

برآورد مقدار نی قابل برداشت سالانه از تالاب هورالعظیم به منظور استفاده در یک نیروگاه زیست توده‌ای

میثم خلیلی باصری^۱، شعبان قوامی جولندان^{۲*}، محسن سلیمانی^۳ و حیدر زارعی^۴

چکیده

تالاب هورالعظیم در جنوب غربی ایران، در سال‌های اخیر به دلیل آتش‌سوزی‌های گسترده به یکی از منابع عمده آلودگی هوا در استان خوزستان تبدیل شده است. برداشت پایدار از این منبع عظیم زیست توده و احتراق کنترل شده، علاوه بر کاهش آلودگی‌های کنونی می‌تواند نقش مؤثری در تولید انرژی تجدیدپذیر پایدار ایفا کند. بنابراین در این مطالعه سعی شد میزان زیست توده قابل برداشت پایدار از این تالاب برآورد شود. به منظور شناسایی و برآورد پوشش گیاهی از شاخص NDVI در تصاویر ماهواره‌ای استفاده شد. همچنین با مراجعه حضوری به ۳۰ نقطه با شاخص NDVI متفاوت، و برداشت زیست توده، عملکرد در هکتار برآورد شد. همچنین خصوصیات حرارتی گیاه نی برای استفاده در یک نیروگاه زیست توده سوز مورد بررسی قرار گرفت. بر اساس نتایج برآورد انجام شده، سالانه از مجموع ۳۳۷۱۲ هکتار از نیزارهای بخش ایرانی تالاب هورالعظیم، تقریباً ۳۵۰۰۰۰ تن نی تر قابل برداشت است و با توجه به میانگین رطوبت ۶۵ درصدی (نی و شاخ و برگ)، میزان زیست توده خشک قابل برداشت سالانه حدود ۳۰۰ هزار تن خواهد بود که عدد بسیار قابل توجهی است. همچنین با توجه به نتایج، ارزش حرارتی گیاه نی (در حدود ۲۰ MJ/kg)، میزان خاکستر، ترکیبات خاکستر و همچنین ترکیب عناصر اندام‌های گیاه نی با گیاهان انرژی قابل مقایسه است، که استفاده از آن را به عنوان سوخت در نیروگاه‌های زیست‌توده سوز توجیه می‌کند.

واژه‌های کلیدی: زیست توده، انرژی تجدیدپذیر، سنجش از دور، مزارع انرژی، محیط زیست.

ارجاع: خلیلی باصری م. قوامی جولندان ش. سلیمانی م. و زارعی ح. ۱۴۰۳. برآورد مقدار نی قابل برداشت سالانه از تالاب هورالعظیم به منظور استفاده در یک نیروگاه زیست‌توده‌ای. نشریه پژوهش‌های مکانیک ماشین‌های کشاورزی. ۳۰: ۵۷-۶۶. <https://dx.doi.org/10.22034/JRMAM.2024.14602.684>

۱- دانش‌آموخته کارشناسی ارشد، گروه مهندسی بیوسیستم، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شهید چمران اهواز.
۲- استادیار گروه مهندسی بیوسیستم، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شهید چمران اهواز.
۳- دانشیار گروه مهندسی بیوسیستم، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شهید چمران اهواز.
۴- دانشیار گروه هیدرولوژی و منابع آب، دانشکده مهندسی آب و محیط زیست، دانشگاه شهید چمران اهواز.

* نویسنده مسئول: s.ghavami@scu.ac.ir

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۱۰/۱۰

تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۸/۱۸

مقدمه

متخصصان بر این باورند که با استفاده از انرژی‌های تجدیدپذیر و پاک مانند انرژی خورشیدی، بادی، زمین گرمایی، زیست توده، هیدروژن و غیره بجای انرژی‌های حاصل از سوخت‌های فسیلی، از آلودگی‌های زیست محیطی و خطرات مرتبط با آن جلوگیری خواهد شد. اما استفاده از انرژی‌های تجدیدپذیر مستلزم مطالعات و تحقیقات فراوانی هستند. در بین انرژی‌های تجدیدپذیر، تولید انرژی از سوخت‌های زیستی، به روش سوخت مستقیم از مواد سلولزی از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. (Landström *et al.*, 1996). گیاه نی را به عنوان یک گیاه بیوانرژی معرفی کردند و به مدت چهار سال، ۱۹۹۱ تا ۱۹۹۵ بر روی کاشت و برداشت گیاه نی در کشور سوئد مطالعه کردند. در این مطالعه با توجه به میزان نیتروژن مصرفی و فصل برداشت، میزان عملکرد وزن خشک زیست توده، بین ۷-۸/۵ تن در هکتار به دست آمد. مقدار میزان برداشت نی از عواملی همانند فصل برداشت و تعداد برداشت در سال تأثیر می‌پذیرد. در مطالعه دیگر، میزان عملکرد نی تا ۱۲/۶ تن ماده خشک زیست توده در هکتار بیان شده است. میزان ماده خشک در این مطالعه از ۳۷ درصد در زیست توده برداشت شده در فصل بهار تا ۸۴ درصد در زیست توده برداشت شده در طول زمستان متغیر بوده است.

