ارزیابی فنی– اقتصادی بهره‌برداری از جنگل‌های انرژی در ایران به منظور تولید برق

حسام قدکساز[۱]، هادی اشراقی*[۲]، محمد رضایی میرقائد[۳]

تاریخ دریافت مقاله:
۱۳۹۱/۴/۳
تاریخ پذیرش مقاله:
۱۳۹۱/۶/۷
کلمات کلیدی:
جنگل‌های انرژی، انرژی‌های تجدیدپذیر،سیاست‌گذاری انرژی،انرژی زیست توده، هزینه همتراز تولید الکتریسیته

چکیده:

یکی از راه‌های تأمین منابع انرژی زیست توده، کاشت درختان یا درختچه‌های بادوره رشد کوتاه در زمین‌های نیمه‌بایر است. بر خلاف منابع انرژی فسیلی متعارف، سوزاندن این منابع با آزادسازی همان کربنی همراه است که در حین رشد در محصولات کاشته‌شده، ذخیره شده است. کشت گونه‌های مختلف در کشور، با در نظر گرفتن شرایط اقلیمی و محیطی لازم برای کاشت و بهره‌برداری از آنها در این مقاله مورد بررسی قرار گرفته است. در این ارتباط، مرور جامعی بر اقدامات مشابه در سایر نقاط دنیا با شرایط خاص هر منطقه و گونه‌های کاشته شده در آن مناطق و نیز فناوری‌های مورد استفاده برای تبدیل انرژی صورت گرفته است. در پایان نیز، به بررسی ابعاد اقتصادی طرح و مقایسه آن با سایر گزینه‌های متداول برای تولید الکتریسیته پرداخته شده است. بنا به نتایج مطالعه حاضر، هزینه همتراز تولید الکتریسیته از یک واحد ۵۰ مگاواتی با سوخت حاصل از محصولات جنگل‌های انرژی حدود ۱۶/۲–۱۵/۱ سنت به ازای هر کیلووات ساعت است.

۱) کارشناس پژوهشکده علوم و فناوری انرژی شریف ghadaksaz@energy.sharif.edu
۲) کارشناس ارشد دفتر تغییرات آب و هوا، سازمان حفاظت محیط زیست (نویسنده مسئول) eshraghi@energy.sharif.edu
۳) دانشجوی دکتری مهندسی سیستم‌های انرژی، دانشگاه صنعتی شریف m_rezaei@energy.sharif.edu

[Downloaded from necjournals.ir on 2026-11-16]

مقدمه

ایران در نیمه جنوبی منطقه معتدل شمالی بین ۲۵ درجه و ۳ دقیقه تا ۳۹ درجه و ۴۷ دقیقه عرض شمالی از خط استوا و ۴۴ درجه و ۱۴ دقیقه تا ۶۳ درجه و ۲۰ دقیقه طول شرقی از نصف النهار مبدأ قرار دارد و حدود ۹۰٪ از خاک این کشور در محدوده فلات ایران واقع شده است. سرزمین ایران به طور کلی کوهستانی و نیمه خشک بوده و میانگین ارتفاع آن بیش از ۱۲۰۰ متر از سطح دریاست. بیش از نیمی از مساحت کشور را کوه‌ها وارتفاعات، یک چهارم آن را دشت‌ها و کمتر از یک چهارم دیگر آن را نیز زمین‌های دردست کشت تشکیل می‌دهند [۴].جدول شماره ۱ مشخصات کلی کشور را به لحاظ آب و هوایی و اقلیمی نمایش می‌دهد:

جدول ۱ : مشخصات کلی کشور ایران [۱]

وسعت (کیلومتر مربع)	۱,۶۴۸,۱۹۵
جمعیت (نفر)	۷۵,۰۱۳,۲۳۴
مساحت کل جنگلها و مراتع (کیلومتر مربع)	۱۶۹,۸۲۹
متوسط بارندگی (میلی متر)	۲۴۹
متوسط سرعت باد (متر بر ثانیه)	۳-۸

به لحاظ میزان بارندگی، کشور ما جزء مناطق با بارش به نسبت پایین و کم‌آب محسوب می‌شود ومتوسط بارندگی کل کشور طی ۳۶ سال گذشته ۲۴۹ میلیمتر(کمتر از ثلث متوسط جهانی) بوده است[۴].

اگرچه بخش وسیعی از کشور را مناطق کویری و نیمه خشک و فلات مرتفع تشکیل می‌دهد و از طرفی،میزان بارندگی در سطح کشور کم و تهدیدات زیست محیطی جدی است، ولی کشور ایران از نظر تنوع زیست محیطی از وضعیت خوبی برخوردار است و نمونه‌های متنوعی از غنی‌ترین منابع طبیعی را می‌توان در کشور مشاهده نمود.

هدف از این پژوهش، سنجش و تعیین پتانسیل‌ها و منابع موجود برای تأمین بخشی از تقاضای انرژی کشور به کمک کاشت درختان و جنگل‌های مناسب و تبدیل چوب و محصولات آنها به حامل‌های انرژی است. بایر یا بدون استفاده بودن زمین، عدم کارایی جانبی همچون استفاده از درختان و گیاهان به عنوان منبع غذایی، و شرایط آب و هوایی مناسب برای کاشت درختان از ملزومات اجرای پروژه حاضر است.

