اکوهیدرولوژی

دورهٔ ۷، شمارهٔ ۱، بهار ۱۳۹۹، ص ۱۲۹-۱۲۱

پتانسیل‌سنجی تولید انرژی زیستی حاصل از محصول ذرت با رویکرد رد پای آب

علی محمدی[۱]، حسین یوسفی[۲*]

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

۲. دانشیار، گروه انرژی‌های نو و محیط زیست، دانشکدهٔ علوم و فنون نوین، دانشگاه تهران

(تاریخ دریافت ۱۳۹۸/۰۷/۱۵؛ تاریخ تصویب ۱۳۹۸/۱۱/۱۱)

چکیده

ترویج تأمین انرژی از زیست‌توده برای کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای، سبب تمرکز بر تولید محصولات مهم از منظر انرژی و در نهایت، افزایش مصرف آب شده است. از این‌رو، در پژوهش حاضر برای بررسی پیوند آب و انرژی زیستی، از شاخصی با عنوان «رد پای آب» استفاده شد. به این منظور، اطلاعات مرتبط با محصول ذرت دانه‌ای در دشت‌های استان خوزستان جمع‌آوری شد. براساس محاسبات انجام‌شده مشخص شد که رد پای آب محصول ذرت در سطح استان، میانگینی برابر با ۳۳۵۵/۶ (m^3/ton) دارد و رد پای آب زیست‌تودهٔ آن نیز برابر با ۲۱۴/۹ (m^3/ton) است. همچنین، بررسی رد پای آب انرژی زیست‌تودهٔ ذرت نشان داد بیشترین و کمترین رد پای آب هر واحد از انرژی به‌ترتیب در دشت بهبهان (۲۷/۱ m^3/GJ) و در دشت عباس‌آباد (۱۰ m^3/GJ) وجود دارد. بر این اساس، استان خوزستان با میانگین رد پای آب (۱۳ m^3/GJ)، وضعیت بهتری از منظر رد پای آب زیست‌تودهٔ ذرت نسبت به کشورهایی نظیر زیمباوه، برزیل و آمریکا به‌ترتیب با رد پای آب برابر با ۲۰۰، ۳۹ و ۱۸ (m^3/GJ) دارد. با تهیهٔ نقشهٔ پتانسیل تولید انرژی زیست‌توده با رویکرد رد پای آب نیز مشخص شد که دشت‌های جنوب شرقی استان (به‌ویژه بهبهان، امیدیه، هندیجان)، به دلیل آنکه رد پای آب انرژی زیست‌تودهٔ آنها بین ۱۲ تا ۲۷/۱ (m^3/GJ) است، اولویت کمی برای تولید زیست‌توده دارند و در مقابل، دشت‌های شمالی و شرقی (به‌ویژه عباس‌آباد، اندیمشک، صیدون و قلعه تل) با رد پای آب انرژی زیستی ۱۰ تا ۱۰/۹ (m^3/GJ)، اولویت زیادی برای استفاده از زیست‌تودهٔ ذرت برای تولید انرژی دارند.

کلیدواژگان: خوزستان، ذرت، زیست‌توده، گازهای گلخانه‌ای.

