/٦ kN/m را برای تعیین انرژی مصرفی شخم زدن به کار برده می شود. انرژی مصرفی تابعی از توان لازم برای کار ماشین است. توان مالبندی یک ماشین و تراکتور کشنده آن از رابطه زیر محاسبه خواهد شد،

$$P_{db_{mt}} = \frac{(F + fmg)v}{۳۶۰۰} \times D_m \qquad (۱)$$

که در آن: P_{db} = توان مالبندی، kW

F = نیروی کششی ماشین، N

f = ضریب مقاومت کششی در برابر چرخ های تراکتور، اعشاری

m = وزن تراکتور، kg

g = شناب ثقل، ۹/۸۱ m/s^2

v = سرعت پیش روی ماشین ها، km/h

D_m = ضریب درجه مکانیزاسیون برای هر عمل ماشینی، اعشاری

ضریب درجه مکانیزاسیون از آن جهت در این رابطه وارد شده است که در آمار میدانی، انرژی مصرفی برای بعضی از عملیات مانند شخم اولیه، خاک‌ورزی ثانویه، بذرافشانی، خطی کاری و از این قبیل تفکیک نشده‌اند و از طرفی، طبق آمار وزارت کشاورزی، درجه مکانیزاسیون هیچ یک از عملیات ماشینی بجز خاک‌ورزی اولیه، ۱۰۰٪ نیست. بنابراین فقط برای شخم‌زدن، ۱ =D_m می‌باشد. برای بقیه، باید درجه مکانیزاسیون را دخالت داد. نیروی کششی ماشین‌های مختلف که در این محاسبه ها به کار رفته‌اند در جدول ۱ داده شده است که به جز درجه مکانیزاسیون، اقتباسی از آمار ارایه شده هانت[۱] می‌باشد.

آزمون تراکتور نبراسکا [1]، مصرف سوخت ساعتی تراکتور را بر حسب ۷۵٪ از توان مالبندی مورد نیاز محاسبه می نماید. موتورهای با توان های ۳۱ kW تا ۲۶۱ kW را در شش گروه طبقه‌بندی نموده و برای هر گروه رابطه‌ای ویژه داده شده است. برای دامنه توان تراکتورهای موجود در ایران یعنی ۳۷ kW تا ۷۴/۵، رابطه زیر برقرار است،

$$L/h = ۴/۹۳ + ۰/۱۹۹۰ \times ۰/۷۵ P_{db} \quad (۲)$$

نتیجه ی این رابطه گرچه دقت زیادی ندارد ولی محاسبه را بسیار ساده‌تر کرده و عوامل ناشناخته در آن کم‌تر وجود دارد. در این پژوهش از این رابطه بهره گرفته می‌شود.

جدول ۱ - نیروی کششی، عرض کار و سرعت پیش روی ماشین‌ها که در محاسبه‌ها به کار رفته‌اند

نوع ماشین	نیروی کششی kN/m	عرض کار m	سرعت کار km/h	درجه مکانیزاسیون ٪	بازده مزرعه ای ٪	ظرفیت مزرعه ای ha/h	مصرف سوخت l/h	مصرف سوخت l/ha
گاو آهن برگردان‌دار	۱۶/۶	۰/۹	٤	۱۰۰	۰/۷٤	۰/۲۷	۸/۱۷	۳۰/۲۸
هرس بشقابی (دیسک)	۲/٤	۳/٦	۸	۸۸	۰/۷۷	۲/۲۲	۸/۷٤	۳/۹٤
ماله	٤/٤	۳	٦	٦۲	۰/۷۷	۱/۳۹	۷/٦٤	۵/۵۰
بذر افشان	۲ kW	۱۰	۸	۵۷	۰/٦۵	۵/۲۰	۵/۹۲	۱/۳٤
خطی کار	۱/٦	۲/۵	٦	۳۸/۳	۰/٦۵	۰/۹۷	۵/۷۳	۵/۹۱
کولتیواتر(فارویر)	۱/۸	۱/۵۰	٦	۱۰۰	۰/٦۸	۰/۵۸	٦/۷۰	۱۱/۵٦
سم پاش	۰/۲ kW	٤	۱۰	٤۸	۰/۵۵	۲/۲۰	۵/۵۲	۲/۵۵
کود افشانی	۱/۲	۱۰	۸	۷۷	۰/٦۰	٤/۸	۸/۷۵	۱/۸۲
کمباین غلات*	–	–	–	–	–	–	۱۷/۹۰	۳۸/۹۰
حمل و نقل*	–	–	–	–	–	–	–	۱۸/۱۵

* به متن رجوع شود

هر لیتر نفت گاز مصرفی برابر ۱/۲۳ لیتر مصرف واقعی می‌باشد [2]. رقم ۰/۲۳ اضافی برای استخراج نفت، پالایش و حمل و نقل در داخل کشور در نظر گرفته می‌شود. به نظر نگارنده این مقاله، اضافه کردن این رقم گرچه برای محاسبه مصرف سوخت در سطح کشور درست است ولی برای تولید نمی‌توان به کار برد چون هزینه مالی سوخت تراکتور در هرکشوری، این رقم را در خود مستتر دارد. همین منبع ارقام جدول ۲ را برای عملیات ماشینی مختلف داده است که شاید بتوان برای مقایسه با نتایج محاسبه های این پژوهش مورد استفاده قرار داد.

