DOR: 20.1001.1.24234931.1399.7.2.8.7

سال هفتم، شماره دوم، پائیز و زمستان ۱۳۹۹، ص ص ۶۸- ۷۲

فصل‌نامه علمی انرژی‌های تجدیدپذیر و نو

jrenew.ir

مقاله

تاریخ دریافت: ۹۸/۰۴/۱۹

تاریخ پذیرش: ۹۸/۰۶/۲۷

ردپای آب انرژی زیستی حاصل از محصول گندم در ایران

علی محمدی[۱]، حسین یوسفی[۲*]

۱- دانشجوی دکتری علوم و مهندسی آب، منابع آب، پردیس ابوریحان، دانشگاه تهران، تهران

۲- دانشیار، گروه انرژی‌های نو و محیط‌زیست، دانشکده علوم و فنون نوین، دانشگاه تهران، تهران

* تهران، صندوق پستی: ۱۴۳۹۹۵۷۱۳۱، Hosseinyousefi@ut.ac.ir

چکیده

تمام سناریوهای انرژی نشان می‌دهند که رویکرد تأمین انرژی، به‌سوی انرژی‌های تجدیدپذیر به‌ویژه انرژی حاصل از زیست‌توده در حال تغییر هستند. از سوی دیگر در متن این نوع از انرژی، بحث آب که به عنوان یک عامل محدودکننده در بحث تولید محصولات کشاورزی مطرح است به چشم می‌خورد. در این پژوهش با استفاده از شاخص ردپای آب، مقدار آب مصرفی برای تولید هر واحد انرژی از زیست‌توده گندم محاسبه شد. در این راستا شش استان کشور که دارای بیش‌ترین مقدار تولید گندم بودند انتخاب شدند. هدف از این پژوهش تعیین مطلوب‌ترین استان برای تولید انرژی زیستی حاصل از زیست‌توده گندم از منظر شاخص ردپای آب بوده است. نتایج تحقیق نشان داد که استان‌های گلستان، کرمانشاه، اردبیل، خوزستان، فارس و خراسان رضوی به ترتیب با داشتن ۲۵/۱، ۳۳، ۳۵/۵، ۳۹/۴، ۴۳/۹ و ۸۳/۷ مترمکعب بر گیگاژول، دارای اولویت برای تولید انرژی زیستی حاصل از زیست‌توده گندم هستند. به بیانی دیگر از منظر شاخص ردپای آب، بهره‌وری تولید انرژی-زیستی در استان گلستان در مقایسه با سایر استان‌ها، بیش‌تر است. بنابراین این وضعیت سبب ایجاد مزیتی برای استفاده از زیست‌توده گندم در این استان می‌باشد.

کلیدواژگان: زیست‌توده، بهره‌وری انرژی، انرژی تجدیدپذیر، گندم

Water Footprint of bioenergy from Wheat Crop in Iran

Ali Mohammadi[1], Hossein Yousefi[2*]

1- PhD student in Water Sciences and Engineering, Water Resources, Aburaihan College, University of Tehran, Iran

2- Associate Professor, Department of Renewable Energies and Environment, Faculty of New Sciences and Technologies, University of Tehran, Iran

* P.O.B. 1439957131, Tehran, Iran, Hosseinyousefi@ut.ac.ir

Received: 10 July 2019 Accepted: 18 September 2019

Abstract

All energy scenarios show that the energy supply approach is shifting to renewable energy, in particular energy from bio-fuels. On the other hand, in the context of this type of energy, water which is a limiting factor in the discussion of agricultural products, arises. In this research, using the water footprint index, the amount of water consumed for the production of each energy unit was calculated from wheat biomass. In this regard, six provinces of the country with the highest production value were selected. The purpose of this study was to determine the most desirable province for producing bioenergy from wheat biomass from the perspective of the water footprint index. The results of this study showed that Golestan, Kermanshah, Ardebil, Khuzestan, Fars and Khorasan Razavi provinces devoted 25.1, 33, 35.5, 39.4, 43.9 and 83.7 cubic meter of water per GJ, respectively and this values showed the priority to produce bioenergy from wheat biomass. In other words, from the perspective of the water footprint, the productivity of bioenergy production in Golestan province is more than other provinces. Therefore, this situation has created an advantage for the use of wheat biomass in the province.