* نویسندهٔ مسئول

Email: Hosseinyousefi@ut.ac.ir

مقدمه

افزایش جهانی قیمت سوخت، تقاضای روزافزون انرژی و نگرانی‌ها در مورد گرمایش جهانی، عوامل کلیدی افزایش رقابت بر سر منابع انرژی‌های زیستی در سراسر جهان هستند [۱]. سهم انرژی‌های تجدیدپذیر ۱۹/۳ درصد از کل انرژی مصرفی در سطح جهان است که از این مقدار، ۹/۱ درصد به انرژی‌های زیستی اختصاص دارد [۲]. این منابع انرژی زیستی شامل باقی‌مانده‌های چوب و محصولات کشاورزی و استفاده از کودهای جانوری می‌شود که اغلب در مناطق روستایی کشورهای در حال توسعه برای گرم کردن آب و یا محیط استفاده می‌شوند [۳]. انتظار می‌رود که انرژی‌های زیستی کارکرد زیادی در آیندهٔ سامانه‌های انرژی داشته باشند [۴]. از آنجا که باقی‌ماندهٔ محصولات کشاورزی به عنوان منبع مهمی برای تولید انرژی زیستی محسوب می‌شود، آیندهٔ تولید محصولات کشاورزی نیز اهمیت پیدا می‌کند. هم‌اکنون، دسترسی به آب شیرین در برخی مناطق جهان با محدودیت مواجه بوده و با توجه به مسائلی همچون تغییر اقلیم و افزایش جمعیت، خطر کاهش دسترسی به آن افزایش نیز یافته است [۵]. بنابراین، در آینده‌ای نه‌چندان دور، تولیدات کشاورزی (و در نتیجه، انرژی زیستی) نیز با مشکل مواجه خواهد شد. آب شیرین منبع مهمی برای تولید انرژی است و برای مقاصد مختلفی همچون خنک کردن نیروگاه‌ها و تولید محصولات کشاورزی مهم از منظر تولید انرژی، استفاده می‌شود [۶]. پژوهش‌های مختلفی برای بررسی و شناخت ارتباط بین تأمین انرژی و مصرف آب انجام شده است. گاربنز - لینز و همکارانش ارزیابی جامعی از رد پای آب محصولات کشاورزی مهم از منظر تولید انرژی انجام دادند [۷]. نتایج پژوهش آنها بیانگر مصرف حجم درخور توجهی از منابع آب برای تولید انرژی از زیست‌تودهٔ[1] محصولات کشاورزی بوده است. همچنین، در مقایسه با سایر منابع انرژی مرسوم (مانند نفت خام)، تولید انرژی مرتبط با زیست‌تودهٔ کشاورزی و برق‌آبی به‌مراتب آب بیشتری را (حدود ۷۰ برابر) مصرف می‌کنند. بنابراین، یکی از مقاصد مهم مصرف آب، تولید انرژی است. انرژی حاصل از زیست‌توده، از پاک‌ترین منابع در تولید انرژی محسوب می‌شود که منبع تأمین آن محصولات غذایی، باقی‌ماندهٔ محصولات کشاورزی یا جلبک‌ها هستند. مصرف آب این حامل‌های انرژی (به‌ویژه محصولات کشاورزی) به دلیل ارتباط مستقیم آنها با منابع آب شیرین، بسیار اهمیت دارد. یکی از شاخص‌هایی که در زمینهٔ مصرف آب محصولات مختلف به کار می‌رود، شاخصی تحت عنوان «رد پای آب»[2] است [۸]. این شاخص نشان‌دهندهٔ مقدار آبی است که مستقیم و یا غیرمستقیم برای تولید محصولی خاص (کشاورزی، صنعتی و غیره) مصرف می‌شود [۹]. یکی از دستاوردهای مهم محاسبهٔ مقدار آب مصرفی محصول، می‌تواند اولویت‌بندی مناطق تولیدکنندهٔ کالا، برای تولید باشند. به این منظور، در مناطقی که برای تولید محصولی خاص نسبت به دیگر مناطق آب کمتری مصرف می‌شود، در اولویت تولید قرار خواهند گرفت که به تعبیری، با این کار آمایش سرزمین براساس شاخص رد پای آب انجام می‌شود. با توجه به اهمیت دو مقولهٔ آب و انرژی از منظر آنکه هر دو منبع با محدودیت تأمین مواجه‌اند، پژوهش‌های متعددی در زمینهٔ پیوند آب و انرژی در محصولات کشاورزی مناسب برای تولید انرژی زیست‌توده انجام شده است. شینس و ونهام [۱۰] در پژوهشی به بررسی رد پای آب چوب مصرفی برای تأمین انرژی در کشورهای عضو اتحادیهٔ اروپا پرداختند. در این پژوهش مشخص شد که ۱۵۶ میلیارد مترمکعب آب در سال برای تأمین انرژی حاصل از چوب مصرف می‌شود که بیشتر این مقدار رد پای آب سبز (ناشی از باران و رطوبت خاک) است. در پژوهش یادشده به سایر گونه‌های گیاهی (محصولات کشاورزی) و پتانسیل این گونه‌ها برای تولید انرژی پرداخته نشده است. مکانن و همکارانش در بررسی رد پای آب اتانول زیستی در آمریکا و برزیل نشان دادند که تولید اتانول از نیشکر، رد پای آبی برابر با ۵۴۱ لیتر آب / لیتر اتانول دارد و این در حالی است که یک لیتر اتانول از محصول ذرت، رد پای آبی برابر با ۱۱۱۵ لیتر دارد [۱۱]. بنابراین، محصول نیشکر برای تولید اتانول ارجحیت بیشتری دارد. متیوداکیس و همکارانش در بررسی رد پای آب حامل‌های مختلف انرژی (با تأکید بر زیست‌توده‌های محصولات کشاورزی) نشان دادند که رد