جدول ۲- مصرف نفت گاز برای بعضی از عملیات ماشینی

نوع عملیات	مصرف سوخت (l/ha)	نوع عملیات	مصرف سوخت (l/ha)
شخم	۱۸/۱	کود افشانی	۳/۱
دیسک	۱۲/۱	درو علوفه	٦/۱
کولتیواتر	٦/۱	برداشت ذرت دامی(L/t)	۱/۲
خطی کاری	۵/۱	حمل و نقل (L/t-km)	۰/۰۷۹

از تقسیم مصرف ساعتی سوخت بر ظرفیت مزرعه‌ای ماشین، C، مصرف هکتاری سوخت به دست می آید،

$$C = \frac{vwe}{۱۰} \qquad (۳)$$

که در آن: C = ظرفیت مزرعه‌ای ماشین، ha/h

w = عرض کار ماشین، m

e = ضریب بازدهی مزرعه‌ای، اعشاری

ضریب بازده مزرعه‌ای، e برای ماشین‌های کشاورزی مختلف متفاوت و برای ایران نامعلوم است؛ ولی دامنه‌ای از آن برای ماشین‌ها در هانت [۱] و [3] داده شده است که ما با توجه به ناکارآیی تراکتورها و راننده‌ها، کم‌ترین مقدار را منظور داشته تا بیش‌ترین ضریب انرژی نظری به دست آید.

۳- مواد و روش‌ها

برای جمع آوری آمار مربوط به مصرف انرژی برای تولید گندم آبی در هریک از استان‌های مورد نظر یعنی بوشهر، خوزستان، سیستان بلوچستان و هرمزگان تعداد ۲۰ پرسشنامه توزیع گردید. بعضی از آمارهای گردآوری شده غیر قابل استفاده بودند که حذف شدند و لذا تجزیه و تحلیل آماری بر مبنای طرح کاملاً تصادفی نامتعادل با استفاده از نرم افزار SPSS انجام گرفت. مقایسه میانگین‌ها با استفاده از آزمون چند دامنه ای دانکن در سطح احتمال ۵٪ ، و تحلیل داده‌های هر استان با استفاده از آماره‌های توصیفی مانند میانگین، کمینه، بیشینه و انحراف معیار انجام گرفت. برای رسم نمودار از نرم افزار Excel بهره گرفته شد.

۳- ۱ محاسبه انرژی خاک‌ورزی: در استان‌های مورد نظر به سبب سفتی خاک، خشک بودن خاک در زمان شخم زدن و پایین بودن توان تراکتورها، به طور عمود از گاو آهن برگردان‌دار سه خیش سوار به عرض کار ۰/۹ متر بهره گرفته و به خاطر سنگینی خاک، شخم با سرعت‌های حدود ٤ km/h انجام می‌گیرد. برای شخم ثانویه به طور عمده از هرس بشقابی (دیسک) و به طور معمول نوع سوار ۲۸ پره بهره گرفته می‌شود. سوای معدودی از کشاورزان که از نوعی ماله (لولر) استفاده می‌نمایند، این وسیله تنها ماشین خاک‌ورزی ثانوی به شمار می‌رود. آمار کشاورزی سال ۱۳۸٤٥ [۲] حکایت از آن دارد که ۱۰۰٪ از عملیات شخم با گاو آهن، ۸۰٪ عملیات شخم ثانویه با هرس بشقابی انجام گرفته و در٦٦٪ از مزارع ماله زده شده است. برای محاسبه انرژی مصرفی خاک‌ورزی کافی است که انرژی هریک از ماشین‌ها را محاسبه نموده، در نسبت درجه مکانیزاسیون آن‌ها ضرب و آن گاه جمع نمود تا معیاری محاسبه‌ای برای مقایسه مصرف انرژی خاک ورزی میدانی به دست آورد.

محاسبه برای بدترین حالت یعنی بیش‌ترین نیروی کششی لازم، کم‌ترین بازده مزرعه‌ای و پایین‌ترین سرعت پیش‌روی انجام می‌گیرد. اگر آمار میدانی از این مقدار هم زیادتر باشد آن گاه می‌توان اطمینان داشت که مشکلی در مصرف انرژی واقعی وجود دارد. با قرار دادن ارقام جدول ۱ در رابطه (۱)، و کاربرد رابطه (۲) مصرف ساعتی سوخت تراکتور برای عملیات مختلف ماشینی به دست می‌آید که پس از این نوشته شده و در جدول ۵ نیز وارد شده است. جرم تراکتورهای مسی فرگوسن ۲۸۵ بدون سنگین کننده ۲۵۰۰ kg است که با ۵۱۰ kg سنگین کننده‌های چدنی جلو تراکتور و روی چرخ‌ها[4] به۳۰۱۰ کیلوگرم می‌رسد. ضریب مقاومت غلتشی در زمین شخم نخورده برابر۰/۱۰(برای شخم زدن) و در زمین شخم خورده (برای دیسک زدن و ماله کشی) ۰/۱۵ در نظر گرفته می‌شود [۳]