مزیت اصلی این طرح، استفاده از منابع انرژی زیست توده به عنوان منبعی تجدیدپذیر برای تأمین و عرضه انرژی است. منابع زیست توده در هنگام سوختن به دلیل آزاد کردن کربن جذب شده در فرایند فتوسنتز، اکسیدهای کربن اضافی وارد

[Downloaded from necjournals.ir on 2026-11-16]

جو نکرده و از این رو، باعث آلودگی محیط زیست نمی‌شوند. از طرفی، گیاهانی با خواص بسیار مطلوب برای سوزاندن و استفاده به عنوان حامل انرژی توسط متخصصان امر شناسایی شده‌اند که در شرایط نامطلوب نیز قادر به رشد بوده و در واقع بهترین کاربری این گیاهان استفاده از محتوای انرژی آنهاست (کاربرد جانبی خاصی ندارند). جنبه‌های اقتصادی، اشتغال‌زایی، مقبولیت اجتماعی و مسائل فنی مواردی هستند که در این پژوهش مورد مطالعه و ارزیابی قرار می‌گیرند.

ادبیات موضوع

پیشینه مطالعه در حوزه جنگل‌های انرژی بیانگر انجام پژوهش‌های موردی در مناطق امریکای شمالی، آفریقای مرکزی و اروپای شرقی و مرکزی است. این در حالی است که بنا به اطلاعات نویسندگان این مقاله، مطالعه‌ای در مورد گیاهان و جنگل‌های انرژی در کشور ایران صورت نگرفته است. خلاصه‌ای از کارهای انجام شده که مورد بررسی و تحلیل قرار گرفتند، به شرح زیر می‌باشد:

جنگل‌های ناحیه شمال شرقی ایالت اورگان در امریکا، منبع با ارزش سوخت‌های زیستی محسوب می‌شوند. انبوه درختان و پسماندهای جنگلی خطر آتش‌سوزی در اثر وزش بادهای موسمی را افزایش داده و از این رو، ساکنان محلی اقدام به سوزاندن مقطعی درختان یا ضایعات می‌کنند. در سال ۲۰۰۳ میلادی، دپارتمان انرژی دانشگاه اورگان گزارش امکان‌سنجی تولید پایدار و اقتصادی انرژی زیست توده (برق و بیواتانول) از درختان، پسماندهای کشاورزی و ضایعات صنایع الوارسازی را ارائه کرده است[۹].

حجم منابع قابل استفاده ناشی از قطع درختان، پسماندهای جنگل و ضایعات کشاورزی بر مبنای مطالعات سالانه، از بانک اطلاعات سازمان جنگل‌داری امریکا جمع آوری شده و در تخمین مقدار پسماند در دسترس نیز ملاحظات فرسایش خاک در نظر گرفته شده است. برای برآورد هزینه منابع شامل هزینه حمل و نقل نیز ابتدا مکان احداث نیروگاه‌های تبدیل در ۳ منطقه مورد مطالعه تعیین و سپس ارزش منابع محاسبه شده است. ارزش منابع برای تولید برق با توجه به ترکیب کمتر پسماندهای کشاورزی (به جهت مشکلات فنی کوره) اندکی بیشتر به دست آمده است.از بین فناوری‌های گازی‌سازی و احتراق مستقیم، فناوری تبدیل احتراق به دلیل تجاری بودن مورد مطالعه قرار گرفته است. هزینه تولید برق بر اساس این مطالعه به شرح جدول شماره ۲ است (این مقادیر هزینه توزیع را در بر نمی‌گیرد):

جدول ۲ : نتایج مطالعات ایالت اورگان

هزینه / ظرفیت	ظرفیت ۵ مگاواتی	ظرفیت ۲۵ مگاواتی	ظرفیت ۵۰ مگاواتی
هزینه تولید برق (دلار به ازای کیلووات ساعت)	۰/۱۴۲۹	۰/۱۵۵۲	۰/۱۴۷۸

[Downloaded from necjournals.ir on 2026-11-16]

تنیگکیت[۱] و همکاران نیز در سال ۲۰۰۶ میلادی، یک مطالعه امکان‌سنجی تولید برق پراکنده از منابع زیست توده در کشور افریقایی اوگاندا انجام داده‌اند[۱۰]. در دوره مورد بررسی، تنها ۵٪ از مردم اوگاندا دسترسی به شبکه الکتریسیته داشته و با افزایش روزافزون تقاضای برق در این کشور، تولید برق از منابع زیست توده مورد توجه قرار گرفته است. گیاهان انرژی در این کشور با دوره رشد ۵-۱ ساله و به صورت انبوه کاشت می‌شوند (درختان گرمسیری چون اکالیپتوس). در این مطالعه، هر دو نوع فناوری گازی‌سازی و احتراق مستقیم (تولید همزمان برق و حرارت) مورد توجه قرار گرفته است. مطابق نتایج این مطالعه، هزینه تولید هر کیلووات ساعت انرژی توسط یک گازی‌ساز ۲۵۰ کیلوواتی حدود ۰/۰۸ یورو و هزینه تولید در یک سیستم تولید همزمان ۰/۰۶۸ یورو به ازای هر کیلووات ساعت برآورد شده است. جنگل‌های انرژی در کشور اوگاندا پتانسیل بالایی برای تولید انرژی دارند، لیکن نبود تجربه کافی و خطر بالای سرمایه‌گذاری از موانع بهره‌برداری از جنگل‌های انرژی در این کشور محسوب می‌شود.