از طرفی، زیست توده برداشت شده در طول زمستان به عنوان سوخت کیفیت بهتری داشته و میزان عناصر فسفر، پتاسیم، کلر و گوگرد کمتری داشته است (Tahir *et al.*, 2011). امروزه با توجه به اقتصادی بودن تولید انرژی و به خصوص انرژی برق از گیاهان چند ساله، در اروپا و آمریکای شمالی، بخش‌هایی از زمین‌های کشاورزی به کشت گیاهانی با رشد سریع و گیاهان خاص (مزارع انرژی)، اختصاص می‌یابد. مناطق تحت کشت این گیاهان در طی ۲۰ سال گذشته، بیش از ۲۰ برابر شده است و پیش‌بینی می‌شود در آینده نزدیک، به طور کلی سطح زیر کشت این محصولات به چندین میلیون هکتار افزایش یابد (Zegada-Lizarazu & Monti, 2011). نیروگاه Drax با ظرفیت چهار گیگاواتی بزرگترین تولید کننده برق در بریتانیا است که تقریباً ۷ درصد از برق مورد نیاز انگلستان را تأمین می‌کند. این نیروگاه از سال ۲۰۰۳، تغییر خوراک خود از زغال سنگ به سمت

سوزاندن زیست توده و استفاده از سوخت مشترک زغال سنگ-چوب را شروع کرد و تا سال ۲۰۱۶، چهار واحد از مجموع شش واحد از سوخت زغال سنگ به مصرف سوخت زیست توده تغییر کاربری داده است. این نیروگاه در همین سال، ۶/۶ میلیون تن زیست توده که تقریباً همه آن پلت‌های چوبی بوده است (تقریباً ۲۳ درصد از کل تولید پلت چوبی در کل دنیا) را مصرف کرده است (Brack *et al.*, 2018). در تحقیق دیگری به ارزیابی قابلیت استفاده پایدار از زیست توده جهت تولید انرژی پاک پرداخته شد، نتایج نشان داد که با سرمایه‌گذاری و مدیریت مناسب، تولید انرژی از طریق پسماندهای زیست توده می‌تواند در مدت زمان کوتاهی نتیجه بخش باشد و با توسعه سطح کشاورزی، ظرفیت تولید برق یک نیروگاه زیست توده نیز افزایش یابد (Pimenta & Dalmolin, 2021). پژوهش در خصوص توسعه فناوری‌های تولید انرژی زیست توده و کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای، نشان داد که برای مناطقی با منابع زیست توده فراوان، توسعه فناوری گازی سازی و تولید برق با احتراق مستقیم مناسب‌تر است و می‌تواند بهترین مزایای زیست محیطی را به همراه داشته باشد (Li, 2022).

نتایج حاصل از تحقیق دیگری در خصوص بررسی تأثیر اقتصادی رطوبت زیست توده چوب در مراحل مختلف زنجیره توزیع آن با در نظر گرفتن کل زنجیره، نشان داد که استفاده از زیست توده با رطوبت ۳۲ درصد وزنی در مقایسه با زیست توده با ۱۸ درصد وزنی پرهزینه است و علاوه بر این، کاهش راندمان سوزاندن مرتبط با رطوبت بالاتر یک چالش را ایجاد می‌کند و آن منجر به کاهش بازده انرژی و افزایش مصرف سوخت می‌شود که در نهایت بر قابلیت اقتصادی کلی زیست توده چوب به عنوان منبع انرژی تأثیر می‌گذارد (Johnson *et al.*, 2023). زائده‌های محصولات جانبی کشاورزی شامل کاه و کلش و دیگر ضایعات گیاهان که قابلیت عرضه به بازار را ندارد، یکی از منابع زیستی برای تولید انرژی است. در ایران سالانه بیش از ۱۰۰ میلیون تن زائدات و ضایعات کشاورزی تولید می‌شود که اگر برای تولید انرژی به کار گرفته شوند، ۲۰ الی ۲۵ درصد نیاز انرژی کشور را تأمین می‌کند (Shakhesi, 2008). پیش‌بینی شده است که حدود ۴۹/۳ درصد از کل انرژی مصرفی در دنیا تا سال ۲۰۵۰، از منابع تجدیدپذیر تهیه شود و زیست توده

مواد و روش‌ها

تالاب هورالعظیم، بزرگ‌ترین تالاب مرزی در استان خوزستان، در مرز بین ایران و عراق در انتهای رودخانه کرخه در منطقه مرزی دشت آزادگان واقع شده است. شکل ۱ موقعیت منطقه مورد مطالعه در این تحقیق را نشان می‌دهد. ابتدا با استفاده از روش سنجش از دور و بهره‌گیری از تصاویر ماهواره‌ای و استفاده از شاخص‌های مبتنی بر سنجش از راه دور، مناطقی از بخش ایرانی تالاب هورالعظیم که پوشیده از پوشش گیاهی و نیزار است شناسایی و برآورد شد. در این تحقیق نیز از تصاویر ماهواره‌ای لندست^۱ ۸ و سنجنده OLI2 در تاریخ ۲۰۱۹/۱۱/۰۲ معادل ۱۳۹۸/۰۸/۱۱ استفاده شده است. در جدول ۱ مشخصات و خصوصیات باندهای سنجنده ارائه شده است. برای تفکیک پوشش گیاهی از سایر اراضی می‌توان به شاخص استاندارد پوشش گیاهی مانند شاخص پوشش گیاهی نرمال شده^۳ (NDVI) اشاره کرد که یک ایده کلی از شرایط و سطح زمین را ارائه می‌دهند (Anonymous, 2024a & Anonymous, 2024b). پس از استخراج محدوده‌های دارای نی‌زار در سطح تالاب، نقاطی با توجه به تراکم نی‌زار در سطح تالاب، به منظور بازدید میدانی و برداشت نمونه، جهت اندازه‌گیری ارتفاع نی، وزن زیست‌توده و در نهایت عملکرد زیست‌توده در هکتار تهیه گردید. در ادامه، مقدار زیست‌توده تولیدی گیاه نی در تالاب برآورد شد. برای این کار با توجه به مساحت نیزارها، ۳۰ نقطه به طور تصادفی انتخاب و سپس با مراجعه به تالاب، میزان زیست‌توده موجود (نی‌ها) از ارتفاع یک متری (به دلیل ملاحظات زیست محیطی و جلوگیری از افزایش تبخیر، پوشش تالاب باید حفظ گردد) برداشت و وزن شدند.