- شخم زدن $l/ha = ۳۰/۲۸, l/h = ۸/۱۷, P_{db} = ۲۱/۷۲\ kW$
- هرس بشقابی (دیسک زدن) $l/ha = ۳/۹۴, l/h = ۸/۷۴, P_{db} = ۲۵/۵۶\ kW$
- ماله (لولر) کشی $l/ha = ۵/۰۶, l/h = ۷/۰۴, P_{db} = ۱۴/۱۰\ kW$

جمع برای خاک ورزی $l/ha = ۳۹/۲۸, l/h = ۲۳/۹۵, P_{db} = ۶۱/۳۸\ kW$

۳-۲ محاسبه انرژی مصرفی کاشت: بذرکاری در ایران بیش‌تر با بذر افشان انجام می‌گیرد. فقط در سال‌های اخیر کشاورزان به کاربرد خطی کار روی آورده‌اند. بذرافشان‌ها انرژی چندانی را لازم ندارند ولی دیسک‌زدن پس از بذرافشانی به منظور پوشاندن بذرها انرژی‌بر است. کولتیواترزدن برای در آوردن شیار آبیاری برای هر دو روش بذرکاری انجام می‌گیرد. توان مالبندی بذر افشانی در جدول ۱ برابر ۲ kW است. این ماشین فقط از محور توان دهی نیرو می‌گیرد و لذا این توان، توان لازم ماشین روی محور توان‌دهی می‌باشد. برای به دست آوردن معادل توان مالبندی کافی است که این رقم را در ۰/۸۹ [3] ضرب نمود تا عدد ۱/۷۸ kW به دست آید. با صفر قرار دادن F در رابطه (۱) توان مالبندی برای حرکت تراکتور به تنهایی مساوی ۹/۸٤ kW حاصل می شود. پس مجموع توان مالبندی ماشین و تراکتور ۱۱/٦۲ kW می‌باشد که جون در درجه مکانیزاسیون ۰/۵۷ آن ضرب شود به عدد ٦/٦۲ kW می رسیم. سوخت مصرفی از رابطه (۲) برابر ۵/۹۲ l/h و با تقسیم آن بر ظرفیت مزرعه‌ای ۵/۲ ha/h عدد ۱/۳٤ l/ha به دست می آید.

۳- ۳ محاسبه انرژی مصرفی داشت: کود افشانی به صورت کود سرک و سم پاشی سوای آبیاری تنها دو عمل مرسوم داشت در کشت گندم آبی در ایران است. انرژی مصرفی دو عمل اول بیش تر مربوط به حرکت تراکتور است که به روش‌های ذکر شده در بالا محاسبه شده و در جدول ۱ نشان داده شده‌اند. انرژی مصرفی آب که مقدار آن بسیار زیاد است به طور جداگانه در زیر محاسبه می شود.

۳- ٤ محاسبه انرژی استحصال آب

بنابر آمار آب ایران [٤]، ۵۱٪ از آب کشاورزی از چاه‌های عمیق و نیمه عمیق تأمین می‌شود. چاه‌های عمیق طبق تعریف وزارت نیرو آن‌هایی هستند که به عمق ۷۵ متر و بده ۲۳/۵ L/s می‌باشند. چاه‌های نیمه عمیق طبق همین تعریف دارای عمق ۲۰ متر و بده ۱۱ L/s هستند. بعضی از چاه‌ها برقی شده‌اند ولی عده بسیاری هنوز با موتورهای دیزلی کار می‌کنند. سالانه ٤۲ میلیارد متر مکعب آب از این چاه‌ها استخراج می‌شود که اگر فرض شود مقدار آن به نسبت چاه‌های دیزلی و آبی باشد، جدول ۳ را می‌توان تشکیل داد.

بازده پمپ‌ها به طور معمول ۸۰٪، بازده انتقال توان۶۰٪ ، بازده موتورهای دیزلی ۸۵٪ و بازده موتورهای برقی ۹۰٪ برآورد شده‌اند [٤]. با جای گزینی این ارقام در رابطه عمومی هیدرولیک دو رابطه زیر به ترتیب برای موتورهای دیزلی و برقی به دست می‌آیند،

(٤) برای موتورهای دیزلی $$P_D = \frac{۹/۸۱ \times Qh}{۱۰۰۰ \times ۰/۸۰ \times ۰/۶۰ \times ۰/۸۵} = \frac{Qh}{۴۱/۶} \ kW$$

(۵) برای موتورهای برقی $$P_E = \frac{۹/۸۱ \times Qh}{۱۰۰۰ \times ۰/۸۰ \times ۰/۹۰} = \frac{Qh}{۷۳/۴} \ kW$$