1. Biomass

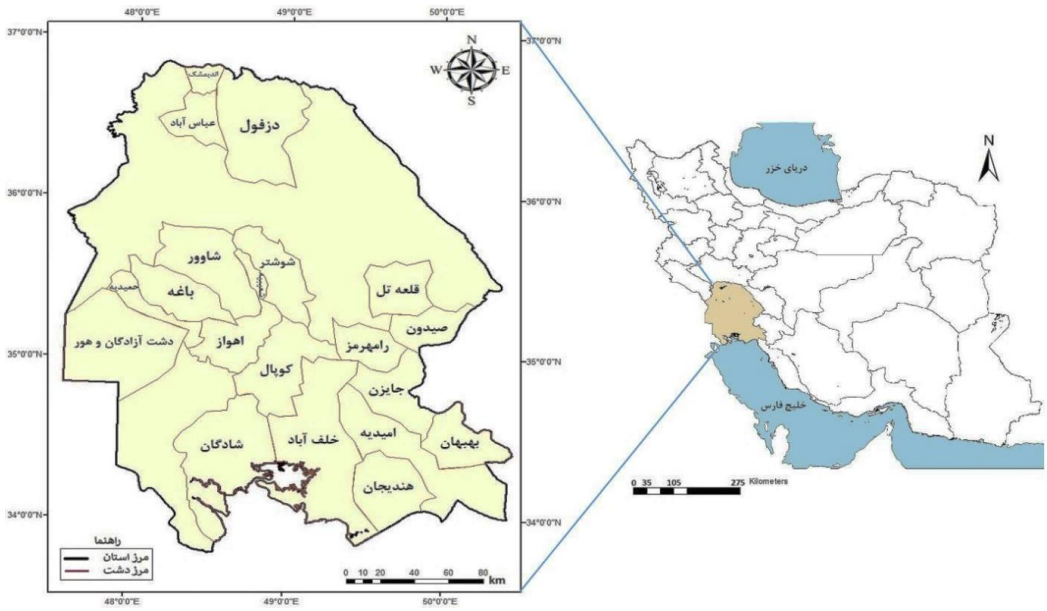
2. Water Footprint

پای آب هر واحد از انرژی تولیدی از باقی‌مانده‌های گیاهی بسیار با یکدیگر تفاوت دارند [۶]. با توجه به اهمیت بررسی پیوند میان آب و انرژی از منظر آنکه هر دو منابع محدودی بوده و شیوهٔ مدیریت آنها به منظور تولید انرژی زیست‌توده در هم تنیده است، در پژوهش حاضر با استفاده از شاخص رد پای آب، پتانسیل تولید انرژی زیستی حاصل از محصول ذرت در اصلی‌ترین استان تولیدکنندهٔ کشور یعنی استان خوزستان، بررسی می‌شود.

مواد و روش‌ها

منطقهٔ مطالعه‌شده

گام نخست در انجام پژوهش حاضر، شناسایی مهم‌ترین استان از منظر مقدار تولید ذرت دانه‌ای در سطح کشور است. به این منظور با بررسی‌های انجام‌شده، استان خوزستان با تولید معادل ۳۵۱/۴ تن در سال زراعی ۱۳۹۳ـ ۱۳۹۴ رتبهٔ اول در تولید ذرت دانه‌ای را داشته است [۱۲]. بنابراین، اطلاعات مورد نیاز برای محاسبات رد پای آب برای ۲۰ دشت این استان که تولیدکنندهٔ ذرت هستند، جمع‌آوری شد. پراکنش دشت‌های استان در شکل ۱ آورده شده است. در گام بعد با استفاده از روابط ریاضی مطرح در زمینهٔ محاسبهٔ شاخص رد پای آب و محاسبهٔ رد پای انرژی حاصل از زیست‌توده، پتانسیل دشت‌های این استان از منظر تولید زیست‌توده و رد پای آب آن سنجیده شد و در پایان، با ارائهٔ نقشهٔ پتانسیل تولید انرژی زیست‌تودهٔ ذرت در استان، آمایش سرزمین تولید انرژی زیست‌توده (بر مبنای رد پای آب) برای این محصول در سطح استان انجام شد.



شکل ۱. دشت‌های تولیدکنندهٔ محصول ذرت دانه‌ای در استان خوزستان

محاسبهٔ رد پای آب محصول ذرت

انواع اجزای رد پای آب (رد پای آب آبی، سبز و سفید) در پژوهش حاضر براساس چارچوب کاری ارائه‌شده توسط هوکسترا و همکاران [۹] و آبابایی و رمضانی اعتدالی [۱۳] محاسبه شده است. بر این اساس، رد پای آب آبی (WF_{blue}) و سبز (WF_{green})، از طریق روابط ۱ و ۲ محاسبه می‌شوند [۹].

$$WF_{blue} = \frac{CWU_{blue}}{Y} \quad (۱)$$

$$WF_{green} = \frac{CWU_{green}}{Y} \quad (۲)$$

که در این روابط CWU_{blue} و CWU_{green} به‌ترتیب مصرف آب آبی و سبز توسط گیاه (m^3) و Y عملکرد (ton) است. آب آبی اشاره به مقدار آبی دارد که توسط منابع آب سطحی یا زیرمینی به صورت آبیاری در اختیار گیاه قرار می‌گیرد، در حالی که آب سبز مقدار آبی است که از طریق باران یا رطوبت باقی‌مانده در خاک پس از آبیاری به استفاده گیاه می‌رسد که باید بین این دو نوع آب تمایز قائل شد.

اطلاعات مرتبط با مصرف آبی گیاه ذرت طی فصل رشد، با استفاده از نرم‌افزار OPTIWAT به دست آمد. در محاسبات این بخش فرض می‌شود که آبیاری زمانی انجام می‌شود که کل آب در دسترس به ۵۰ درصد وضعیت اولیه (بلافاصله پس از آبیاری) رسیده و رطوبت ناحیهٔ توسعهٔ ریشه به ظرفیت زراعی رسیده باشد. بارش مؤثر براساس تفاوت میان تبخیر و تعرق واقعی گیاه (ET_c، میلی‌متر) و نیاز آبی خالص گیاه (IR) به دست می‌آید. مصارف آب آبی و سبز (روابط ۳ و ۴) برای محصول ذرت، با در نظر گرفتن میزان آبیاری (IE) بر حسب درصد، آبیاری خالص گیاه (GI) برحسب میلی‌متر و بارش مؤثر (P_{eff}) برحسب میلی‌متر محاسبه می‌شود [۹].