Keywords: Biomass, Energy Efficiency, Renewable Energy, Wheat

۱- مقدمه

تقاضای انرژی بدلیل افزایش رشد جمعیت جهانی و گسترش شهرنشینی، روبه افزایش است [۱] و این امر موجب به نیاز روزافزون به منبعی برای تأمین انرژی است. در حال حاضر انرژی زیستی، گسترده‌ترین نوع از انرژی‌های تجدیدپذیر مصرفی بوده که تقریباً در سال ۲۰۱۴، ۱۰ درصد از تأمین انرژی اولیه در جهان را بر عهده داشته است [۲]. محققان و جوامع بین‌المللی سیاسی اغلب تغییرات جهانی (در حوزه محیط‌زیست) را با تغییرات اقلیمی مرتبط می‌دانند. بطورکلی می‌توان بیان کرد که انتشار گازهای گلخانه‌ای مسئول اثرات انسانی[۱]بر سامانه اقلیمی هستند. در راستای کاهش انتشارها، حرکت به سوی انرژی‌های تجدیدپذیر مانند انرژی زیستی بسیار توصیه می‌شود. از دیگر مزایای انرژی‌های تجدیدپذیر افزایش امنیت تأمین انرژی، تنوع در منابع تأمین و عدم وجود ریسک‌های اتمام‌پذیری را می‌توان برشمرد [۳]. در آینده به ندرت بتوان مساحتی از زمین را یافت که در آن عملیات تولید امکانپذیر باشد، بنابراین تمامی تولیدات باید براساس منابع طبیعی حال حاضر برنامه‌ریزی شوند [۴]. کشورهایی که نهاده‌های کشاورزی و اراضی قابل کشت کافی دارند، می‌توانند تولیدکننده مناسبی برای انرژی‌های زیستی محسوب شوند [۵]. انرژی زیستی یکی از انواع انرژی‌های تجدیدپذیر بوده که دارای منابع تأمین متنوعی است و عموماً در تمامی جوامع یافت می‌شود. از منابعی که می‌توان برای تأمین انرژی زیستی بیان کرد، گیاهان مفید از منظر زیست‌توده[۲]هستند. بطورکلی سه گروه از زیست‌توده‌ها برای تولید انرژی بکار می‌روند: ۱) محصولات زراعی خوراکی، ۲) محصولات زراعی باهدف تولید انرژی و ۳) ضایعات آلی [۶]. بنابراین بخش کشاورزی بیش‌ترین سهم را در تولید انرژی زیستی به خود اختصاص داده است. این درحالی است که کشاورزی مهم‌ترین مصرف‌کننده آب نیز محسوب شده و ۶۹ درصد از برداشت جهانی آب از رودخانه‌ها، دریاچه‌ها و آب‌های زیرزمینی در سال ۲۰۱۰ به آن تعلق داشته است [۷]. بنابراین با افزایش تمایل به استفاده از سوخت‌های زیستی، رقابت بر سر استفاده از منابع آب نیز افزایش خواهد یافت و در نتیجه بین اهداف تعارضاتی شکل می‌گیرد که نیاز است به بهترین شکل ممکن، منابع آب موجود مدیریت شوند. در اینجا اهمیت و جایگاه مقوله‌ای به نام ردپای آب[۳]به خوبی آشکار می‌شود.