جدول ۳- جمع بندی آمار چاه‌های آب در بخش کشاورزی در سال ۱۳۸۲

منبع تامین آب	حجم آب $10^9\ m^3$	تعداد چاه‌ها و نسبت حجمی استحصال آب						بده l/s
		برقی	نسبت حجمی ٪	دیزلی	نسبت حجمی٪	جمع چاه ها	عمق M	
نیمه عمیق	۱۳	۷٤۵٤۳	۷	۲۵۵۷۲٦	۲٤	۳۳۰۲٦۹	۲۰	۱۱
عمیق	۲۹	۲۸۳٦۸	۱۵	۹۹٤۳۲	۵٤	۱۲۷۸۰۰	۷۵	۲۳/۵
جمع	٤۲	۱۰۲۹۱۱		۳۵۵۱۵۸		٤۵۸۰٦۹		

بنا بر آمار و اطلاعات ذکر شده، بهروزی لار [۵] رابطه ویژه ای به شرح زیر برای استحصال یک متر مکعب آب از چاه و صرف نظر از نوع چاه و عمق آن به دست آورد،

$$۰/۱۶۹ \ l/m^3 + ۰/۰۷۱ \ kWh/m^3 \quad \text{معادل} \ ۰/۱۷٦ \ l/m^3 \ \text{یا} \ ٦/۷ \ MJ/m^3 \qquad (٦)$$

۳- ۵ محاسبه انرژی مصرفی برداشت: قریب به اتفاق کمباین‌های ایران از نوع جاندیر ۹۵۵ با موتوری به قدرت ۷۷/٦ kW (۱۰٤ hp) می باشد. محاسبه انرژی برای برداشت را نیز می توان با استفاده از رابطه (۱) و به همان روشی انجام داد که برای تراکتور؛ ولی از آن جا که کمباین ها طبق آمار شرکت جاندیر در ۷۰٪ از موارد از فقط ٦۰٪ توان موتوری بهره می‌گیرند [4]راه ساده تر زیر را انتخاب می‌کنیم. ٦۰٪ از توان ۷۷/٦ کیلو واتی برابر ٤٦/٦ kW است. طبق آمار وزارت جهاد کشاورزی [۲] ظرفیت مزرعه ای کمباین‌های ایران برای درو گندم آبی به طور میانگین ۰/٤٦ ha/h می باشد. انرژی مصرفی این کمباین بنابراین مساوی ۱۰۱(۰/٤٦ ÷ ٤٦/٦) kWh/ha می باشدکه چون بر بازده سوخت ۲/٦۰ kWh/L (برای نسبت باردهی ٦۰٪) تقسیم شود رقم ۳۸/۹ L/ha به دست می آید. مصرف ساعتی نفت گاز کمباین ۱۷/۹ L/h (۳۸/۹×۰/٤٦) می‌باشد.

۳- ٦ محاسبه انرژی مصرفی حمل و نقل: انرژی حمل و نقل در دو بخش باید محاسبه شود. یکی برای درون مزرعه که تریلر در تعقیب کمباین حرکت و بارگیری نموده و آن گاه به جاده می‌رود و بخش دوم حرکت روی جاده برای تحویل محصول به سیلو. تفاوت این دو محاسبه در ضریب مقاومت غلتشی آن، ضریب درگیری چرخ با زمین و سرعت پیش روی است. خاک مزرعه به هنگام برداشت محصول سفت است و ضریب مقاومت غلتشی را می‌توان ۰/۱۰ فرض نمود. این ضریب برای جاده آسفالته ۰/۰۵ در نظر گرفته می‌شود [۱]. ضریب درگیری چرخ برای خاک سفت ۰/۷۲ و روی سیمان ۰/۸۷ است [3]. تریلرهایی که برای بارکشی به کار می‌روند به طور معمول ٤ تنی یا به اصطلاح دو محوره است. سرعت حرکت در مزرعه حدود ۲/۵ km/h (هم سرعت با کمباین) است ولی روی جاده به ۳۰ km/h می‌رسد. با قراردادن این ارقام در رابطه (۱) برای حرکت تریلر به جرم کل ٤۸۰۰ kg و تراکتور ۳۰۱۰ kg، توان مالبندی ۵/۳۲ kW برای مزرعه و ۳۱/۹۲ kW روی جاده به دست می‌آید. مصرف ساعتی سوخت هریک، با قرار دادن ارقام در رابطه (۲) به ترتیب برابر ۵/۷۲ l/h و ۹/٦۹ l/h حاصل می شود؛ ولی تریلر خالی در برگشت از سیلو به مزرعه نیز سوخت مصرف می‌نماید که برابر ۷/۲۵ l است. عملکرد محصول گندم آبی به طور متوسط ٤ t/ha است. بنابراین مصرف نفت گاز روی جاده در رفت و برگشت به سیلو یعنی ۱٦/۹٤ لیتر را می‌توان معادل مصرف بر هکتار گرفت. اگر فرض کنیم که فاصله میانگین مزارع از سیلو ۱۰ km است، با سرعت جاده ای ۳۰ km/h، فقط یک سوم سوخت ساعتی را باید معادل سوخت هکتاری گرفت که برابر ۵/٦۵ لیتر می‌شود. مصرف هکتاری سوخت برای حرکت در مزرعه از تقسیم سوخت ساعتی یعنی ۵/۷۲ l/h بر ظرفیت مزرعه‌ای کمباین به دست می‌آید. ظرفیت مزرعه‌ای کمباین‌ها در ایران طبق آمار وزارت کشاورزی همان طور که گفته شد [۲] ۰/٤٦ ha/h و لذا مصرف سوخت ۱۲/٤۳ l/ha و در مجموع ۱۸/۱۵ l/ha محاسبه شد.