همچنین سطح برداشت شده در هر بار نمونه‌برداری نیز اندازه‌گیری شد. از تقسیم میزان وزن نی به سطح برداشت شده، عملکرد نی در واحد سطح و بالتبع، عملکرد نی در واحد هکتار حاصل گردید. تخمین عملکرد برای چهار تراکم (بالا، مناسب، متوسط، و تراکم نسبتاً کم) صورت گرفت. نمونه‌برداری از سطوح عملکردی متفاوت، از کاملاً متراکم تا با تراکم بسیار کم انجام گرفت. میانگین

از اجزای اصلی این طرح است (Searle & Malins, 2014). در شرایط حاضر در ایران، منابع نشاسته‌ای (همانند گندم و ذرت) و روغنی (همانند سویا و کلزا) از محصولات راهبردی برای تأمین غذای ایرانیان هستند و این محصولات، حتی در عرضه نیازهای غذایی انسانی و دامی ایران نیز با کمبودهای جدی روبرو هستند. بنابراین قطعاً نمی‌توان افق روشنی برای تولید سوخت از این منابع، حتی در آینده بسیار دور، متصور شد. تالاب هورالعظیم در جنوب غربی ایران، در سال‌های اخیر به دلیل آتش‌سوزی‌های گسترده به یکی از منابع عمده آلودگی هوا در استان خوزستان تبدیل شده است.

برداشت پایدار از این منبع عظیم زیست توده و احتراق کنترل شده، علاوه بر کاهش آلودگی‌های کنونی می‌تواند نقش مؤثری در تولید انرژی تجدیدپذیر پایدار ایفا کند. با توجه به مساحت وسیع این تالاب، امکان برآورد میزان نی به روش اندازه‌گیری فیزیکی بسیار مشکل است و استفاده از روش‌هایی همچون سنجش از راه دور می‌تواند راهگشا باشد. هدف اصلی در اغلب تحلیل‌های سنجش از راه دور که برای بررسی پوشش گیاهی به کار گرفته می‌شود این است که داده‌های باندهای طیفی مختلف را که می‌تواند بیانگر عواملی نظیر درصد پوشش گیاهان، زیست توده و شاخص سطح برگ باشد به یک مقدار واحد در هر پیکسل کاهش دهد (Drysdale, 2003).

نی با نام علمی *Phragmites australis* یک گیاه علفی بلند، ریزم‌دار و پایا (*perennial*) است که ۱/۵ تا ۱۲ متر رشد می‌کند. نی‌ها در حاشیه تالاب‌ها، گروه‌های متراکمی تشکیل می‌دهند (Ghomi, 2003). نی بیشتر مواقع در مرداب‌ها و جاهایی که آب وجود داشته باشد رشد می‌کند و مقدار رشد عمودی آن بیش از چهار سانتی‌متر در هر روز است و در سال توانایی چندین بار برداشت و تولید زیست توده را دارد و نقش بسیار مهمی در تصفیه فاضلاب‌ها دارد. در ایران مهم‌ترین رویشگاه‌های نی مرداب، تالاب‌های شادگان و هورالعظیم در خوزستان است. بنابراین اجرای مطالعه حاضر به منظور برآورد میزان زیست توده تولیدی در هر هکتار علی‌الخصوص گیاه نی در تالاب هورالعظیم و حصول نتایج مناسب از آن، می‌تواند زمینه مناسبی جهت تحقیقات بعدی باشد.

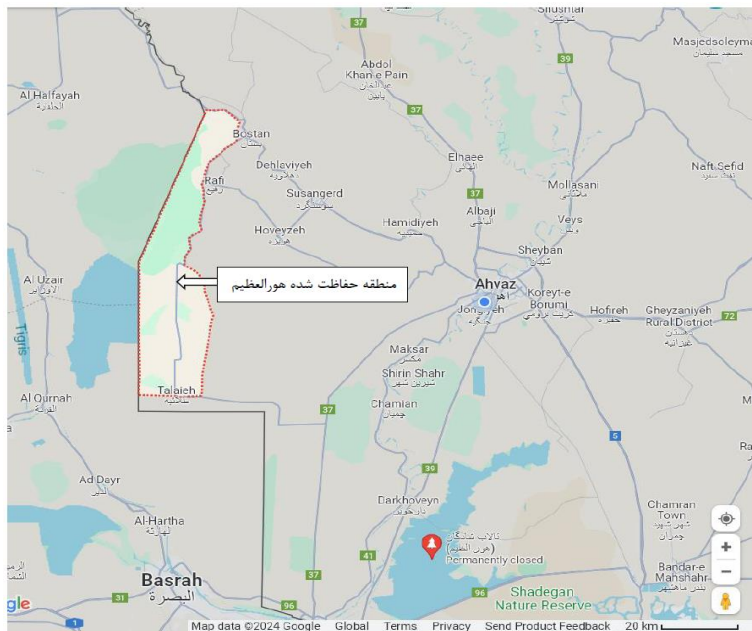
1- Landsat

2- Operational Land Imager

3- Normalized Difference Vegetation Index

کاملاً ایزوله شده و سریعاً به آزمایشگاه ارسال و خصوصیات فیزیکی و شیمیایی آنها اندازه‌گیری شد (شکل‌های ۲، ۳ و ۴).