ردپای آب اشاره به مقدار آبی دارد که به منظور تولید یک محصول یا کالا در زنجیره تأمین، مصرف و یا آلوده شده است [۸]. ردپای آب از سه جزء تشکیل شده است: ردپای آب آبی که اشاره به حجم آب مصرفی از منابع آب سطحی و یا زیرزمینی دارد، ردپای آب سبز که منظور از آن آب مصرفی حاصل از بارش است (به شکل رطوبت) و ردپای آب خاکستری که برای زدودن آلودگی از آب مصرف می‌شود [۸]. مفهوم ردپای آب، برای تمامی کالاهای تولیدی (کشاورزی و صنعت) و حتی خدمات نیز قابل بحث است. همانطورکه ذکر شد با توجه به اهمیت و فراوانی استفاده از آب در بخش کشاورزی، بررسی ردپای آب در این نوع از محصولات می‌تواند نسبت به سایر کالاها از اهمیت بیش‌تری برخوردار باشد. محصولات مهم از منظر انرژی زیستی ممکن است تحت تأثیر منطقه تحت کشت، متفاوت باشند. برای مثال هرناندس[۴]و همکاران [۹] به بررسی ردپای آب سبز و آبی تواید اتانول زیستی و سوخت زیستی با استفاده از نیشکر برزیلی پرداختند و نتایج نشان داد که مقادیر بدست آمده برای ردپای آب با توجه به منطقه زیرکشت نیشکر متفاوت است. بنابراین بررسی ردپای آب انرژی زیستی تولیدی در هر منطقه جغرافیایی اهمیت خود را داشته و نمی‌توان عددی واحد را برای آن اعلام کرد.

تاکنون مطالعات گسترده‌ای در زمینه محاسبه ردپای آب انرژی زیستی محصولات کشاورزی مختلف در سراسر جهان انجام شده است. در پژوهشی ژی[۵]و همکاران [۱۰] به بررسی ردپای آب تولید سوخت زیستی توسط محصولات کشاورزی اقدام کردند. سه محصول مانیوک، ذرت خوشه‌ای و جاتروفا برای این هدف انتخاب شد. نتایج نشان داد که گیاه جاتروفا برای تولید یک مگاژول انرژی، حداکثر ۱۸۲/۳ لیتر آب مصرف می‌کند که نسبت به سایر محصولات در منطقه مورد مطالعه، دارای اولویت بیش‌تری است. در ارزیابی ردپای آب منابع تأمین سوخت زیستی اتانول که توسط سو[۶][۱۱] انجام شد، مشخص گردید که در کشور تایوان، شش محصول برای تأمین زیست‌توده این سوخت استفاده شده که در این بین محصول برنج با ردپای آب ۳۲۸۸ مترمکعب برتن و سیب زمینی با ردپای آب ۹۶ مترمکعب بر تن به ترتیب نامناسب‌ترین و بهترین محصول برای تولید این نوع از سوخت زیستی هستند. گاربنز لینز و هوکسترا[۷][۱۲] در مطالعه‌ای به منظور محاسبه ردپای آب محصولاتی چون ذرت و چغندر قند، به بررسی کارایی و استفاده این محصولات برای تولید انرژی زیستی در قسمت‌هایی از اروپا پرداختند و نتایج حاکی از تنوع کارایی هر محصول در منطقه‌ای خاص بود بدین معنی که شرایط محیط-زیستی منطقه، از جمله منابع آب در دسترس و وجود یا عدم وجود تنش آبی در منطقه، در ارجحیت نوع محصول برای تولید انرژی اثرگذار است. با توجه به پیشینه تحقیق ذکر شده و اهمیت انرژی‌های زیستی در سبد انرژی، این پژوهش با هدف ارزیابی ردپای آب انرژی زیستی حاصل از زیست‌توده محصول گندم انجام شد.

۲- روش کار

۲-۱- ردپای آب و ارزیابی آن برای تولید انرژی زیستی

مفهوم مدل ردپای آب، بر پایه آب مورد نیاز برای تولید یک محصول شکل گرفت [۸]. تاکنون از این مفهوم به عنوان نوعی ابزار، در بررسی آب مصرفی تولید کالا و حتی خدمات استفاده شده است. در زمینه ردپای آب تولید انرژی نیز همانطور که در بخش قبلی اشاره شد، مطالعاتی چند صورت گرفته است. لازم به ذکر است که ردپای آب زیست توده با ردپای آب دیگر حامل‌های انرژی متفاوت است زیرا زیست‌توده نتیجه موجود زنده‌ای (گیاه) است که برای رشد خود نیازمند به آب است. برای ارزیابی ردپای آب، در این پژوهش فصل رشد کامل در نظر گرفته شده و همچنین داده‌های روزانه تبخیر و تعرق در طی دوره رشد گیاه مد نظر قرار گرفتند. در این راستا از نرم افزار OPTIWAT کمک گرفته شد. در این مطالعه محصول گندم که سهم زیادی از منظر سطح زیرکشت و تولید در کشور دارد انتخاب شد. در این پژوهش محدوده جغرافیایی مورد بررسی کشور ایران است که بر مبنای معیار بیش‌ترین تولید، شش استان منتخب بررسی شدند. اطلاعات و داده‌های مورد نیاز تحقیق (که در ادامه به آن‌ها اشاره می‌شود)، از طریق مطالعات کتابخانه‌ای بدست آمد. در این تحقیق ردپای آب (WF) انرژی حاصل از زیست توده در پنج گام محاسبه شد.