$$CWU_{blue} = IR = 10 \times IE \times GI \quad (۳)$$

$$CWU_{green} = 10 \times P_{eff} = 10 \times (ET_c - IR) \quad (۴)$$

از دیگر اجزای رد پای آب، رد پای آب سفید است که به تلفات بخش آبیاری (سامانهٔ توزیع و غیره) اشاره دارد. این جزء از رد پای آب از طریق رابطهٔ ۵ محاسبه می‌شود [۱۴].

$$WF_{white} = \frac{10 \times (GI - IR)}{Y_i} \quad (۵)$$

محاسبات رد پای آب تولید انرژی زیستی

به منظور بررسی رد پای آب تولید انرژی زیستی حاصل از محصول ذرت، باید بهره‌وری کل زیست‌توده (BY) براساس شاخص برداشت محصول (HI) محاسبه شود [۷].

$$BY_{(i)} = \frac{Y_{(i)}}{HI_{(i)}} \quad (۶)$$

که در آن Y(i) بهره‌وری محصول i برحسب (ton/ha) و $HI_{(i)}$ شاخص برداشت است. شاخص برداشت براساس مطالعهٔ حنطه و امینیان [۱۵] به طور میانگین ۰/۴۱ در پژوهش حاضر در نظر گرفته شد.

برای محاسبهٔ رد پای آب باقی‌مانده (زیست‌توده) محصول مد نظر (WF_M) برحسب (m^3/ton)، رد پای آب گیاه بر بهره‌وری کل زیست‌توده تقسیم می‌شود (رابطهٔ ۷).

$$WF_{(M)} = \frac{WF_{(i)}}{BY_{(i)}} \quad (۷)$$

که در این رابطه WF_i، رد پای آب محصول i (m^3/ton) است.

در گام بعدی به محاسبهٔ میانگین مقدار انرژی محصول i برحسب (GJ/ton) اقدام می‌شود. به این منظور، باید داده‌های مرتبط با مقادیر گرمایش بیشتر[1] اجزای گیاهی (برحسب GJ/ton = kJ/g) با اطلاعات ترکیب گیاه مد نظر طبق رابطهٔ ۸ با هم ترکیب شوند [۷].

$$E_{(i)} = HI_C \times DM_Y(i) \times \sum_{i=1}^{5} C_i \times A_{y.i} + (1 - HI_C) \times DM_r(i) \times \sum_{i=1}^{5} C_i \times A_{r.i} \quad (۸)$$

که در آن DM_Y(i) کسری از مادهٔ خشک در محصول نهایی (برداشت‌شده)، DM_r (i) کسری از مادهٔ خشک در قسمت باقی‌مانده (باقی‌ماندهٔ محصول)، C، گرمای احتراق ماده (مقدار گرمایش بیشتر در kJ/g) و A مقدار جزء یا مادهٔ i در مادهٔ خشک محصول نهایی یا کسر باقی‌مانده از آن (g/g) است.

در گام نهایی نیز رد پای آب انرژی حاصل از زیست‌توده (WF_E(C)) (m^3/GJ) از تقسیم رد پای آب محصول ذرت بر مقدار انرژی حاصل از این محصول به دست می‌آید (رابطهٔ ۹).

$$WF_E(C) = \frac{WF_M(C)}{E_{(c)}} \quad (۹)$$

همان‌طور که در رابطهٔ ۸ گفته شد، برای محاسبهٔ میانگین انرژی محصول مد نظر (در اینجا ذرت)، نیاز است تا اطلاعات مرتبط با مقادیر گرمایش بیشتر اجزای گیاهی و ترکیب گیاه مد نظر استخراج شود. اطلاعات مورد نیاز در زمینه‌های یادشده به‌ترتیب در جدول‌های ۱ و ۲ ارائه شده است [۷].

جدول ۱. گرمای احتراق اجزای گیاهی (kJ/g)

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

1. Higher Heating Values (HHV)

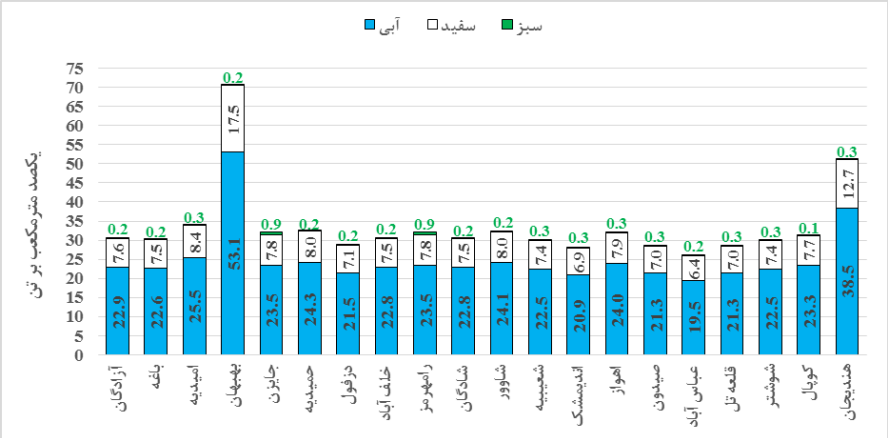
جدول ۲. ویژگی‌های اجزای تشکیل‌دهندهٔ محصول گندم