عملکرد در سطوح مشابه عملکردی، به عنوان میانگین عملکرد نی در آن سطح تراکم در نظر گرفته شد. نمونه‌هایی شامل قسمت‌های مختلف گیاه مثل برگ و ساقه بعد از برداشت با استفاده از پلاستیک (سلفون)



شکل ۱- موقعیت تالاب هورالعظیم در خوزستان، ایران

(<https://www.google.com/maps/place/31%C2%B026'00.5%22N+47%C2%B046'17.1%22E>)

جدول ۱- خصوصیات باندهای طیفی سنجنده OLI لندست ۸

سنجنده	شماره باند	باند طیفی	طول موج (µm)	قدرت تفکیک (m)	عرض تصویربرداری (km)
	۱	Coastal/Aerosol	۰/۰-۴۵۳/۴۳۳	۳۰	۱۸۵
	۲	آبی	۰/۰-۵۱۵/۴۵۰	۳۰	۱۸۵
	۳	سبز	۰/۰-۶۰۰/۵۲۵	۳۰	۱۸۵
	۴	قرمز	۰/۰-۶۸۰/۶۳۰	۳۰	۱۸۵
OLI	۵	مادون قرمز نزدیک	۰/۰-۸۸۵/۸۴۵	۳۰	۱۸۵
	۶	مادون قرمز طول موج کوتاه	۱/۱-۶۶۰/۵۶۰	۳۰	۱۸۵
	۷	مادون قرمز طول موج کوتاه	۲/۲-۳۰۰/۱۰۰	۳۰	۱۸۵
	۸	Panchromatic	۱/۰۰/۵۰-۶۸۰	۱۵	۱۸۵
	۹	Cirrus	۱/۱-۳۹۰/۳۶۰	۳۰	۱۸۵

خاکستر به وزن اولیه نی، درصد خاکستر محاسبه شد (Anonymous, 2020a).

۳- اندازه‌گیری مواد فرآر^۱: مواد فرآر بر مبنای استاندارد ASTM-E872-82 اندازه‌گیری شد. یک گرم نی (بر مبنای وزن خشک) در داخل کوره در دمای ۹۵۰±۲۰ درجه سلسیوس به مدت ۷ دقیقه قرار گرفت با کسر وزن

عوامل مهم برای استفاده از زیست توده جامد

۱- اندازه‌گیری رطوبت: رطوبت اولیه بر اساس استاندارد ASTM E871-82 اندازه‌گیری شد (Anonymous, 2019a).

۲- اندازه‌گیری خاکستر: آزمون بر مبنای استاندارد ASTM E1755-01 انجام گرفت. ۲۰ گرم نمونه با پنج تکرار در کوره الکتریکی با دمای ۵۷۵±۲۵ درجه سلسیوس به مدت ۳ ساعت قرار گرفت و با تقسیم وزن

1- Volatile components

۵- اندازه‌گیری ارزش حرارتی ناخالص: ارزش حرارتی با استفاده از بمب کالری‌متر مدل Te10 ساخت کشور ایران اندازه‌گیری شد.

خاکستر از عدد یک و تقسیم به وزن اولیه، درصد مواد فرار محاسبه شد (Anonymous, 2019b).

۴- اندازه‌گیری عناصر: سه عنصر کربن، هیدروژن و نیتروژن به وسیله دستگاه اندازه‌گیر CHNOS و بر اساس درصد وزنی اندازه‌گیری شد.



(ب)



(الف)

شکل ۲- حمل نمونه به آزمایشگاه (الف) و توزین جهت اندازه‌گیری خواص فیزیکی (ب)

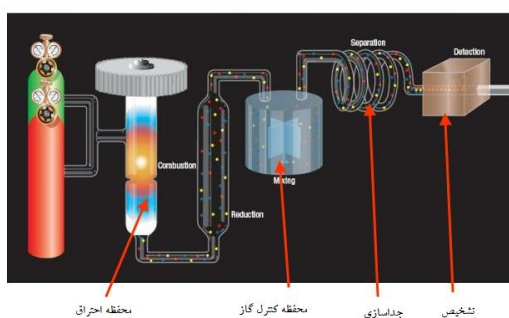


(ب)



(الف)

شکل ۳- آون (الف) و کوره الکتریکی (ب)، جهت اندازه‌گیری رطوبت و خاکستر نمونه‌ها



(ب)



(الف)

شکل ۴- طرح‌واره مراحل تحلیل مواد در دستگاه تحلیل عنصری CHNOS (الف) و بمب کالری‌متر جهت اندازه‌گیری ارزش حرارتی گیاه (ب)

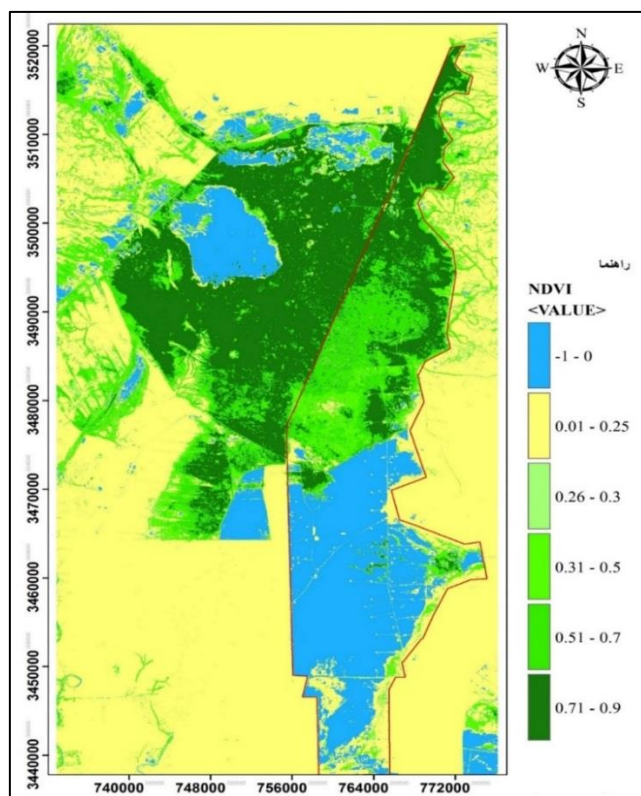
شاخص NDVI در محدوده (۰/۲۶ - ۰/۳) نسبتاً کم است. تراکم نی‌زار در سطوح با شاخص NDVI در محدوده (۰/۳ - ۰/۵)، متوسط؛ در محدوده (۰/۵ - ۰/۷)، مناسب و در محدوده (۰/۷ - ۰/۹)، بالا است. شکل ۵، تصویر خروجی شاخص پوشش گیاهی و محدوده سطح تالاب که با نی پوشیده شده است را نشان می‌دهد.