٤- نتایج و بحث

نمودار ستونی مصرف انرژی برای عملیات خاک ورزی، کاشت، داشت، نفت گاز برای آبیاری، برق برای آبیاری، برداشت و حمل و نقل همراه با مقدارهای محاسبه شده در شکل ۱ و میانگین ضریب های انرژی محاسبه شده و میدانی برای عملیات مختلف در استان‌ها در جدول ٤ و نمودار ستونی آن‌ها در شکل ۱ نشان داده شده است. نتایج زیر را می‌توان از این جدول و نمودار استخراج نمود:

۱- بیش ترین ضریب انرژی به استان سیستان بلوچستان تعلق داشت. این بدان معنی است که در این استان عملیات خاک‌ورزی بهتر صورت گرفته است و باید عملکرد بیش‌تری نیز داشته باشد، که چنین است. عملکرد این استان به مقدار ٤/۳۸ t/ha بیش از سه استان دیگر بود. انرژی خاک‌ورزی مصرفی این استان به هرحال در مقایسه با مقدار

محاسبه شده، ۲/٦۱ برابر بیش تر بود. مصرف انرژی خاک‌ورزی سه استان دیگر نیز با میانگین l/ha ٦۵/۵۳ بیش از ۱/٦ برابر بود. دلیل این مقایسه می‌تواند یکی یا چند موضوع زیر باشد،

(أ) کمی عرض کار گاو آهن به سبب کمی قدرت تراکتور

(ب) کندی تیغه گاو آهن

(ت) تنظیم نبودن پمپ افشانک تراکتور

(ث) عدم استفاده از گاز دستی

(ج) استفاده نادرست از سامانه هیدرولیک تراکتور (عدم کاربرد کنترل با کشش)

(ح) بوکسوات بیش از حد چرخ‌ها

۲- انرژی مصرفی کاشت استان بوشهر تفاوت معنی‌داری نسبت به سایر استان‌ها نشان می‌دهد و نیز ۳/۷۹ برابر مقدار محاسبه می‌باشد. میانگین انرژی مصرفی کاشت سه استان دیگر نیز ۱/٤٦ برابر بود.

۳- انرژی مصرفی داشت که فقط برای دو استان سیستان بلوچستان و هرمزگان در دست بود تفاوت معنی‌داری با یک دیگر داشته و هر یک به مقدار بسیار چشم‌گیری بیش از مقدار محاسبه شده بود.

۴- نفت گاز مصرفی برای استحصال آب در استان‌ها تفاوت معنی‌داری داشتند. این می‌توانست به دلیل متغیر بودن بازده آبیاری در بین استان‌ها باشد که بستگی به چند عامل دارد: بارندگی مناسب در بعضی از استان‌ها، عمق کم یا بده زیاد بعضی از چاه‌ها، بازده آبیاری بیش از ۳۵٪ فرض شده، دفع علف‌های هرز کنار جوی‌ها، تبخیر کم‌تر و از این قبیل؛ ولی مصرف سوخت به جز در استان بوشهر، در سایر استان‌ها بیش از مقدار محاسبه شده بود.

۵- مصرف انرژی برداشت در سه استان خوزستان، سیستان بلوچستان و هرمزگان تفاوت معنی‌داری نداشتند در حالی که عملکرد فقط استان سیستان بلوچستان زیادتر از دو استان دیگر بود. بنابراین مصرف برداشت را نمی‌توان به عملکرد وابسته دانست. دیر برداشت در این دو استان به دلیل دیر رسیدن کمباین، افت کمباینی بیش از حد به سبب تنظیم نبودن کمباین و از این قبیل را ممکن است علت این موضوع دانست. بیش‌ترین مصرف انرژی برداشت در استان بوشهر بوده است در حالی که عمکرد آن تفاوت معنی‌داری با عملکرد استان سیستان بلوچستان نداشته است. مصرف برداشت این استان به هرحال، کمی بیش از نصف مصرف در استان بوشهر می‌باشد. مصرف انرژی برداشت استان بوشهر حدود ۱/۷۹ برابر مقدار محاسبه شده بود.

۶- ضریب انرژی حمل و نقل در استان‌های خوزستان و سیستان بلوچستان کم‌تر از مقدار محاسبه شده ولی از آنِ استان هرمزگان بیش‌تر بوده است. ضریب انرژی حمل و نقل را نیز نمی‌توان به عملکرد وابسته دانست چون سیستان بلوچستان با بیش‌ترین عملکرد، کم‌ترین ضریب انرژی را نشان می‌دهد. لذا تنها فاصله مزرعه تا سیلو را می‌توان عامل مؤثر در این موضوع دانست.