مطالعات مشابه دیگری توسط استانچزیک و لودویک (۲۰۰۳) با هدف زراعت در زمین‌های بایر یا زمین‌های بازده تولید محصول کمتر در موسسه تحقیقاتی معدن لهستان [۱۱]، گروه تحقیقاتی توسعه اقتصادی در دانشگاه ماساچوست با هدف ظرفیت‌سازی تولید ۱۶۵ مگاوات بیوالکتریسیته از منابع پسماندهای جنگلی در این ایالت تا سال ۲۰۱۵ [۱۲] و دفتر فائو در ایتالیا با هدف ارائه راهکارها و سیاست‌های توسعه بهره‌برداری از جنگل‌های انرژی [۷] صورت گرفته است.

تقسیم‌بندی و شناسایی اراضی

زمین‌های زراعی و غیرزراعی و اقسام مختلف پوشش‌های گیاهی در کشور ایران وجود دارد. مناطق کوهستانی متعدد و پراکنده که به طور شاخص رشته کوه‌های البرز، زاگرس و آذربایجان را شامل می‌شود، بیابان‌های مرکزی عمده از جمله دشت کویر و لوت، جنگل‌های پراکنده به ویژه در شمال کشور و جلگه خوزستان و مناطق بیابانی ساحلی و دشت‌ها، مناطق مختلفی از کشور را تشکیل می‌دهد.به لحاظ کاربری اراضی، مناطق مختلف کشور ایران را می توان به ۶ دسته ۱) جنگل‌ها (۷٪)، ۲) مراتع و دشت‌های پوشیده (۱۸٪)، ۳) زمین‌های قابل کشت دیمی (۶٪)، ۴) مزارع آبیاری‌شده (۵٪)، ۵) مناطق چادرنشین و عشایری (۵۴٪) و ۶) زمین‌های بایر و بدون استفاده (۱۰٪) تقسیم‌بندی کرد[۳].

مناطقی که دارای جنگل‌های انبوه هستند، به طور عموم کاربری صنعتی ندارند و ساکنین پراکنده دارند. مناطقی نیز که به صورت مرتع می‌باشند، دشت‌هایی با گیاهان فراوان هستند که محل چرای دام یا رویش گل‌های انبوه بوده یا علفزار به شمار می‌روند. ناحیه‌هایی که برای کشاورزی، کاشت گیاهان یا زراعت محصول استفاده می‌شوند، خود به دو بخش آبیاری

۱) Tennigkeit

[Downloaded from necjournals.ir on 2026-11-16]

شده و دیمی تقسیم می‌گردند (مزارع گندم، جو و برخی محصولات دیگر به صورت زراعت دیمی هستند). اما مناطق بیابانی یا کوهستانی وسیعی نیز در کشورمان وجود دارند که محل کوچ عشایر (و گاهی چرای دام) بوده یا روستاهای دورافتاده و شهرهای بیابانی در این مناطق گسترده شده‌اند. مناطق دیگری نیز مساحت کشور ما را شامل می شوند که به دلیل فقر شدید پوشش یا شرایط نامناسب آب و هوایی، به صورت بایر و بدون استفاده مانده‌اند. کویرها (به ویژه دشت کویر) و مناطق کوهستانی بسیار مرتفع از این دسته‌اند.در مورد توزیع گیاهان و پوشش گیاهی نیز می توان بخش‌های مختلف مزارع گندم، مزارع جو، کشتزارهای دیگر مانند برنج و چای، باغات، جنگل‌های انبوه، بیشه‌زارها، کوهستان‌ها و بیابان‌ها را در نظر گرفت.

تقسیم‌بندی جنگل‌های ایران

مهم‌ترین گونه از اراضی کشور که در این پژوهش مورد بررسی دقیق قرار می‌گیرند، جنگل‌ها هستند. جنگل‌های شاخص در ایران عبارتند از: جنگل‌های خزری، زاگرسی، ایران و تورانی و کرانه‌های خلیج فارس و دریای عمان [۶].

در کشور پهناور ایران، به دلیل پستی و بلندی‌های فراوان و اقلیم متنوع سه نوع از جنگل‌های پنج‌گانه دنیا وجود دارد. جنگل‌های شمال این کشور در حدود ۱۲ میلیون هکتار وسعت داشته و به طور کلی از این جنگل‌ها برداشت چوبی صورت می‌گیرد. اما در سایر جنگل‌ها، چوب برداشت نشده و کاربری آنها در راستای تولید محصولات فرعی و حفاظت از آب و خاک است. ارزش چوب جنگل‌های شمال کشور بالغ بر ۲۰۰ میلیارد ریال برآورد می‌شود که این میزان به غیر از ارزش‌های زیست محیطی آن است.

بر اساس آخرین آمار، مساحت کل جنگل‌های ایران (طبیعی و دست‌کاشت) حدود ۱۴/۲میلیون هکتار برآورد شده است که قریب به یک میلیون هکتار آن را جنگل‌های دست کاشت تشکیل می‌دهند [۶].در میان انواع جنگل‌های ایران، جنگل‌های انبوه به دلیل مسائل محیط زیستی قابلیت استفاده به عنوان مولد هیزم را ندارند، اما سایر انواع آنها به خصوص مواردی که محصولات و فواید کمتری دارند، جهت استحصال انرژی مورد توجه قرار می‌گیرند. شایان ذکر است که کوهستان‌ها نیز دارای پوشش گیاهی بوده ولی به دلیل مشکلات و سختی‌های دسترسی و نیز فقر نسبی گیاهان از اهمیت نسبی بسیار کمتری برخوردارند.