محصول	ذرت					
شاخص برداشت (HI)	۰/۴۱					
-	کربوهیدرات	پروتئین	چربی‌ها	لیگنین	اسیدهای آلی	مواد معدنی
مادهٔ خشک در محصول برداشت‌شده (g/g)	۷۵	۸	۴	۱۱	۱	۱
مادهٔ خشک در باقی‌ماندهٔ محصول (g/g)	۶۲	۱۰	۲	۲۰	۲	۴

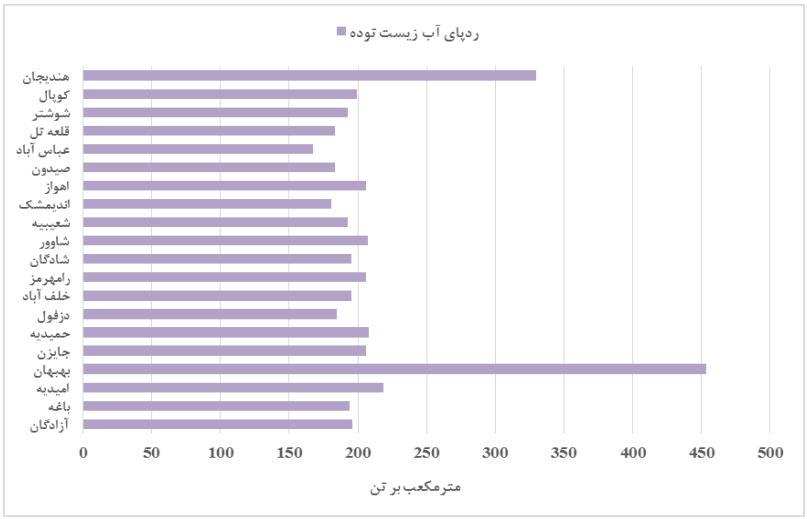
بحث و نتایج

برای بررسی تأثیر تولید محصول ذرت بر منابع آب استان خوزستان، شاخص رد پای آب برای محصول ذرت در دشت‌های زیر کشت استان محاسبه شد که نتایج آن در شکل ۲ آورده شده است. با توجه به شکل ۲، دشت بهبهان با بیشترین میزان رد پای آب (۷۰۷۶/۵ مترمکعب بر تن) برای تولید محصول ذرت، حداکثر تأثیر را بر منابع آب استان نسبت به سایر دشت‌ها داشته است. این در حالی است که دشت عباس‌آباد با اختصاص ۲۶۱۳/۲ مترمکعب بر تن، کمترین تأثیر را بر منابع آب در ازای تولید یک تن ذرت در استان دارد. با توجه به این نمودار، در دشت‌های جنوب شرقی استان مقدار مصرف آب برای تولید این محصول بیش از سایر دشت‌هاست. در بین اجزای رد پای آب، جزء رد پای آبی بیشترین سهم را در انواع رد پای آب داشته (سهم ۷۵ درصدی) است. به این معنا که تمرکز بر منابع آب سطحی و زیرزمینی در تولید این محصول زیاد است و توانایی خاک به دلایل گوناگونی مانند دمای زیاد، نوع بافت خاک و غیره در نگهداری رطوبت خاک کم است و آبیاری مستقیم تولید محصول را کنترل می‌کند. همچنین، شایان یادآوری است که رد پای آب سفید نیز بخش درخور توجهی از مصرف آب را برای تولید محصول ذرت در این استان به خود اختصاص داده است (حدود ۲۴ درصد آب مصرفی) که این موضوع کم بودن بازده آبیاری به‌خصوص در دشت‌های جنوبی و جنوب شرقی استان را نشان می‌دهد.

در ادامه، با توجه به رویکرد بررسی تولید انرژی زیستی محصول ذرت در پژوهش حاضر، رد پای آب زیست‌توده‌ای که پس از برداشت محصول برای تولید انرژی استفاده می‌شود، محاسبه و بررسی شد. به این منظور، با محاسبات رد پای آب زیست‌تودهٔ ذرت مشخص شد که هر تن از زیست‌تودهٔ ذرت برای تولید انرژی در سطح استان خوزستان، ۲۱۴/۹ مترمکعب آب است. از این میان، دشت‌های جنوبی مانند بهبهان، هندیجان و امیدیه نسبت به سایر دشت‌ها رد پای آب بیشتری به خود اختصاص داده‌اند، به این شکل که هر تن زیست‌تودهٔ ذرت در دشت بهبهان ۴۵۳/۴ مترمکعب بر تن آب مصرف می‌کند. این در حالی است که در دشت عباس‌آباد این مقدار به ۱۶۷/۴ مترمکعب بر تن می‌رسد (شکل ۳). بنابراین، هر واحد انرژی در دشت‌های جنوبی، آب بیشتری نیاز دارد که این موضوع با مواردی همچون افزایش توسعه در این نواحی و احتیاج به آب بیشتر، در تعارض است.