نتایج و بحث

شاخص NDVI در محدوده دارای پوشش گیاهی بین مقدار (۱ < پوشش گیاهی < ۰/۲۶) است و میزان تراکم پوشش گیاهی از شاخص ۱ تا شاخص ۰/۲۶ به تدریج کاسته می‌شود. به همین خاطر، این بازه به چهار فاصله با فواصل ۰/۲ تقسیم‌بندی شد. تراکم نی‌زار در سطوح با

جدول ۲، نیز مساحت قسمت‌های مختلف تالاب، با چهار رده مختلف شاخص NDVI در این مطالعه را نشان می‌دهد. رده اول (۰/۲۶ - ۰/۳) یعنی سطح با تراکم نیزار کم، تنها ۴۰۵ هکتار از سطح تالاب را به خود اختصاص داده است، در حالی که رده سوم (۰/۵ - ۰/۷) یعنی سطح با تراکم مناسب، با ۱۹۵۰۴ هکتار، بیشترین سطح را در قسمت ایرانی تالاب به خود اختصاص داده است.

همان‌طور که در این تصویر نیز مشخص می‌شود، بخش اعظم تالاب در کشور عراق واقع شده است. از طرف دیگر با توجه به شاخص رنگی، پوشش نی در قسمت عراقی، متراکم‌تر است به نحوی که شاخص NDVI در بخش اعظمی از تالاب در کشور عراق، ۰/۹ یا نزدیک به ۰/۹ است.



شکل ۵- نقشه شاخص NDVI و موقعیت نقاط نمونه‌برداری در کل محدوده هورالعظیم

جدول ۲- مساحت نقاط مختلف تالاب با محدوده‌های تعریف شده شاخص NDVI

مساحت از کل تالاب (هکتار)	محدوده شاخص NDVI
۴۰۵	۰/۳ - ۰/۲۶
۳۴۶۷	۰/۵ - ۰/۳
۱۹۵۰۴	۰/۷ - ۰/۵
۱۰۳۳۶	۰/۹ - ۰/۷

NDVI مربوطه در نظر گرفته شد. سپس از ضرب عملکرد هر رده در سطح نی‌زار آن رده، عملکرد کلی نی در قسمت ایرانی تالاب برآورد شد. جدول ۳، میزان عملکرد تراکم‌های مختلف را با توجه به سطوح مختلف شاخص NDVI، همچنین میزان نی قابل برداشت در هر سطح و میزان نی قابل برداشت کل را نشان می‌دهد. بر اساس برآورد انجام شده، سالانه از مجموع ۳۳۷۱۲ هکتار از

وضعیت عملکردی در نقاط نمونه‌برداری شده

عملکردهای برآورد شده به صورت صعودی مرتب شدند. توزیع نمونه‌ها از توزیع نرمال پیروی می‌کرد. برای این که تا حد ممکن، برآوردهای انجام شده عملکرد نی، با خطای کمتری همراه باشد، داده‌ها با توجه به چارک‌ها به چهار قسمت تقسیم شدند و میانگین عملکردها در هر چارک، معادل میانگین عملکرد در هر یک از رده‌های شاخص

بودن نیزارها در تالاب هورالعظیم و بکر بودن این نیزارها اشاره کرد، به نحوی که نی‌های تالاب در عمر چندین ساله خود، کاملاً چوبی و خشبی شده‌اند. برای درک اندازه میزان نی قابل برداشت، به عنوان مثال نیروگاه ۶۰ مگاواتی زیست‌توده سوز، در استان Ciego de Ávila در کوبا، توانایی مصرف روزانه ۲۱۰۰ تن باگاس (سالانه ۷۵۶۰۰۰ تن) را دارد. این نیروگاه، ۱۲۲ تن در ساعت بخار آب و هشت مگاوات برق مورد نیاز کارخانه قند مجاور را تأمین می‌کند و انتظار می‌رود که برق اضافه تولیدی جوابگوی ۵۰ درصد نیاز استان Ciego de Ávila باشد. انتظار می‌رود که این پروژه سالانه به میزان ۱۰۰۰۰۰ بشکه نفت، صرفه‌جویی انرژی فسیلی داشته باشد و از انتشار ۳۰۰ تن معادل دی‌اکسید کربن گازهای گلخانه‌ای ممانعت کند (Anonymous, 2020b).

نی‌زارهای بخش ایرانی تالاب هورالعظیم، تقریباً ۳۵۰۰۰۰ تن نی تر قابل برداشت است. اگر فرض کنیم که به دلایلی از جمله مسائل زیست‌محیطی، امنیت مرزی، تناوب در برداشت و ... مجوز برداشت تنها یک چهارم تالاب اخذ شود، باز هم سالانه ۸۷۰ هزار تن نی، قابل برداشت است. از طرفی نمونه‌برداری و برداشت و وزن نمونه‌ها از نی‌زار کاملاً بکر و دست نخورده انجام گرفت. در این شرایط که در برخی نقاط، حتی ارتفاع نی‌ها به ۷ متر هم می‌رسد، بالتبع میزان تولید زیست‌توده نیز زیاد می‌شود. البته بدین منظور، باید برداشت‌کننده‌ی مخصوصی برای برداشت نی که توانایی کار در شرایط آبی، خاکی و آبی-خاکی را داشته باشد طراحی شود. از دلایل تفاوت فاحش بین عملکرد برآورد شده در مطالعه حاضر و مطالعه Landström et al. (1996)، می‌توان به طبیعی

جدول ۳- میزان نی قابل برداشت در سطوح مختلف عملکردی (وزن تر)