۵- نتیجه گیری

بازده انرژی استان بوشهر به مقدار ۲/۲ بیش از سایر استان‌ها بوده است. بازده انرژی در سایر استان‌ها به ترتیب ۱/۲۳ برای سیستان بلوچستان، ۰/۸۸ برای خوزستان و ۰/۷۹ برای هرمزگان محاسبه شد. عملکردها برای این استان‌ها به ترتیب ۳/۷٤۹، ٤/۳۸۰، ۲/۱۰۰ و ۲/۵۰۷ تن بر هکتار بوده است.

میانگین ضریب انرژی تولید گندم آبی استان‌ها ،GJ/ha ٤٩/٥٤٧ و GJ/t ١١/٨٣٣ به دست آمد. در مقایسه با آمار منابع خارجی، برای منطقه‌ای خشک و کم آب در هندوستان [5] GJ/ha ١٥/٢٩٠وGJ/t ٧/٢١٩، برای مراکش [6] GJ/ha ١٣/٩٦٣و GJ/t ٥/٥٨٠ و برای منطقه‌ای دیگر در هندوستان [7] GJ/ha ١٩/٥٩٨ و GJ/t ٤/٧٩٩ به دست آمده است. اسلاتز [8] ضریب انرژی برای تولید غلات به روش کشاورزی معمول را از سه مرجع خود، GJ/ha ١٨/٣، ١٧/٢ و ١٦/٥ و GJ/t ٤/٢١، ٢/٧٠ و ٢/٣٨ بیان نموده است. ضریب انرژی برای عملیات ماشینی به تنهایی را GJ/ha ١/٣٦٦ برآورد نموده‌اندکه معادل L/ha ٣٥/٩٥ است[6]. انرژی کل تولید محصول با محاسبه، مساوی GJ/ha ٢٣/٦٧ به دست آمد. نتیجه آن که میانگین مصرف انرژی استان‌ها ١/٣٣ برابر بیش از بیش‌ترین مقدار انرژی است که با محاسبه به دست آمده و در مقایسه با آمارهای سایر کشورها از ١/٦١ تا ٢/٢٥ برابر بیش‌تر می‌باشد. مؤثرترین عوامل در این زیاد بود انرژی در ایران به این ترتیب است: ١- مصرف برق برای استحصال آب، ٢- مصرف سوخت برای استحصال آب، ٣- مصرف انرژی برای حمل و نقل، ٤- مصرف انرژی برای خاک‌ورزی

سینگ و همکاران [5] میانگین وزنی مصرف انرژی منابع مختلف را در سطح‌های پراکنده‌ای به مساحت کل ٣٤/٢ هکتار و برای سال‌های خشک سالی ١٩٨٨- ١٩٩٩ برای روستایی در منطقه گرم و خشک و کم باران (کم‌تر از mm ١٠٠ تا ٤٠٠ در سال) ولی با تعریق و تعرق mm١٥٠٠ تا ٢٠٠٠ در هندوستان برای تولید یک هکتارگندم برابر GJ/ha ١٥/٢٩٠ به دست آورده‌اند. میانگین عملکرد گندم در سال مورد نظر، kg/ha ٢١١٨/٣ بوده است. شدت انرژی برابر MJ/t ٧/٢ و بازده انرژی کشت گندم ٣/٢ ذکر شده است. گندم در این ناحیه فقط در مزرعه‌هایی کاشته می‌شود که آب در اختیار باشد و لذا خشک‌سالی اثر چندانی بر آن ندارد.

منابع مورد استفاده

١- هانت د. ١٩٩٥. مدیریت تراکتور و ماشین های کشاورزی . ترجمه: بهروزی لار منصور و لیلا عقبایی. چاپ چهارم. انتشارات
دانشگاه تهران. ١٣٨٩

٢- بی نام. آمار نامه کشاورزی ایران. انتشارات وزارت جهاد کشاورزی. ١٣٨٥

٣- بهروزی لار منصور، مبلی حسین و علی جعفری. مدیریت ماشین ها و مکانیزاسیون کشاورزی. انتشارات دانشگاه پیام نور.١٣٨٧.

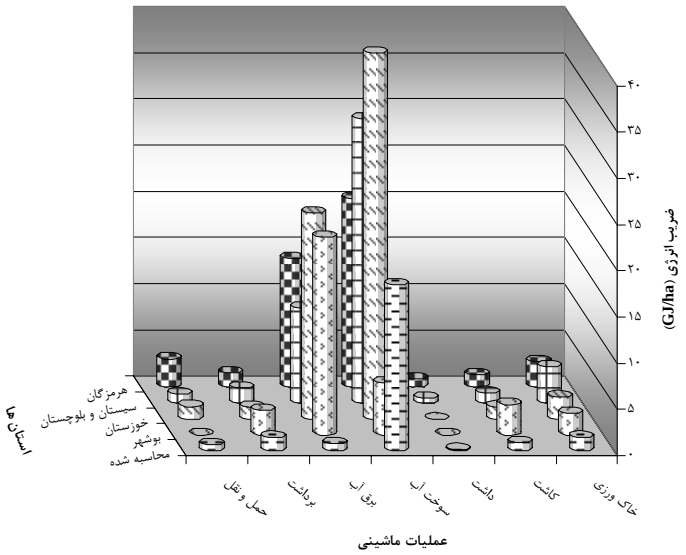
٤- بی نام. منابع آب وزارت نیرو. ١٣٨٢

٥- بهروزی لار منصور. بهینه سازی مصرف انرژی در کشاورزی- شرکت مهندسان مشاور زرکشت پایدار. ١٣٨٧.