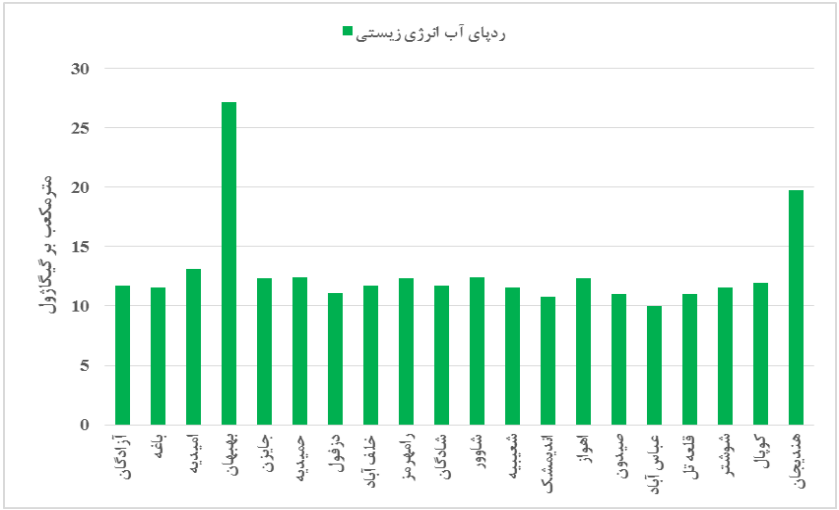


شکل ۲. اجزای مختلف رد پای آب محصول ذرت در دشت‌های استان خوزستان



شکل ۳. رد پای آب زیست‌تودهٔ ذرت در دشت‌های استان خوزستان

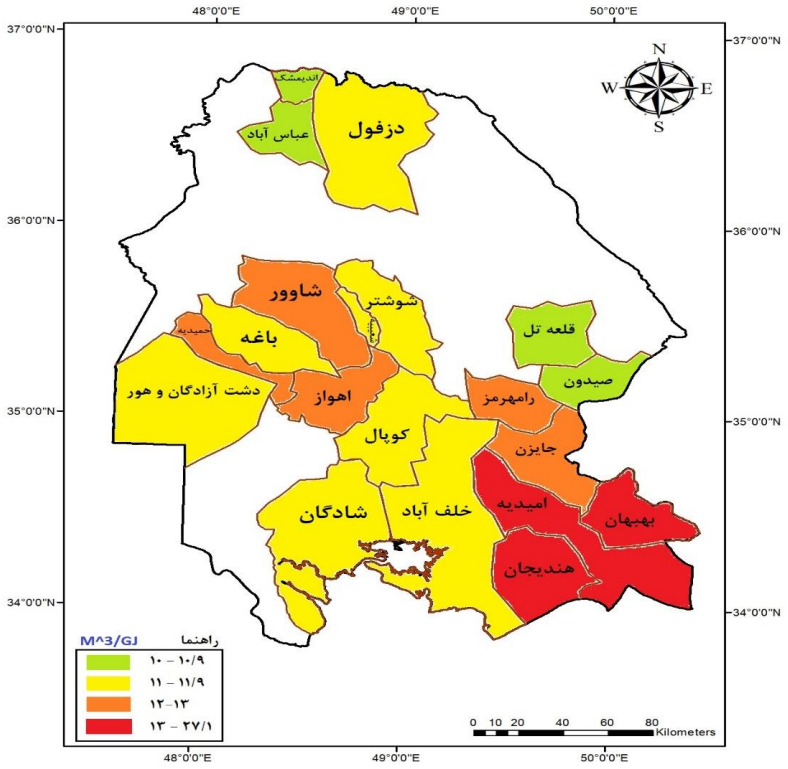
به منظور بررسی رد پای آب هر واحد انرژی به‌دست‌آمده از زیست‌تودهٔ ذرت، مشخص شد که برای تولید هر گیگاژول انرژی از زیست‌تودهٔ ذرت در دشت بهبهان، ۲۷/۱ مترمکعب آب مصرف می‌شود که این مقدار ۱۵ مترمکعب بیشتر از میانگین دشت‌های استان است. دشت‌های شمالی و غربی استان مانند دشت‌های عباس‌آباد، دزفول، آزادگان و اندیمشک برای تولید انرژی زیست‌توده از منظر شاخص رد پای آب در اولویت‌اند. به این معنا که به ازای مقدار آب کمتری می‌توان مقدار انرژی مشابه را در مقایسه با سایر دشت‌هایی همچون بهبهان و جایزن به دست آورد. سرچشمهٔ چنین موضوعی را می‌توان تحت تأثیر عوامل مختلفی دانست. برای مثال، شرایط اقلیمی یک منطقه مانند زیاد بودن دما، بادخیز بودن و عواملی از این نوع، می‌تواند بر جزء رد پای آب آبی و سبز تأثیر بگذارد. همچنین، نوع سامانهٔ آبیاری به‌کاررفته در هریک از دشت‌ها نیز بر مقدار رد پای آب محصول تأثیرگذار است. برای مثال، در تحقیقی توسط چوکالا و همکارانش مشخص شد که در صورت تبدیل سامانهٔ آبیاری کرتی به سامانهٔ آبیاری قطره‌ای، تا ۱۰ درصد می‌توان از رد پای آب محصول کاست [۱۶]. بنابراین، در دشت‌های یادشده مانند دشت عباس‌آباد که اولویت بیشتری در تولید انرژی زیستی از زیست‌تودهٔ ذرت دارند، کم بودن رد پای آب انرژی زیستی را می‌توان ناشی از مدیریت صحیح مزرعه و یا مسائل طبیعی مانند شرایط اقلیمی دانست.