[۱] Anthropogenic impacts
[۲] Biomass
[۳] Water Footprint
[۴] Hernandes
[۵] Xie
[۶] Su
[۷] Gerbens-Leenes و Hoekstra

گام۱- محاسبه نیاز آبی محصول مورد مطالعه در منطقه بر حسب (m^3/ha). این مرحله با استفاده از محاسبات در نرم افزار OPTIWAT انجام شد. رابطه استفاده شده به شکل رابطه ۱ ارائه می‌شود [۱۳]:

$$CWR_{(c)} = ۱۰ \times \sum_{d=۱}^{۱۵} K_c(C) \times ET. \quad (۱)$$

در این رابطه ضریب ۱۰ برای تبدیل میلی‌متر به مترمکعب بر هکتار استفاده می‌شود. همچنین ET تبخیروتعرق گیاه مرجع (میلی‌متر بر روز) و K_c ضریب گیاهی است.

گام۲- در این مرحله بهره‌وری کل زیست توده (BY) بر حسب (ton/ha) محاسبه می‌شود (رابطه ۲) [۱۳]:

$$BY_{(c)} = \frac{Y_{(c)}}{HI_{(c)}} \quad (۲)$$

که در آن $Y(c)$ بهره‌وری محصول برحسب (ton/ha) و $HI(c)$ شاخص برداشت است. شاخص برداشت براساس مطالعه موسوی[۸] و همکاران [۱۴] بطور میانگین ۰/۴۲ در این پژوهش در نظر گرفته شد.

گام ۳- محاسبه ردپای آب محصول مورد نظر در هر واحد جرم (m^3/ton). این جزء از تقسیم نیاز آب گیاه بر بهره‌وری زیست توده بدست می‌آید (رابطه ۳) [۱۳]:

$$WF_{(M)}(C) = \frac{CWR_{(c)}}{BY_{(c)}} \quad (۳)$$

گام ۴- در این مرحله به محاسبه میانگین مقدار انرژی محصول C بر حسب (GJ/ton) اقدام می‌شود. در این راستا باید داده‌های مرتبط با مقادیر گرمایش بالاتر[۹] اجزای گیاهی (برحسب GJ/ton = kJ/g) با اطلاعات ترکیب گیاه مورد نظر طبق رابطه ۴ باهم ترکیب شوند [۱۳]:

$$E_{(C)} = HI_C \times DM_Y(C) \times \sum_{i=۱}^{۵} C_i \times A_{y,i} + (۱ - HI_C) \times DM_r(C) \times \sum_{i=۱}^{۵} C_i \times A_{r,i} \quad (۴)$$

که در آن $DMY(C)$ کسری از ماده خشک در محصول بدست آمده، DM_r (C) کسری از ماده خشک در قسمت باقی‌مانده (باقی‌مانده محصول)، C، گرمای احتراق ماده (مقدار گرمایش بالاتر در kJ/g) و A مقدار جزء یا ماده i در ماده خشک محصول بدست آمده یا کسر باقی‌مانده از آن (g/g).

گام ۵- محاسبه ردپای آب انرژی حاصل از زیست توده ($WF_E(C)$) (m^3/GJ) در این گام انجام شده که این امر از تقسیم نتایج گام سوم بر نتایج گام چهارم براساس رابطه ۵ محقق می‌شود [۱۳]:

$$WF_E(C) = \frac{WF_M(C)}{E_{(c)}} \quad (۵)$$

در این راستا به منظور امکان تعمیم نتایج بدست آمده از پژوهش به کل کشور، تعداد شش استان کشور که بیش‌ترین تولید محصول گندم را در سال زراعی ۹۶-۹۵ داشتند، انتخاب شدند که شامل استان‌های ذکر شده در جدول ۱ است [۱۴].