با توجه به مسائل مطرح شده به عنوان عواملی که برای کاشت درختان انرژی در یک منطقه انتظار می‌رود و مطالعات کتابخانه‌ای انجام شده [۱، ۵ و ۶]، مناطق عنوان شده در جدول شماره ۳ برای بهره‌برداری به عنوان سایت‌های نمونه جنگل‌کاری انرژی پیشنهاد می‌شوند.معیارهای انتخاب مکان مناسب برای جنگل‌کاری انرژی که در مطالعات انجام‌گرفته بیشتر بر آنها تأکید شده است، عبارتنداز: ۱) ارزش و تنوع گیاهان قابل کشت، ۲) هزینه گیاهان قابل کشت کمتر، ۳) شرایط خاک و آب و هوای مناسب، ۴) تناسب زیست محیطی و ۵) هزینه‌های جانبی (حمل و نقل، استحصال و ...).

[Downloaded from necjournals.ir on 2026-11-16]

جدول ۳ : مناطق انتخابی و دلایل انتخاب آنها

منطقه	استان	معیار انتخاب
حسن آباد	اصفهان	منطقه‌ای پست، با خاکی مرطوب و حاصل‌خیز در مجاورت باتلاق گاوخونی و در عین حال دارای زمین‌های کمتر استفاده شده
زرین شهر	اصفهان	منطقه‌ای نیمه‌کوهستانی و مناسب جهت کاشت درختانی با محتوای انرژی بالا مانند بلوط
دشت مغان	اردبیل	منطقه‌ای فوق حاصلخیز و دارای آب و هوایی مناسب برای کاشت درختان مخصوص انرژی
تنگ چنار	یزد	منطقه‌ای بایر و نیمه بیابانی که در حال تبدیل به کویر بوده و در طرح‌های جنگل‌های در دست کاشت جهت بیابان‌زدایی مورد توجه است
بیرجند	خراسان جنوبی	منطقه‌ای گرم و حاصلخیز برای کاشت برخی درختان قابل کشت
رادکان- چناران	خراسان رضوی	منطقه‌ای بسیار مطلوب با خاک مناسب برای کاشت انواع درختان انرژی

بررسی انواع پوشش‌های گیاهی

در این بخش، ابتدا انواع پوشش‌های گیاهی و درختان در دسترس مورد توجه قرار گرفته و ویژگی‌های هریک مورد بررسی قرار می‌گیرند. سپس، گیاهان مناسب و ممتاز قابل کشت برای بهره‌برداری به عنوان منبع انرژی انتخاب می‌گردند.گیاهان مناسب شناسایی شده در ایران به تفکیک نوع جنگل‌ها عبارتند از:

- مهمترین گونه‌های جنگل‌های خزر:راش-زبان گنجشک-آزاد-شمشاد-افرا-توسکا-زربین-سرخدار
- مهمترین گونه‌های جنگل‌های زاگرسی ایران:بلوط غرب-بنه-خنجک-بادام-پسته معمولی
- مهمترین گونه‌های جنگل‌های ارس:ارس-پیرو
- مهمترین گونه‌های جنگل‌های کویری:گز-تاغ
- مهمترین گونه‌های جنگل‌های گرمسیری:کنار-اکاسیا-خرما
- مهمترین گونه‌های جنگل‌های مانگرو:حرا-چندل

در میان انواع درختان موجود در کشور، درختان بلوط (زنده و سیاه)، صنوبر، سرو، افرا و اکالیپتوس قابلیت بیشتری برای اجرای این طرح دارند، زیرا نسبت به درختان و گیاهان دیگر ارزش حرارتی بیشتر (نسبت به قیمت)، قابلیت کشت وسیع‌تر و راحت‌تر و هزینه مناسبی دارند. در جدول شماره ۴ مشخصات این ۵ گونه که در دنیا نیز بیشتر مورد توجه قرار گرفته‌اند، منظور شده است:

[Downloaded from necjournals.ir on 2026-11-16]

جدول ٤ : مشخصات ۵ گونه گیاهی و درختی مناسب در دسترس

گیاه (ویا درخت)	ویژگی
بلوط	رشد در مناطق کوهستانی زاگرس
اکالیپتوس	سریع الرشد در مناطق باتلاقی و نیمه خشک
صنوبر	قابلیت رشد در مناطق مختلف
سرو	قابلیت حجم بالای کشت در منطقه کوچک
افرا	قابلیت حجم بالای کشت در منطقه کوچک

گیاهان مخصوص انرژی

علاوه بر گیاهان موجود در کشور، درختان و گیاهان مختلفی به منظور تولید زیست توده در نمونه‌های مختلف جهانی مورد استفاده قرار گرفته‌اند که دو گونه متداول از آنها موارد ذیل را شامل می‌شود[۴]:

بید انرژی[۱]: این گونه گیاهی دارای مزایای فراوانی برای کاشت به عنوان درخت انرژی است. رشد سریع، ارزش حرارتی مناسب (در حدود ۱۰/۴ گیگاژول بر تن) و نیاز نه چندان بالا به آب و هوا و خاک مناسب از مزایای بید انرژی بوده و البته حساسیت به سرما از جمله محدودیت‌های استفاده از آن است.