٦- بهروزی لار منصور. مدیریت مصرف انرژی در کشاورزی- جلد چهارم از مجموعه پنج جلدی مکانیزاسیون، انرژی و کشاورزی
ماه واره ای. انتشارات دانشگاه جامع آزاد اسلامی شوشتر. ٢٩٤ صفحه. ١٣٨٩.

1. Nagy CN., Energy Coefficients for Agriculture Inputs in Western Canada. Canadian Agricultural Energy End-Use Data Analysis Center. (CAEEDAC). 1999
2. Anonymous. Fuel use by contractors. Pastoral House 25. The Terrace. Wellington. New Zealand. 2005
3. Anonymous. ASAE D497.4 FEB03. American Society of Agricultural Engineers. 2003.
4. Deere Co. John Deere 1165 Combine's Technical Manual. John Deere Co. Arak Iran. 2001.
5. Singh H, Mishra D and Nahar N.M. Energy Use Pattern in Production Agriculture of a typical Village in Arid

Zone, India- Part I. 2002
6. Balli EH and van E. Energy Balance of Wheat Production in Morocco. International Research on Food Security,
Natural Resource. 2005
7. Sidhu HS, Singh S, Singh T and Ahuja SS. Optimization of Energy Usage in Different Crop Production System.
Indian Journal AG. 2004
8. Slotze ET.Calculations of Energy Consumption of Different Products.In:FAO Corporate Documents Repository.
Environment and Natural Resources. 2000



شکل ۱ – نمودار مقایسه ضریب انرژی برای عملیات مختلف ماشینی در استان‌های

جدول ٤ میانگین ضریب های مصرف انرژی محاسبه شده و میدانی در استان ها ، (MJ) l/ha

نوع عملیات	محاسبه	بوشهر	خوزستان	سیستان بلوچستان	هرمزگان
تعداد نمونه	–	۱۹	۲۰	۱۵	١٤
خاک ورزی	۳۹/۲۸ (۱/٤۹)	٦١/٥٣^{b}	٦٣/٧٠^{b}	١٠٢/٧٣^{a}	٧١/٣٦^{b}
کم ترین		۱۰	٤٥	٦٠	٣٦
بیش ترین		۹۰	٧٨	٢١٦	١٢٦
انحراف معیار(SD)		٢١/٦٤	١١/٦٧	٣٠/٤٤	٢٤/٣٣
کاشت	۲۲/۷۵ (۰/۸٦)	٨٦/٢١^{a}	٣٤/٩٠^{b}	٢٩/٥٣^{b}	٣٥/٥٧^{b}

کم ترین		۴۰	۱۵	۱۰	۱۵
بیش ترین		۱۲۶	۶۰	۶۰	۸۰
انحراف معیار(SD)		۲۳/۹۱	۱۲/۹۶	۱۴/۵۵	۱۷/۸۳
داشت	۴/۳۷ (۰/۱۷)	–	–	۱۵/۰۰b	۲۲/۹۳a
کم ترین		–	–	۱۰	۱۲
بیش ترین		–	–	۲۵	۳۰
انحراف معیار(SD)		–	–	۳/۲۷	۳/۶۷
نیاز آبی خالص از آمار m^3/ha	میانگین۲۸۰۹/۷	۲۱۸۲	۳۰۷۲	۳۴۳۵	۲۵۵۰
سوخت محاسبه شده	میانگین ۴۷۴/۸	۳۶۸/۸ (۱۴/۰)	۵۱۹/۷ (۱۳/۷)	۵۸۰/۵ (۲۲/۱)	۴۳۰/۹ (۱۶/۴)
سوخت آب میدانی		۱۵۶/۶۲d	۱۰۶۹a	۸۱۰/۰۰b	۵۳۷/۷۹c
کم ترین		۵	۶۳۰	۳۸۰	۲۸۰
بیش ترین		۲۵۶	۲۰۰۰	۱۰۶۴	۸۴۰
انحراف معیار(SD)		۷۹/۳۸	۴۴۷/۰۳	۱۴۷/۶۶	۱۱۶/۲۵
برداشت	۳۸/۹۰ (۱/۴۸)	۶۹/۵۸a	۳۲/۸۵b	۴۳/۶۰b	۴۱/۵۴b
کم ترین		۸	۱۵	۱۸	۳۰
بیش ترین		۱۱۷	۶۶	۹۰	۴۸
انحراف معیار(SD)		۳۰/۲۶	۱۴/۵۱	۲۶/۹۵	۱۴/۹۹