جدول ۱ استان‌های منتخب در تولید گندم کشور

رتبه	نام استان	رتبه	نام استان
۱	خوزستان	۴	خراسان رضوی
۲	فارس	۵	کرمانشاه
۳	گلستان	۶	اردبیل

همانطور که در رابطه ۴ ذکر شد، برای محاسبه میانگین انرژی محصول موردنظر (در اینجا گندم)، نیاز است تا اطلاعات مرتبط با مقادیر گرمایش بالاتر اجزای گیاهی و ترکیب گیاه مورد نظر استخراج شود. اطلاعات مورد نیاز در زمینه‌های ذکر شده به ترتیب در جداول ۲ و ۳ ارائه شده است.

جدول ۲ گرمای احتراق اجزای گیاهی (kJ/g) [۱۳]

اجزای گیاهی	گرمای احتراق
کربوهیدرات	۱۷/۳
پروتئین	۲۲/۷
چربی‌ها	۳۷/۷
لیگنین	۲۹/۹
اسیدهای آلی	۱۳/۹
مواد معدنی	۰

نتایج حاصل از محاسبات و تجزیه و تحلیل مرتبط با ردپای آب تولید انرژی در بخش بحث و نتایج آورده شده است.

شایان ذکر است که اطلاعات و داده‌هایی که در این پژوهش مورد استفاده قرار گرفته‌اند مانند نیاز آبی محصولات، عملکرد محصول و غیره، به صورت اعداد نهایی از مراجعی چون آمارنامه جهاد کشاورزی [۱۵] اقتباس شده و فاقد سری زمانی بوده‌اند.

جدول ۳ ویژگی‌های اجزای تشکیل دهنده محصول گندم [۱۲]

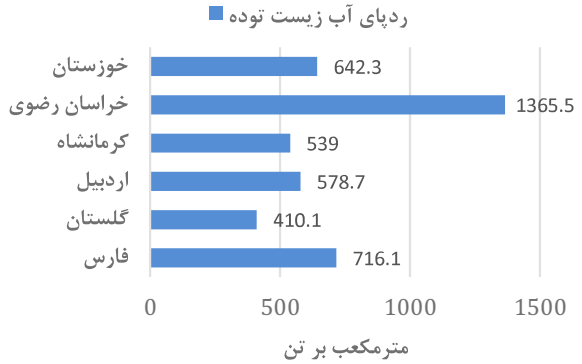
محصول	گندم					
شاخص برداشت (HI)	۰/۴۲					
–	کربوهیدرات	پروتئین	چربی‌ها	لیگنین	اسیدهای عالی	مواد معدنی
ماده خشک در محصول برداشت شده (g/g)	۷۶	۱۲	۲	۶	۲	۲
ماده خشک در باقی‌مانده محصول (g/g)	۶۲	۱۰	۲	۲۰	۲	۴

[۸] Moosavi

[۹] higher heating values (HHV)

۳- بحث و نتایج

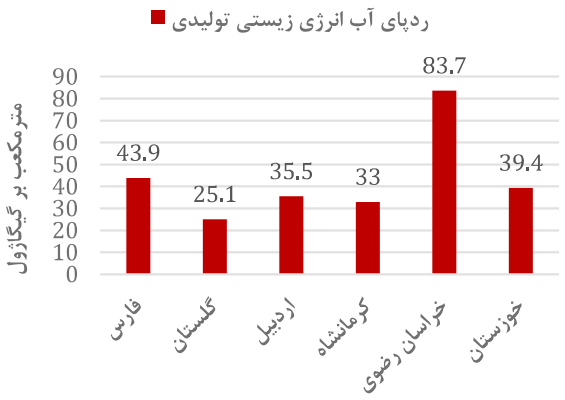
براساس روابط ذکر شده در بخش قبل، شکل ۱ ردپای آب زیست‌توده محصول گندم در استان‌های مورد بررسی را نشان می‌دهد.