۱۳۶	۹۵	۵۷	۳۰	میانگین عملکرد چارک‌ها (تن در هکتار)
۰/۹-۰/۷	۰/۷-۰/۵	۰/۵-۰/۳	۰/۳-۰/۲۶	محدوده شاخص NDVI متناظر
۱۰۳۳۶	۱۹۵۰۴	۳۴۶۷	۴۰۵	مساحت از کل تالاب (هکتار)
۱۴۳۶۷۰۴	۱۸۵۲۸۸۰	۱۹۷۶۱۹	۱۲۱۵۰	میزان نی قابل برداشت (تن)
۳۴۹۹۳۵۳				جمع کل نی قابل برداشت (وزن تر- تن)

رطوبت

جدول ۴، میزان رطوبت برگ و ساقه نی را هنگام برداشت نشان می‌دهد. یکی از مشکلات اصلی در استفاده از نی به عنوان سوخت، میزان رطوبت بالای رطوبت نسبی زیست‌توده است که نیاز به خشک کردن را کاملاً ضروری می‌نماید. با توجه به بافت چوبی ساقه‌ی نی، به طور طبیعی محتوای رطوبت ساقه‌ی نی کمتر از محتوی رطوبت برگ است. با فرض میانگین رطوبت ۶۵ درصدی (نی و شاخ و برگ)، عملکرد وزن خشک زیست‌توده نی در تراکم‌های چهارگانه به ترتیب، ۱۰/۵، ۱۹/۹، ۳۳/۲۵ و ۴۷/۶ تن در هکتار خواهد بود و میزان زیست‌توده خشک قابل برداشت، (برداشت سالانه ۲۵ درصد از سطح تالاب) سالانه حدود ۳۰۰ هزار تن وزن خشک خواهد بود که عدد بسیار قابل توجهی است. این مقادیر را می‌توان با عملکرد سوییچ‌گراس به عنوان یکی از محصولات بیوانرژی امید بخش با نهایت عملکردی ۱۳-۱۴ تن در هکتار

(Springer, 2017) و یا کف صنعتی با عملکرد تقریباً ۵/۵ تن در هکتار (Das et al., 2017)، مقایسه کرد. با این تفاوت که عملکرد نی در یک تالاب، طبیعی و بدون مصرف هیچ گونه نهاده کشاورزی و یا صرف انرژی به دست می‌آید. ناگفته پیداست که در شرایط حاضر و منابع غنی انرژی فسیلی در ایران و محدودیت‌های زیست‌محیطی احتمالی، برداشت زیست‌توده از تالاب‌ها گزینه بسیار نامحتملی است، ولی در شرایط اتمام منابع انرژی فسیلی و افزایش مشکلات زیست‌محیطی این قبیل منابع، قطعاً نیزارهای ایران از قبیل تالاب‌های هورالعظیم و شادگان در خوزستان می‌توانند قابل توجه باشند. البته هم اکنون نیز با برداشت نی‌های حاشیه کانال‌های آبیاری مزارع و یا حاشیه مزارع (در صورت قابل توجه بودن این منابع) در کنار ضایعات هرس درختان فضای سبز شهری، ضایعات کارگاه‌های نجاری و موارد مشابه، می‌توان به نیروگاه‌های زیست‌توده‌سوز توجه جدی‌تری داشت.

جدول ۴- مقدار رطوبت در اندام‌های هوایی گیاه نی

اندام‌های هوایی	مقدار رطوبت نمونه اول	مقدار رطوبت نمونه دوم	مقدار رطوبت نمونه سوم	میانگین
برگ	۷۳	۷۴	۷۷	۷۴/۷
ساقه	۵۸	۵۵	۵۴	۵۵/۷

نتایج تحلیل CHNSO و ارزش حرارتی

در جدول ۵، مقادیر CHNSO که با استفاده از دستگاه تحلیل CHNSO، ارزش حرارتی ناخالص مستقیم توسط (بمب کالری‌متر) و مقدار اکسیژن در نمونه‌های نی که از معادله (۱) به دست آمد و اطلاعات مشابه در چند زیست‌توده از مطالعات مشابه، برای مقایسه آمده است. ترکیب زیست‌توده با توجه به نوع آن، تفاوت معنی‌داری دارد. کارآیی سوخت، وابسته به ترکیب مواد زیستی است.

شاخص‌های مهم شامل محتوای خاکستر، کربن، هیدروژن، نیتروژن، گوگرد و کلر هستند (Clarke & Preto, 2011). به طور معمول، ۳۰ تا ۴۰ درصد وزنی ماده خشک در زیست‌توده را اکسیژن تشکیل می‌دهد. مولکول اصلی زیست‌توده، کربن است که بسته به محتوای خاکستر، ۳۰ تا ۶۰ درصد وزنی ماده خشک را تشکیل می‌دهد (Jenkins et al., 1998).

درصد اکسیژن = ۱۰۰ - (مجموع درصد‌های خاکستر، کربن، نیتروژن، گوگرد و هیدروژن)

(۱)