(ادامه) **جدول ۴ میانگین ضریب های مصرف انرژی محاسبه شده و میدانی در استان ها ، (MJ) l/ha**

حمل و نقل	۴۶/۰۰ (۰/۶۹)	-	۳۵/۰۶b	۲۶/۹۳b	۸۰/۰۰a
کم ترین		–	۱۲	۱۰	۶۰
بیش ترین		–	۵۰	۸۰	۱۲۰
انحراف معیار(SD)		–	۱۱/۴۹	۱۶/۷۹	۱۳/۵۹
نفت گاز کل عملیات ماشینی	۱۵۱/۳	۲۱۷/۳۲a	۱۶۶/۵۱a	۲۱۷/۸۰a	۲۵۱/۴۰a
کم ترین		۸۵	۱۰۸	۱۴۱	۱۵۲
بیش ترین		۳۲۰	۲۰۸	۳۹۱	۳۲۷
انحراف معیار(SD)		۶۱/۸۴	۳۲/۳۴	۶۰/۵۷	۴۵/۱۵
نفت گازکل ماشینی با آبیاری[۲]	۷۵۵/۷۰	۴۵۹/۷۳c	۵۳۶/۱۳a	۶۴۲/۰۷b	۷۸۶/۸۵b
کم ترین		۹۰	۴ ۱۰۸	۵۶۵	۵۳۹
بیش ترین		۴۹۴	۲۱۵۰	۱۲۳۳	۱۰۷۸
		۱۲۶/۹۹	۵۸۹/۵۹	۱۵۲/۳۹	۱۱۸/۴۰

انحراف معیار(SD)					
انرژی کل $GJha^{-1}$ [3]	۲۹/۵۰	۳۵/٦٤ b	٦۹/۲٦ a	٤۹/۳۵ b	٤۳/۹٤ b
کم ترین		٤	۵/۲٤	۳۱/۸۰	۱٦/٤۵
بیش ترین		۵۲	۱۸۳/۱۵	۵۷/۱۵	۵٤/۹۰
انحراف معیار(SD)		۱۵/۷۹	۳٦/٤۸	٦/۰۰	۹/۰۲
عملکرد، t/ha	–	۵/۷٤۹ a	۲/۱۰۰ b	٤/۳۸۰ a	۲/۵۰۷ b
کم ترین		۲/۲۰۰	۱/۲۰۰	۳/۲۰۰	۱/۰۰۰
بیش ترین		٦/۰۰۰	۲/۸۰۰	٦/۰۰۰	٤/۰۰۰
انحراف معیار(SD)		۱/۱۷٦	٤۳۰/٤۲	۰/۸٤٤	۱/۰۷۷
نفت گاز ماشینی Lt^{-1}	–	۵۷/۹۷ bc	۷۹/۲۹ b	٤۹/۷۳ c	۱۰۰/۲۸ a
کم ترین		۱۷	٤۸	۲۳/۵۰	۵۹
بیش ترین		۱۱۰	۱۳۸	۸۳/۷۵	۲٦۲
انحراف معیار(SD)		۲۳/۹۷	۲٤/۳۲	۱۷/۷۰	٦٤/۹۳
نفت گازکل Lt^{-1} [2]	–	۹۱/۳٤ b	٤۸۷/۳۹ a	۱۳۹/۰۰ b	۱٤۳/۸۰ a
کم ترین		۱۸	٤۸	۱۱۵	۵٦
بیش ترین		۲۰۱	۹۷۷	۳۳۷	٤٤٤
انحراف معیار(SD)		۵۱/۹۰	۳۱۵/۵۷	۵۳/٤٦	۹۲/۸۵
انرژی کل GJt^{-1} [3]	–	۹/۵۱٤ c	۳۲/۹۸۳ a	۱۱/۲٦۹ bc	۱۷/۵۲۵ a
کم ترین		۰/۸۲۱	۳	٦/٤۷۲	۱۱/۲٤۸
بیش ترین		۲۰/۷۷۲	۳۷	۱۵/٦۱۸	۲۲/٤۸٦
انحراف معیار(SD)		٦/۱٤۲	۹/۰۰۳	۲/۲۹۳	۱۰/۳٦۸
بازده انرژی [5]		۲/۲۰	۰/۸۸	۱/۲۳	۰/۷۹

* ارقام با علامت های مشابه اختلاف معنی داری با هم ندارند.

[1] برای تبدیل به kWh/ha در ۱۰۰۰ ضرب و بر ۳/٦ تقسیم شود. [2] برای مزارع با موتور پمپ [3] شامل مصرف برق برای آبیاری

[4] کم ترین انرژی مصرفی به وسیله ماشین در مزرعه ای که از چاه برقی بهره می گیرد، با کم ترین انرژی نفت گاز کل برابر می شود.

[5] انرژی محتوای گندم تولیدی مساوی ۱۳/۸٦ $MJkg^{-1}$ [4] فرض شده است.