شکل۱ ردپای آب زیست توده گندم در استان‌های منتخب

باتوجه به شکل ۱، بیش‌ترین و کم‌ترین ردپای آب زیست‌توده گندم به ترتیب متعلق به استان خراسان رضوی (۱۳۶۵/۵ مترمکعب بر تن) و استان گلستان (۴۱۰/۱ مترمکعب بر تن) می‌باشد. با توجه به مفهوم ردپای آب، چنانچه برای تولید یک محصول خاص مقدار آب کم‌تری در بتوان مصرف کرد، آن منطقه در اولویت تولید قرار خواهد داشت. بنابراین از منظر ردپای آب، بهترین منطقه برای بحث تولید زیست‌توده گندم، منطقه گلستان است. این نتیجه از آنجا حاصل شده است که در متن مفهوم ردپای آب، اجزایی چون ردپای آب سبز و آبی وجود دارد و با با توجه به خواص ذکر شده این اجراء در مقدمه پژوهش، هر چقدر توانایی نگهداری آب در خاک افزایش پیدا کند و یا با اقداماتی عملکرد محصول افزایش یابد، بنابراین ردپای آب تولید محصول نیز متناسب با آن کاهش می‌یابد. همانطور که از شکل ۱ نیز مشخص است، مناطقی که دارای اقلیم معتدل‌تر و پرباران‌تری نسبت به سایر هستند، از ردپای آب کم‌تری نیز برخوردار هستند که این خود مزیتی برای تولید آن محصول در این مناطق به‌شمار می‌رود. بنابراین استنباط می‌شود که اصولاً هرچقدر اقلیم یک منطقه، به سمت اقلیم گرم و خشک حرکت کند، ردپای آب زیست‌توده برای هر واحد از محصول نیز افزایش پیدا می‌کند. همچنین علاوه بر این موضوع، مدیریت مطلوب مزرعه نیز در نتایج نشان داده شده در شکل ۱ بی تأثیر نبوده است. بدین معنی که علاوه بر بحث اقلیمی، مدیریت نامطلوب مزرعه می‌تواند منجر به کاهش عملکرد زیست‌توده و افزایش ردپای آب شود. بنابراین دو عامل اصلی که منجربه نتایج نمایش داده شده در شکل ۱ هستند را می‌توان به دو عامل اقلیم و مدیریت مزرعه تقسیم‌بندی کرد. مقوله اقلیم در مقیاس وسیعی (جهانی) مطرح بوده و تغییر آن به شرایط مطلوب غیرعملیاتی است اما می‌توان با اقداماتی که در حوزه مدیریت مزرعه مطرح می‌شوند مانند معرفی و بکارگیری گونه‌های گندم مقاوم به خشکسالی، استفاده از مالچ‌های زیستی (برای افزایش ظرفیت نگهداری آب خاک) و غیره، سازگاری با تغییراقلیم را عملیاتی کرد تا به موجب آن ردپای آب محصولات کشاورزی نیز کاهش یابد.

به منظور بررسی این موضوع که هر گیگاژول انرژی تولیدی از زیست‌توده گندم، چه مقدار ردپای آب به خود اختصاص می‌دهد، لازم است تا گام پنجم پژوهش اجرا شود. نتایج این بخش نیز در شکل ۲ نشان داده شده است.



شکل۲ ردپای آب انرژی زیستی تولید بدست آمده از زیست‌توده گندم در استان‌های منتخب

با توجه به شکل ۲، ردپای آب انرژی زیستی تولیدی از زیست‌توده گندم نیز به تبعیت از محتوی ردپای آب، در استان خراسان رضوی بیش‌ترین (۸۳/۷ مترمکعب برگیگاژول) و استان گلستان (۲۵/۱ مترمکعب برگیگاژول) کم‌ترین ردپای آب را دارد. براساس این شکل، تفاوت بین حداقل و حداکثر آب مصرفی در بین استان‌های منتخب بسیار زیاد بوده که این امر منجر به کاهش اولویت استان خراسان رضوی برای مسائل مرتبط با تولید انرژی از زیست‌توده گندم می‌شود. تفاوت ردپای آب تولید انرژی در سایر استان‌ها تفاوت اندکی دارد اما با توجه به اهمیت تولید انرژی با مصرف آب کم‌تر، استان گلستان نسبت به سایر استان‌ها وضعیت مطلوب‌تری در تولید انرژی زیستی از زیست‌توده گندم خواهد داشت.