پاپلار[۲]: این گونه نیز از گونه‌های متداول و پربازده می‌باشد. ارزش حرارتی بسیار بالا (۱۵ گیگاژول بر تن)، نیاز کم به خاک غنی و قابلیت تطابق با محیط از ویژگی‌های مطلوب این درخت است.

با توجه به مناطق انتخاب‌شده برای کشت و نیز بررسی گیاهان در دسترس حال حاضر کشور که مناسب چنین طرحی هستند و نیز گیاهانی که در ادبیات به عنوان گیاهان مخصوص انرژی از آنها در کشورهای دیگر استفاده شده است، گیاهان مناسب برای هر منطقه در جدول شماره ۵ آورده شده است.

در این مرحله، به طور نمونه در هر یک از ۶ منطقه انتخابی، یکی از ۶ گیاه برتر شناسایی شده برای کشت اختصاص داده شد. گیاه صنوبر برای حسن آباد، بلوط برای زرین شهر، پاپلار برای دشت مغان، اکالیپتوس برای تنگ چنار، بید برای خراسان جنوبی و سرو برای رادکان و چناران در نظر گرفته شدند. این انتخاب‌ها بر اساس خصوصیات درختان و تناسب آن با هر اقلیم بر اساس جدول شماره ۴ بوده است. هر چند بید انرژی و پاپلار به لحاظ خصوصیات فنی برتری و ارجحیت دارند، لیکن به لحاظ قیمت نیز بالاتر بوده و لذا هر ۶ گیاه در این مطالعه مورد بررسی قرار گرفتند.

۱) Tennigkeit
۲) Poplar

[Downloaded from necjournals.ir on 2026-11-16]

جدول ۵ : گیاهان مناسب برای کشت در هر منطقه انتخابی

گیاهان مناسب	منطقه
اکالیپتوس – صنوبر – بید	حسن آباد اصفهان
بلوط - پاپلار	زرین شهر اصفهان
پاپلار – بید – سرو	دشت مغان اردبیل
پاپلار – اکالیپتوس	تنگ چنار یزد
سرو - بید- پاپلار	خراسان جنوبی
بید - سرو – صنوبر	رادکان–چناران خراسانرضوی

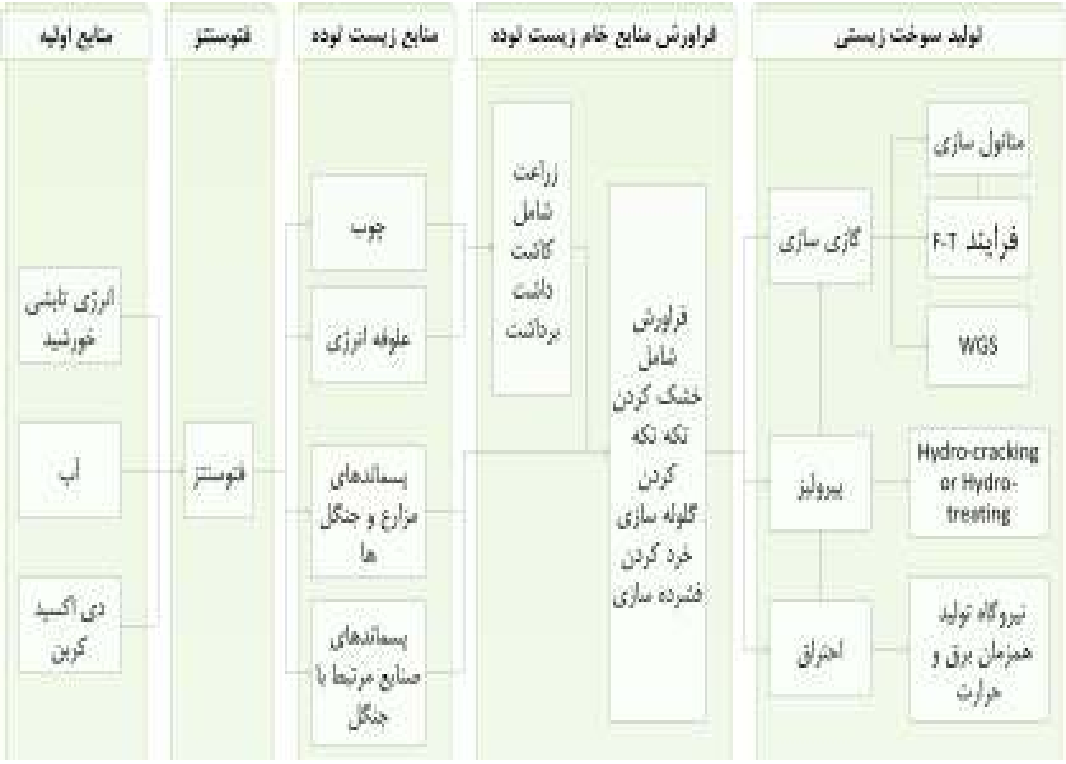
سیستم مرجع انرژی[۱]