مقدار کربن بیشتر منجر به مقدار ارزش حرارتی بیشتر می‌شود (Clarke & Preto, 2011). البته سوختن کربن گازهای دی‌اکسید کربن و در صورت احتراق ناقص، مونوکسید کربن را نیز منتشر می‌کند. از ترکیبات آلی، هیدروژن سومین ترکیب اصلی زیست‌توده است که معمولاً ۵ تا ۶ درصد ماده خشک را تشکیل می‌دهد (Jenkins et al., 1998). مقدار هیدروژن بیشتر نیز منجر به افزایش مقدار ارزش حرارتی می‌شود (Clarke & Preto, 2011). نیتروژن، گوگرد و کلر را نیز می‌توان در مقداری معمولاً کمتر از یک درصد ماده خشک، و گاهی اوقات بیش از این مقدار یافت کرد. موارد اخیر در شکل‌گیری انتشار آلاینده‌ها، و گوگرد و کلر در واکنش‌های خاص خاکستر که منجر به رسوب (گرفتگی) و سرباره می‌شوند اهمیت دارد. نیتروژن برای گیاهان، مغذی (از مواد غذایی پرمصرف) و برای رشد آنها حیاتی است (Jenkins et al., 1998). اکثر اکسید نیتروژن انتشار یافته از سوختن یک سوخت ناشی از محتوای نیتروژن آن سوخت است و محتوای کمتر نیتروژن، منجر به کاهش انتشار آلاینده اکسید نیتروژن می‌گردد (Clarke & Preto, 2011). اکثر سوخت‌های زیست‌توده‌ای کمتر از ۰/۲ درصد، گوگرد دارند. اکسیدهای گوگرد در طول احتراق تشکیل می‌شوند و تا حد زیادی در آلاینده‌های ناشی از ذرات ریز (PM) و باران اسیدی مشارکت دارند (Clarke & Preto, 2011).

ارزش حرارتی یک سوخت بیانگر مقدار انرژی موجود در یک سوخت به ازای واحد جرم آن (MJ/kg) است. ارزش حرارتی خالص، انرژی در دسترس در انتقال حرارت است. تفاوت انرژی‌های موجود در سوخت‌ها، به دلیل تفاوت در ترکیب شیمیایی و محتوای خاکستر و رطوبت سوخت‌های مختلف است. برای مثال ارزش حرارتی اکثر بقایای کشاورزی و زغال سنگ، به ترتیب ۱۴-۱۹ و ۳۰-۱۷ مگاژول بر کیلوگرم است (Clarke & Preto, 2011).

برای سوزاندن مستقیم محصولات زیستی و تولید حرارت، میزان درصد بالای عناصری مانند گوگرد و نیتروژن، مطلوب نیستند. هر قدر مقدار این عناصر کمتر باشد به همان میزان احتمال تشکیل آلاینده‌هایی همانند اکسیدهای نیتروژن و اکسیدهای گوگرد افزایش می‌یابد. در عوض، میزان کربن و هیدروژن مطلوب هستند. چون افزایش این عناصر نسبت مستقیمی با افزایش ارزش حرارتی زیست‌توده دارد (Clarke & Preto, 2011).

با توجه به معادله (۲)، وزن هیدروژن و کربن در تعیین ارزش حرارتی یک زیست‌توده به ترتیب ۱۴۲ و ۳۴ است در حالی که نیتروژن با وزن ۱۴/۵، اثر منفی در مقدار ارزش حرارتی دارد (Demirbas & Sahin, 2009). با این که اکسیژن نقش منفی در مقدار ارزش حرارتی زیست‌توده دارد، اما هر مقدار درصد این عنصر در ترکیب زیست‌توده بیشتر باشد در افزایش به سوزی سوخت تأثیر بیشتری خواهد داشت.

$$HHV (MJ.kg^{-1}) = (33.5[CC] + 142.3[HC] - 14.5[NC] - 15.4[OC]) / 100 \quad (2)$$

جدول ۵- درصد عناصر فرار (CHNOS) و ارزش حرارتی نمونه‌ها در مطالعات و اصلی

نمونه‌ها	C (%)	H (%)	N (%)	O (%)	S (%)	ارزش حرارتی (MJ/kg)
نمونه شاهد نی	۵۱/۷۹	۵/۹۴۳	۰/۲۲۱	۴۱/۱۱	۰/۳۴۲	۱۹/۹۲
نمونه اصلی نی	۴۹/۵۲	۵/۲۵۲	۰/۱۸۶۸	۴۴/۱۰	۰/۴۱۲	۲۰/۲۱
ساقه یونجه	۴۷/۱۷	۵/۹۹	۲/۶۸	۳۸/۱۹	۰/۲	۱۸/۶۷
کاه گندم	۴۴/۹۲	۵/۴۶	۰/۴۴	۴۱/۷۷	۰/۱۶	۱۷/۹۴
پوست برنج	۳۸/۸۳	۴/۷۵	۰/۵۲	۳۵/۴۷	۰/۰۵	۱۵/۸۴
علف ترکه	۴۶/۶۴	۵/۸۲	۰/۷۷	۳۷/۳۸	۰/۱۹	۱۸/۰۶
باگاس نیشکر	۴۸/۶۴	۵/۸۷	۰/۱۶	۴۲/۸۲	۰/۰۴	۱۸/۹۹

خاکستر

جدول ۶ نتایج میزان خاکستر باقی مانده از اندام‌های هوایی گیاه نی را نشان می‌دهد که در رابطه با گیاهان مرجع میزان خاکستر آن بیشتر است. با توجه به این جدول، مقدار متوسط خاکستر گیاه نی ۱۸-۱۴ درصد و در حد قابل قبولی است. این مقدار از درصد خاکستر

زیست‌توده‌هایی همانند کاج و پوست برنج کمتر و تقریباً برابر با میزان خاکستر زیست‌توده میسکانتوس که از زیست‌توده‌های رایج برای تولید گرما و برق هست، است. اما این شاخص، در زیست‌توده‌هایی همانند باگاس نیشکر، درخت بید، صنوبر علف ترکه و کاج، وضعیت بهتری دارد.