در مجموع این شکل نشان می‌دهد که هرگیگاژول انرژی دریافتی از زیست‌توده محصول گندم، در استان‌هایی که از شرایط اقلیمی خنک‌تر و یا از مدیریت مزرعه مناسب‌تری بهره‌مند هستند، مقدار ردپای آب کم‌تری دارد. در واقع در یک جمع‌بندی کلی، استان‌های شمالی و غربی کشور، به دلیل مسائلی که در مورد کم‌تر بودن ردپای آب محصول بحث شد، برای تولید انرژی زیستی از محصول گندم در ایران دارای اولویت هستند.

نکته قابل توجه این است که علاوه بر مسائل و جنبه‌های محیط‌زیستی در ردپای آب تولید انرژی زیستی، بحث مسائل فنی نیز حائز اهمیت است. بدین معنی که ممکن است جنبه‌های محیط‌زیستی دخیل در محتوی ردپای آب، در استان اردبیل نسبت به استان کرمانشاه بهتر باشد (برای مثال حجم بالای بارش، میانگین درجه حرارت کم‌تر، وجود کاه و کلش بیش‌تر روی اراضی و غیره) اما باید توجه داشت که مسائل فنی چون فناوری مورد استفاده در کشاورزی و مدیریت مزرعه می‌توانند عوامل مهمی در افزایش بهره‌وری و کاهش ردپای آب محصول باشند و می‌توانند در تعیین و تغییر اولویت استان‌ها برای تولید انرژی زیست‌توده نقش مهمی ایفا کنند.

۴- نتیجه‌گیری

امروزه تفکر پیرامون استفاده از انرژی‌های نو و تجدیدپذیر به دلیل مسائلی چون انتشار گازهای گلخانه‌ای، تغییراقلیم، مسائل سیاسی و غیره بیش از پیش گسترش یافته است. در این راستا منابع مختلفی برای تولید انرژی معرفی شده‌اند که یکی از مهم‌ترین آن‌ها انرژی تولید شده از زیست‌توده است. این شکل از انرژی رابطه تنگاتنگی با مسئله آب مصرف شده برای تولید زیست‌توده دارد و از این رو در پژوهش حاضر، جنبه آبی مسئله با استفاده از شاخص ردپای آب

برای زیست‌توده گندم در کشور بررسی شد. نتایج تحقیق نشان داد که این نوع منبع انرژی تجدیدپذیر، ردپای آب قابل توجهی داشته که بیش‌ترین آن مرتبط با استان خراسان رضوی و کم‌ترین آن متعلق به استان گلستان است. این موضوع حاکی از آن است که در خراسان رضوی، بهره‌وری محصول گندم (نسبت به دیگر استان‌های منتخب) کم بوده و با توجه به اقلیم منطقه، نیاز آبی محصول در آن در آن زیاد است. لازم باذکر است که در پژوهشی انرژی حاصل از زیست-توده محصولات کشاورزی از جمله گندم در چهار کشور هلند، آمریکا، زیمباوه و برزیل انجام شد [۱۶] که ردپای انرژی زیستی گندم بطور میانگین ۶۱/۲ مترمکعب بر گیگاژول بدست آمد و مقدار میانگین محاسبه شده کشور ۴۳/۴ مترمکعب بر گیگاژول محاسبه شد که از میانگین جهانی بطور قابل توجهی کم‌تر است. با این وجود با توجه به اقلیم کشور و اهمیت تؤامان آب و انرژی، لازم است تا با انجام اقداماتی مانند توسعه سیستم‌های آبیاری تحت فشار، مدیریت آفات مقدار بهره‌وری را در این منطقه افزایش داد تا به موجب آن بتوان ردپای آب هر واحد از انرژی را در کشور و به‌ویژه استان خراسان رضوی (به عنوان یکی از قطب‌های تولید گندم کشور) کاهش داد. در سایر استان‌های منتخب، مقدار ردپای آب انرژی تولیدی در بازه تقریباً نزدیکی قرار دارد اما هم اکنون استان گلستان به عنوان مطلوب‌ترین ناحیه تولید انرژی زیست‌توده گندم، کم‌ترین ردپای آب را برای تولید یک واحد از انرژی دارد. بنابراین پشنهاد می‌شود تا با هدف رسیدن به کم‌ترین ردپای آب در تولید انرژی زیستی، اقدامات مرتبط با مدیریت مزرعه به منظور افزایش بهره‌وری محصول و کاهش نیاز آبیاری انجام شود.