به منظور اجرای تحلیل هزینه- فایده، سیستم مرجع انرژی بهره‌برداری از جنگل‌های انرژی طراحی گردیده است. در واقع، تحلیل انرژی در یک مجموعه مستلزم شناسایی حدود آن و اعمال قوانین اساسی مربوط بر آن است. اگر مجموعه مورد بررسی ساده باشد، انجام این کار به سادگی امکان‌پذیر است، ولی پیاده‌سازی آن در یک زنجیره از عرضه تا تقاضا که اغلب از تعداد زیادی از اجزا و واحدها تشکیل شده و ارتباط پیچیده‌ای میان این اجزا وجود دارد، بسیار مشکل است. برای اینکه بتوان چنین کاری را بدون اشتباه انجام داد، باید از یک روش سیستمی پیروی کرد. گام اول در اجرای چنین روشی، تشکیل سیستم مرجع انرژی است. به طور خلاصه، سیستم مرجع انرژی به مجموعه فرایندها، اجزا و جریان‌هایی اطلاق می‌شود که سبب می‌شوند انرژی از منابع اولیه به مصرف‌کنندگان نهایی برسد. هدف از این کار، شناسایی تمامی عوامل دخیل در جریان انرژی در زنجیره و نحوه ارتباط آنها با یکدیگر است. معمولاً اجزا و فرایندهایی در سیستم مرجع انرژی منظور می‌شوند که از دیدگاه انرژی حائز اهمیت باشند. سیستم مرجع انرژی را می‌توان به صورت یک نمودار بلوکی نمایش داد که در آن اجزا و جریان‌های مربوط به آنها نشان داده شده است.

شکل ۱ نمودار سیستم مرجع انرژی برای جنگل های انرژی را نشان می‌دهد. این نمودار شامل ۵ سطح مختلف انرژی از منبع تا تبدیل نهایی و ارتباط بین آنهاست. سطوح مختلف انرژی سیستم جنگل های انرژی در جدول شماره ۶ آورده شده است. این سطوح در نمودار مرجع انرژی این سیستم نیز نمایش داده شده است.

۱) Reference Energy System

[Downloaded from necjournals.ir on 2026-11-16]



شکل ۱: نمودار سیستم مرجع انرژی جنگل‌های انرژی

جدول ٦ : سطوح انرژی در نمودار مرجع انرژی جنگل های انرژی

ردیف	سطح انرژی
۱	منابع اولیه
۲	فتوسنتز
۳	منابع زیست توده
۴	فراورش منابع خام زیست توده
۵	تولید سوخت زیستی

منابع زیست توده‌ای که برای تولید انرژی در سیستم جنگل‌های انرژی به کار می‌روند، به دو گروه عمده تقسیم می‌گردند. یک گروه شامل چوب درختان و علوفه انرژی می‌شود که به منظور استحصال انرژی کاشته شده‌اند. اما دسته دوم به عنوان ضایعات و پسماندهای جنگل‌ها، مزارع و باغ‌های طبیعی و دست کاشت محسوب می‌شوند و درکنار گروه اول می‌توانند جهت استحصال انرژی مورد بهره‌برداری قرار گیرند.از بین روش‌های تبدیل اشاره شده، روش احتراق در این

[Downloaded from necjournals.ir on 2026-11-16]

مطالعه مورد بررسی قرار می‌گیرد. این انتخاب به این دلیل صورت گرفته است که روش سوزاندن یک روش کاملا تجاری شده[۱] است.البته، در بین روش‌های سوختن نیز احتراق همزمان بیشتر در کشورهایی مورد توجه قرار می‌گیرد که بستر بهره‌گیری از نیروگاه‌های زغال سنگ فراهم است و این در حالی است که در کشور ایران چنین شرایطی وجود ندارد. لذا روش سوزاندن مستقیم برای تحلیل هزینه- فایده مورد بررسی قرار می‌گیرد.

اثرات اجتماعی

در حوزه مسائل اجتماعی، منافع بهره‌برداری از جنگل‌های انرژی را در دو بعد منطقه‌ای و کلان می‌توان بررسی کرد. نتایج بررسی در جدول شماره ۷ ذکر شده است:

جدول ۷ : منافع اقتصادی- اجتماعی مربوط به جنگل‌های انرژی[۸]

ابعاد ارزیابی	منافع
منطقه‌ای	۱) افزایش استانداردهای زندگی - محیط زیست - سلامت و بهداشت - آموزش ۲) وفاق و تثبیت اجتماع - اثرات مربوط به مهاجرت و خالی شدن روستاها - توسعه منطقه‌ای و محلی - تنوع‌پذیری روستایی
سطح کلان	۱) رشد اقتصادی در سطح منطقه ۲) کاهش واردات و ایجاد پتانسیل برای صادرات

از بین مزایای اجتماعی ذکرشده، مهمترین عاملی که می‌توان مورد بررسی دقیق قرار داد، امکان خلق فرصت‌های شغلی است. به طور معمول، به ازای هر مگاوات تولید توان الکتریکی از نیروگاه‌های بیومس، خلق ۶ فرصت شغلی قابل تصور است (در سال ۲۰۰۳، در ایالت کالیفرنیا، ۳۶۰۰ شغل به طور مستقیم به منظور تولید ۵۸۸ مگاوات الکتریسیته از بیومس وجود داشته‌اند). جدول شماره ۸، مشاغل موجود در دو واحد ۵ و ۲۵ مگاواتی تولید الکتریسته از محصولات جنگل

۱) commercialized

[Downloaded from necjournals.ir on 2026-11-16]

را به طور جزئی نشان می‌دهد.