شکل ۴. مقدار رد پای آب تولید هر واحد انرژی از زیست‌تودهٔ ذرت

شکل ۵. مقایسهٔ رد پای آب انرژی زیستی

همان‌طور که در شکل ۵ دیده می‌شود، در کشور زیمباوه برای تولید هر گیگاژول انرژی از زیست‌تودهٔ ذرت، به طور متوسط ۲۰۰ مترمکعب آب مصرف می‌شود و در سوی دیگر، هلند با داشتن ۹ مترمکعب بر گیگاژول مطلوب‌ترین منطقه برای تولید انرژی زیست‌توده از ذرت محسوب می‌شود. براساس نتایج تحقیق حاضر رد پای آب انرژی زیستی ذرت با توجه به موقعیت اقلیمی استان خوزستان، عدد قابل قبولی را به خود اختصاص داده که از کشورهای صنعتی همچون آمریکا نیز کمتر است. بنابراین، با اعمال مدیریت و سرمایه‌گذاری بیشتر به منظور کاهش مصرف آب در مزارع تولید ذرت، می‌توان شاهد کاهش رد پای آب انرژی زیست‌تودهٔ محصول ذرت بود. به منظور پتانسیل‌سنجی و تعیین اولویت آب محور استان خوزستان از منظر تولید انرژی زیستی ذرت، شکل ۶ ارائه شده است.



شکل ۶. پتانسیل تولید انرژی زیستی محصول ذرت در دشت‌های استان خوزستان با در نظرگرفتن شاخص رد پای آب

براساس شکل ۶، دشت‌های شمالی و مرکزی استان خوزستان، مطلوبیت بیشتری برای تولید انرژی زیست‌تودهٔ ذرت دارند. این در حالی است که دشت‌های جنوب شرقی استان نامناسب‌ترین شرایط را از منظر تولید انرژی زیست‌تودهٔ ذرت دارند. همان‌طور که مشاهده می‌شود، مساحت زیادی از استان زیر کشت محصول ذرت قرار دارد و به همین نسبت، درصد درخور توجهی از منابع آب استان برای تولید این محصول استفاده می‌شود. بنابراین، باید با تمرکز بر تولید انرژی زیست‌تودهٔ ذرت در دشت‌های با رد پای آب کمتر به ازای تولید هر واحد انرژی (مانند عباس‌آباد، قلعه تل، صیدون و اندیمشک با طیف ۱۰ تا ۱۰/۹ مترمکعب بر گیگاژول)، از کاشت این محصول در دشت‌هایی که بیش از ۱۲ مترمکعب بر گیگاژول دارند، جلوگیری شده و تمرکز تولید به محصولات دیگری که می‌توانند هم‌زمان با رد پای آب کمتر، از منظر تولید زیست‌توده نیز حائز اهمیت باشند، معطوف شود.

نتیجه‌گیری

تمام سناریوهای تأمین انرژی، نشان‌دهندهٔ تبدیل و تغییر منابع به انرژی‌های نو و تجدیدپذیرند [۱۷] و این در حالی است که هم‌زمان علاوه بر بحران انرژی در جهان، کمبود منابع آب شیرین نیز وجود دارد. بنابراین، مقدار مصرف آب برای تأمین منابع تولیدکنندهٔ انرژی زیست‌توده (به عنوان یکی از منابع مهم تجدیدپذیر) بسیار اهمیت دارد. به این منظور، برای بررسی پیوند میان این دو منبع یعنی آب و انرژی، رد پای آب انرژی زیست‌تودهٔ ذرت در مهم‌ترین استان تولیدکنندهٔ این محصول در کشور، یعنی استان خوزستان بررسی شد. نتایج بررسی رد پای آب ذرت در سطح دشت‌های استان نشان داد میانگین رد پای آب این محصول در سطح استان ۳۳۵۵/۶ مترمکعب بر تن است که رد پای آب آبی، سفید و سبز به‌ترتیب سهم ۷۴/۵، ۲۴/۵ و ۱ درصدی در این مقدار داشتند. بر این اساس، مشخص می‌شود سامانه‌های آبیاری در دشت‌های استان بازده بسیاری کمی داشته که سبب چشمگیر بودن رد پای آب سفید و آبی محصول ذرت در این استان شده است. به دلیل مسائل مختلفی که مهم‌ترین آن می‌تواند بحث اقلیم استان باشد، رد پای آب سبز فقط ۱ درصد از رد پای آب را به خود اختصاص داده که بیانگر توانایی اندک خاک در نگهداری رطوبت است. در بخش دیگر پژوهش نیز مشخص شد که رد پای آب زیست‌تودهٔ ذرت به طور میانگین ۲۱۴/۹ مترمکعب بر تن است و در واقع ۳۱۴۰/۷ مترمکعب بر تن توسط خود محصول برداشت می‌شود. از منظر رد پای آب تولید انرژی در دشت‌های تولیدکنندهٔ ذرت، مشخص شد که برای تولید هر واحد از انرژی (گیگاژول)، در دشت بهبهان ۲۷/۱ مترمکعب و در دشت عباس‌آباد ۱۰ مترمکعب آب مصرف می‌شود که به این‌ترتیب، بیشترین و کمترین مقادیر مصرف آب به‌ازای یک واحد انرژی را به خود اختصاص داده‌اند. با تهیهٔ نقشهٔ پتانسیل تولید انرژی زیستی در دشت‌های خوزستان (با رویکرد رد پای آب) نشان داده شد که دشت‌های جنوب شرقی استان (به‌ویژه بهبهان، امیدیه، هندیجان)، به دلیل آنکه رد پای آب انرژی زیست‌تودهٔ آنها در بازه‌ای بین ۱۲ تا ۲۷/۱ مترمکعب برگیگاژول قرار دارد، از اولویت کمتری برای تولید زیست‌توده برخوردارند و دشت‌های شمالی و شرقی (به‌ویژه عباس‌آباد، اندیمشک، صیدون و قلعه تل) با رد پای آب انرژی زیستی ۱۰ تا ۱۰/۹ اولویت زیادی برای استفاده از زیست‌توده ذرت برای تولید انرژی دارند. بنابراین، پیشنهاد می‌شود با مدیریت مزرعه، مواردی همچون افزایش شاخص سطح برداشت (در صورت امکان)، بهبود سامانه‌های آبیاری، افزایش بازده آبیاری و استفاده از کاه و کلش، از رد پای آب انرژی زیست‌توده در دشت‌های جنوب شرقی استان کاسته شود تا توازن منطقی میان آب مصرفی و انرژی تولیدی از زیست‌تودهٔ ذرت در این دشت‌ها برقرار شود.