جدول ۶- خاکستر نمونه‌های اصلی با نمونه‌های مشابه

منبع	نمونه	خاکستر (%)
نمونه‌های نی	برگ	۱۴/۳
تالاب هورالعظیم	ساقه	۱۰/۲۵
	پوست برنج	۱۶/۳
	خاک اره کاج اروپایی	۱۶/۳
	درخت بید	۱
	ساقه یونجه	۵/۲۷
	کاه گندم	۷/۰۲
	پوست برنج	۲۰/۲۶
	علف ترکه	۸/۹۷
	صنوبر هیبریدی	۲/۷

(Jenkins *et al.*, 1998)

- International Affairs.
- Clarke, S., & Preto, F. (2011). Biomass burn characteristics (pp. 11-033). Ministry of Agriculture, Food and Rural Affairs.
- Das, L., Liu, E., Saeed, A., Williams, D. W., Hu, H., Li, C., Ray, A.E. & Shi, J. (2017). Industrial hemp as a potential bioenergy crop in comparison with kenaf, switchgrass and biomass sorghum. *Bioresource technology*, 244: 641-649.
- Demirbas, K., & Sahin-Demirbas, A. (2009). Compacting of biomass for energy densification. *Energy Sources, Part A*, 31(12): 1063-1068.
- Drysdale, A. J. (2003). Cannabinoids: mechanisms and therapeutic applications in the CNS. *Current medicinal chemistry*, 10(24): 2719-2732.
- Ghomi, A. (2003). The use of plant materials in the construction industry. *Fine arts magazine*, 3(6): 13. (In Persian).
- Jenkins, B., Baxter, L. L., Miles Jr, T. R., & Miles, T. R. (1998). Combustion properties of biomass. *Fuel processing technology*, 54(1-3): 17-46.
- Johnson, N., Ibeawuchi, O. J., Nwosi, H. A. & Ojiabo, K. T. (2023). Exploring the Fiscal of Wood-Based Renewable Biomass as an Energy Source. *Preprints 2023*, 2023121319. <https://doi.org/10.20944/preprints202312.1319.v1>
- Landström, S., Lomakka, L., & Andersson, S. (1996). Harvest in spring improves yield and quality of reed canary grass as a bioenergy crop. *Biomass and bioenergy*, 11(4): 333-341.
- Li, D. (2022). A Study for Development Suitability of Biomass Power Generation Technology Based on GHG Emission Reduction Benefits and Growth Potential. *Computational Intelligence and Neuroscience*, vol. 2022, Article ID 7961573, 12 p.
- Pimenta Ribeiro, A., & Dalmolin, S. (2021). Biomass energy as a possibility for innovative agriculture initiatives. *Energ. Ecol. Environ.* 6, 344-352(2021). <https://doi.org/10.1007/s40974-020-00201-2>
- Searle, S. Y., & Malins, C. J. (2014). Will energy crop yields meet expectations? *Biomass and Bioenergy*, 65: 3-12.
- Shakhesi, S. (2008). *The research program of using plant residues and residues of agricultural and livestock products and converting them into materials with higher added value*. Jihad Agricultural Engineering Research Institute (In Persian).
- Springer, T. L. (2017). Effect of Nitrogen Fertilization and Residual Nitrogen on

نتیجه‌گیری

با توجه به نتایج، حدود سی هزار هکتار از قسمت ایرانی تالاب هورالعظیم را نی‌زارهای با تراکم عملکردی بالا و مناسب به خود اختصاص داده است. بر اساس برآورد انجام شده، سالانه از مجموع ۳۳۷۱۲ هکتار از نی‌زارهای بخش ایرانی تالاب هورالعظیم، تقریباً ۳۵۰۰۰۰۰ تن نی تر قابل برداشت است و اگر به دلایل امنیتی، محیط‌زیستی، تناوب در برداشت و ... مجوز برداشت تنها یک چهارم تالاب اخذ شود، باز هم سالانه ۸۷۰ هزار تن نی، قابل برداشت است. با توجه به میانگین رطوبت ۶۵ درصدی (نی و شاخ و برگ)، میزان زیست‌توده خشک قابل برداشت، سالانه حدود ۳۰۰ هزار تن خواهد بود که عدد بسیار قابل توجهی است. همچنین با توجه به نتایج، ارزش حرارتی گیاه نی (در حدود ۲۰ MJ/kg)، میزان خاکستر، ترکیبات خاکستر و همچنین ترکیب عناصر اندام‌های گیاه نی با گیاهان انرژی مرجع قابل مقایسه است، که استفاده از آن را به عنوان سوخت در نیروگاه‌های زیست‌توده سوز توجیه می‌کند.

منابع

- Anonymous, (2024a). By: GISGeography, <https://gisgeography.com/ndvi-normalized-difference-vegetation-index/>
- Anonymous. (2024b). https://en.wikipedia.org/wiki/Normalized_difference_vegetation_index
- Anonymous, (2019a). Standard Test Method For Moisture Analysis of Particulate Wood Fuels. <https://www.astm.org/e0871-82r19.html>
- Anonymous. (2019b). Standard Test Method for Volatile Matter in the Analysis of Particulate Wood Fuels. <https://www.astm.org/e0872-82r19.html>
- Anonymous. (2020a). Standard Test Method for Ash in Biomass. <https://www.astm.org/workitem-wk87892>
- Anonymous, <https://www.velp.com/en-ww/elemental-analyzers.aspx>
- Anonymous. (2020b). Cuba's First Biomass-Fired Power Plant Inaugurated. <https://www.powermag.com/cubas-first-biomass-fired-power-plant-inaugurated/> (available at 2/10/2021)
- Brack, D., Hewitt, J., & Marchand, T. M. (2018). Woody Biomass for Power and Heat: Demand and Supply in Selected EU Member States. Chatham House Research Paper. London: The Royal Institute of

Biomass Yield of Switchgrass. *Bioenerg. Res.*, 10: 648–656.

Tahir, M. H. N., Casler, M. D., Moore, K. J. *et al.* (2011). Biomass Yield and Quality of Reed Canarygrass under Five Harvest Management Systems for Bioenergy Production. *Bioenerg. Res.*, 4: 111–119.

Zegada-Lizarazu, W., & Monti, A. (2011). Energy crops in rotation. A review. *Biomass and bioenergy*, 35(1): 12-25.