جدول ۸ : تعداد و عناوین مشاغل موجود در واحدهای تولید توان [۹]

سمت	تعداد در واحد ۵ مگاواتی	تعداد در واحد ۲۵ مگاواتی
مدیر واحد	۱	۱
قائم مقام	۱	۱
اپراتور	۸	۸
واحد سوخت	۲	۳
تعمیرات	۳	۳
اداری	۰/۵	۱
مجموع	۱۵/۵	۱۷

البته، اصلی‌ترین تمایز تولید انرژی از محصولات جنگل از نقطه نظر ایجاد اشتغال بیشتر، به واسطه تعداد زیاد افراد درگیر در فرایندهای مربوط به کاشت، داشت، برداشت، آماده‌سازی مقدماتی و حمل و نقل سوخت تا واحد مصرف‌کننده (لجستیک و زنجیره تأمین) است، به طوری که برای تأمین سوخت یک نیروگاه ۵ مگاواتی به تعداد ۱۸ شغل جدید در فرایند کاشت تا تحویل آن به نیروگاه نیاز می‌باشد. این میزان برای یک نیروگاه ۲۵ مگاواتی ۵۴ شغل است.

تحلیل اقتصادی

لازم به ذکر است که در شکست هزینه‌ها، توسعه این طرح از نظر ملی مورد نظر می‌باشد. به همین دلیل، هزینه زمین، مالیات و یارانه‌ها در نظر گرفته نشده‌اند. از طرفی، زمان بهره برداری از تأسیسات نیز برابر با طول عمر واحد فنی در نظر گرفته می‌شود. تمامی هزینه‌ها بر حسب قیمت‌های ثابت سال ۲۰۱۰ بوده و نرخ تورم بین‌المللی نیز برابر ۳/۵٪ در نظر گرفته شده است[۲]. تحلیل هزینه‌های مترتب در ساخت و اجرای واحدهای تولید انرژی مذکور، بر پایه این فرض اساسی بوده که این طرح نیز همانند سایر فناوری‌های تولید برق سه نوع از هزینه‌ها را در بردارد:

۱- هزینه‌های سرمایه‌گذاری اولیه

میزان این هزینه‌ها برای واحدهای ۵، ۲۵ و ۵۰ مگاواتی به ترتیب برابر با ۲۴۰۰، ۲۲۰۰ و ۲۱۰۰ دلار به ازای کیلووات توان الکتریکی خروجی واحد می‌باشند[۹]. همانطور که مشاهده می‌شود، هزینه‌های سرمایه‌ای اولیه، با افزایش ظرفیت واحد کاهش می‌یابند (بنابه اقتصاد معیار، عموماً با افزایش حجم تولید، میزان هزینه‌های متوسط کاهش می‌یابند). در ضمن، از نقطه نظر فنی هم با افزایش توان خروجی، میزان بازدهی سیستم‌های تبدیل انرژی نیز افزایش می‌یابد. البته، هزینه

[Downloaded from necjournals.ir on 2026-11-16]

سرمایه‌گذاری اولیه برای واحدهای تولید برق از منابع زیست توده، در مقایسه با سایر گزینه‌های تولید برق مانند فناوری توربین گازی، سیکل ترکیبی و نیروگاه ذغال‌سوز بیشتر است، درحالی که فناوری احتراق مستقیم از میزان پیچیدگی فناورانه بالاتری هم برخوردار نیست[۱۴].

۲- هزینه‌های ثابت عملیاتی و تعمیرات و نگهداری سالانه

این هزینه‌ها مشتمل بر تمامی هزینه‌های تعمیرات و نگهداری و پرسنلی بوده که مستقل از میزان دقیق خروجی واحد تولید برق است (جدول شماره ۹).

جدول ۹ : هزینه‌های ثابت عملیاتی و تعمیرات و نگهداری سالانه [۱۱،۱۳]

ظرفیت واحد (مگاوات)	هزینه‌ها ($/kW.yr)
۵	۹۴
۲۵	۸۴
۵۰	۷۴

۳- هزینه‌های متغیر عملیاتی و تعمیرات و نگهداری سالانه

بخش اعظم این هزینه‌ها مربوط به هزینه تأمین سوخت واحد تولید توان بوده که شامل هزینه‌های کاشت، داشت، برداشت، هزینه‌های حمل و نقل در محل، هزینه‌های حمل و نقل تا محل نیروگاه و نهایتاً هزینه‌های آماده‌سازی محصولات به منظور فرایند احتراق و تولید حرارت می‌گردد. بر اساس مطالعات انجام شده برای کشورهای اروپای شرقی مانند لهستان و رومانی و تخمین‌های انجام شده، نزدیک‌ترین میزان هزینه‌های تمام شده مربوط به تأمین سوخت برای گونه‌های منتخب برای کشور به شرح جدول ۱۰ می‌باشند:

جدول ۱۰: قیمت تمام شده سوخت تحویلی به نیروگاه[۱٤]

نام گونه	قیمت واحد تناژ سبز تحویلی به نیروگاه ($/GT)
پاپلار	۷۹
بید انرژی	۵۴
بلوط	۵۱

در جدول شماره۱۱، مقایسه هزینه همترازی این گزینه با سایر موارد با فرض نرخ تنزیل برابر با ۱۹٪ نشان داده شده است [۲]. همانطور که ملاحظه می‌شود، هزینه همتراز شده تولید الکتریسیته از محصولات جنگل، نسبتاً بالا می‌باشد. در

[Downloaded from necjournals.ir on 2026-11-16]

عین حال، این مقدار با بالا رفتن ظرفیت واحد تولیدی کاهش می‌یابد.