۵- مراجع

[1] A.E. Atabani, A.S. Silitonga, H.C. Ong, T.M.I. Mahlia, H.H. Masjuki, I.A. Badruddin, H. Fayaz, Non-edible vegetable oils: a critical evaluation of oil extraction, fatty acid compositions, biodiesel production, characteristics, engine performance and emissions production. *Renewable and sustainable energy reviews*, Vol. 18, pp. 211-245, 2013.

[2] P.W. Gerbens-Leenes, Green, blue and grey bioenergy water footprints, a comparison of feedstocks for bioenergy supply in 2040. *Environmental Processes*, Vol. 5, No.1, pp.167-180, 2018.

[3] K. Blok, E. Nieuwlaar. *Introduction to energy analysis*. Second Edition, 336 p, Routledge, 2016.

[4] F.W. Bai, W.A Anderson, M. Moo-Young, Ethanol fermentation technologies from sugar and starch feedstocks. *Biotech Adv*, Vol. 26, pp. 89–105, 2008.

[5] H.L. Chum, F. Nigro, R. McCormick, G. Beckham, J. Seabra, J. Saddler, L. Tao, E. Warner, R.P. Overend, Conversion technologies for biofuels and their use. *Bioenergy & Sustainability: Bridging the Gaps*, Vol. 72, pp. 374-467, 2015.

[6] M. Minnesma, M. Hisschemöller, *Biomassa—een wenkend perspectief*. Amsterdam, the Netherlands: Instituut voor Milieuvraagstukken (IVM), Free University, pp. 5-39, 2003.

[7] FAO. *AQUASTAT Database*; Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO): Rome, Italy, Accessed 5 April 2015; http://www.fao.org/nr/water/aquastat/data/query/.

[8] A.Y. Hoekstra, A.K. Chapagain, M.M. Aldaya, M.M. Mekonnen, *The Water Footprint Assessment Manual: Setting the Global Standard*, 228 p, London, UK: Earthscan, 2011.

[9] T.A.D. Hernandes, V.B. Bufon, J.E.A. Seabra, Water footprint of biofuels in Brazil: assessing regional differences. *Biofuels Bioprod. Biorefin*. Vol. 8, No. 2, pp. 241-252, 2014.

[10] X. Xie, T. Zhang, L. Wang, Z. Huang, Regional water footprints of potential biofuel production in China. *Biotechnology for biofuels*, Vol. 10, No.1, p. 95, 2017.

[11] M.H. Su, C.H. Huang, W.Y. Li, C.T. Tso, H.S. Lur, Water footprint analysis of bioethanol energy crops in Taiwan. *Journal of cleaner production*, Vol. 88, pp.132-138, 2015.

[12] P.W.Gerbens-Leenes, A.Y. Hoekstra, The water footprint of sweeteners and bio-ethanol. *Environment international*, Vol. 40, pp. 202-211, 2012.

[13] P.W. Gerbens-Leenes, A.Y. Hoekstra, T.H. van der Meer, *Water footprint of bio-energy and other primary energy carriers*. 44 p, UNESCO-IHE, 2008.

[14] S.S. Moosavi, H. Heidari Sharif Abad, G. Nour Mohamadi A.A. Imani, Assessment of Biologic Yield and Harvest Index of various Wheat Cultivars during Two Year in Ardabil Region. *International Journal of Farming and Allied Sciences*, Vol. 6, No. 2, pp. 60-64, 2017.

[۱۵] آمارنامه کشاورزی سال زراعی ۹۶-۱۳۹۵، جلد اول: محصولات زراعی، وزارت جهاد کشاورزی، بهار ۱۳۹۷، ۱۱۶ صفحه.

[16] P.W.Gerbens-Leenes, A.Y. Hoekstra, T.H. van der Meer, The water footprint of energy from biomass: A quantitave assessment and consequence of an increasing share of bio-energy in energy supply. *Ecological economics*, Vol. 68, No. 4, pp. 1052-1060, 2009.