منابع

[1]. Souza GM, Ballester MV, de Brito Cruz CH, Chum H, Dale B, Dale VH, Fernandes EC, Foust T, Karp A, Lynd L, Maciel Filho R. The role of bioenergy in a climate-changing world. Environmental development. 2017 Sep 1;23: 57-64.

[2]. Renewable Energy Policy Network for the 21st Century (REN21). Available online: http://www.Ren21.Net/ status-of-renewables/global-status-report/ (accessed on 17 Nov 2019).

[3]. Masera OR, Bailis R, Drigo R, Ghilardi A, Ruiz-Mercado I. Environmental burden of traditional bioenergy use. Annual Review of Environment and Resources. 2015 Nov 4;40:121-50.

[4]. Ahrens T, Drescher-Hartung S, Anne O. Sustainability of future bioenergy production. Waste Management. 2017, 67, 1–2.

[5]. Pfister S, Koehler A, Hellweg S. Assessing the environmental impacts of freshwater consumption in LCA. Environmental science & technology. 2009 Apr 23;43(11):4098-104.

[6]. Mathioudakis V, Gerbens-Leenes PW, Van der Meer TH, Hoekstra AY. The water footprint of second-generation bioenergy: A comparison of biomass feedstocks and conversion techniques. Journal of cleaner production. 2017 Apr 1;148: 571-82.

[7]. Gerbens-Leenes PW, Hoekstra AY, Van der Meer TH. The water footprint of energy from biomass: A quantitative assessment and consequences of an increasing share of bio-energy in energy supply. Ecological economics. 2009 Feb 15;68(4):1052-60.

[8]. Mohammadi, A., Yousefi, H., Noorollahi, Y., Sadatinejad, S. Choosing the best province in potato production using water footprint assessment. Iranian journal of Ecohydrology, 2017; 4(2): 523-532. [In Persian]

[9]. Hoekstra AY, Chapagain AK, Mekonnen MM, Aldaya MM. The water footprint assessment manual: Setting the global standard. Routledge; 2011.

[10]. Schyns JF, Vanham D. The Water Footprint of Wood for Energy Consumed in the European Union. Water. 2019 Feb;11(2):206.

[11]. Mekonnen MM, Romanelli TL, Ray C, Hoekstra AY, Liska AJ, Neale CM. Water, energy, and carbon footprints of bioethanol from the US and Brazil. Environmental science & technology. 2018 Nov 14;52(24):14508-18.

[12]. Ministry of Agriculture, Agricultural statistics of Agricultural crops products. Ministry of Agriculture Publication. Vol. 1. 2016; 163p. [In Persian]

[13]. Ababaei B, Etedali HR. Water footprint assessment of main cereals in Iran. Agricultural Water Management. 2017 Jan 1;179:401-11.

[14]. Ababaei B, Etedali HR. Estimation of water footprint components of Iran's wheat production: Comparison of global and national scale estimates. Environmental processes. 2014 Sep 1;1(3):193-205.

[15]. Henteh, Z., Aminian, R. Response of Late Maturing Hybrids Seed Corn to the Application of Potassium Sulfate under Deficit Irrigation, 2017; Nov 2 (42): 283-302. [In Persian]

[16]. Chukalla AD, Krol MS, Hoekstra AY. Green and blue water footprint reduction in irrigated agriculture: effect of irrigation techniques, irrigation strategies and mulching. Hydrology and earth system sciences. 2015 Dec 21;19(12):4877-91.

[17]. Gheewala SH, Berndes G, Jewitt G. The bioenergy and water nexus. Biofuels, Bioproducts and Biorefining. 2011 Jul;5(4):353-60.