جدول ۱۱ : هزینه همترازی[۱] گزینه‌های متداول تولید توان الکتریکی با قیمت نفت بشکه‌ای ۹۰ دلار [از نتایج پژوهش[۲]]

فناوری		هزینه همترازی (¢/kWh)
هسته‌ای		۱۲/۹
بخاری	گاز طبیعی	۱۴/۵
	زغال‌سوز	۱۳/۹
سیکل ترکیبی (گاز طبیعی)		۱۱/۴
توربین گازی (گاز طبیعی)		۱۶/۲
فتوولتائیک		۲۰/۶
تولید ۵۰ مگاوات الکتریسیته از محصولات جنگل (میانگین)		۱۵/۱

نتیجه گیری

در این مقاله، ضمن مرور بر اقدامات صورت گرفته در ارتباط با تولید انرژی از منابع و محصولات جنگل به کمک مطالعات وسیع کتابخانه‌ای، مناطق مناسب و مستعد کشور به منظور کشت گونه‌های رایج جهت تولید انرژی شناسایی گشته و پاره‌ای از ابعاد اقتصادی و اجتماعی ناشی از اجرای طرح، مورد بررسی و تحلیل قرار گرفتند. نتایج اولیه حاکی از بیشتر بودن هزینه همتراز شده تولید الکتریسیته از جنگل‌های انرژی در ایران است، اما اقتصادی شدن این طرح زمانی اهمیت می‌یابد که میزان هزینه انتشار گازهای گلخانه‌ای در حالت تولید توان از منابع فسیلی مورد توجه قرار گیرد. عواملی دیگری چون امنیت انرژی در مورد کشورهای وارد کننده عمده انرژی نیز قابل توجه است.

لازم به ذکر است که این مطالعه می‌تواند به عنوان سنگ بنای توسعه جنگل‌های تولید انرژی، مد نظر قرار گیرد. با توجه به مطالعات نگارندگان مقاله حین مطالعه بر ادبیات موضوع، موارد ذیل می‌توانند برای کارهای آینده مدنظر قرار گیرند:

۱) گنجاندن و امکان‌سنجی استفاده از سایر گزینه‌های استخراج انرژی از منابع زیست‌توده حاصل از محصولات جنگل مانند تولید همزمان برق و حرارت و گازی‌کننده

۲) توسعه سیستم مرجع انرژی با در نظر گرفتن ذخیره کربن در یک دوره در محصولات جنگل و آزادسازی آن در دوره‌های آتی و تبیین الگوریتم مدل‌سازی چرخه زمانی کربن

۳) توسعه کدهای بهینه‌یابی به منظور شناسایی بهترین گزینه از میان مناطق مستعد و گیاهان قابل کشت، محل‌های بهینه برای احداث نیروگاه‌ها، مسیرها و فناوری‌های بهینه انتقال محصولات جنگل و غیره

---

۱) طبق تعریف، هزینه همتراز به صورت هزینه یکسان در نقاط زمانی مختلف در طول عمر خدماتی سیستم تعریف می‌شود. مبنای محاسبه هزینه همتراز این است که ارزش کنونی کل هزینه سیستم، برابر با جمع ارزش کنونی کل هزینه‌های همتراز شده در طول عمر خدماتی در نظر گرفته می‌شود.

۲) طبق قانون هدفمندی یارانه‌های انرژی دولت بایستی تا سال ۱۳۹۵ قیمت سوخت‌های فسیلی را به ۹۰٪ قیمت آنها در خلیج فارس برساند. بنابراین، از قیمت‌های بین‌المللی برای محاسبه قیمت سوخت‌های مصرفی بخش نیروگاهی استفاده شده است.

[Downloaded from necjournals.ir on 2026-11-16]

۴) وارد نمودن رقابت بین کشاورزی و جنگل‌کاری در مدل‌های بهینه‌یاب

فهرست علائم

A	مساحت، m^2
¢	سنت
Cord	واحد حجم، معادل ۳.۶۲ متر مکعب
GT	تناژ سبز، برای محصولات جنگل استفاده می‌شود.

مراجع

[۱] پایگاه اداره منابع طبیعی و آبخیزداری کل کشور. (۱۳۹۱)، دسترسی در < http://www.frw.org.ir>

[۲] پایگاه بانک مرکزی جمهوری اسلامی ایران. (۱۳۹۱)، دسترسی در <http://www.cbi.ir>

[۳] پایگاه ملی داده‌های علوم زمین کشور. (۱۳۹۱)، دسترسی در <http://www.ngdir.ir/geography/PGeography.asp>

[۴] جعفری، عباس. (۱۳۸۴)، گیتاشناسی ایران: دایره المعارف جغرافیایی ایران. مؤسسه جغرافیایی و کارتوگرافی گیتاشناسی، تهران.

[۵] کمیته مطالعات توسعه پایدار و حفظ محیط زیست. (۱۳۸۷)، چشم انداز توسعه انرژیهای تجدیدپذیر، تهران.

[۶] لئونارد، ژ. (۱۳۸۰)، نگرشی بر فلور و پوشش گیاهی بیابانهای ایران، قربان‌لی، مه لقا. چاپ دوم. وزارت جهادکشاورزی، موسسه تحقیقات جنگل‌ها و مراتع، تهران.

[۷] FAO, (۲۰۰۸) Forests and energy. Food and Agriculture Organization of the United Nations. Rome, Italy.

[۸] IEA, (۲۰۰۰) Modeling Socio-Economic Aspects of Bio-energy Systems: A survey prepared for IEA Bio-energy Task ۲۹, IEA Bio-energy, July ۲۰۰۰.

[۹] Oregon Department of Energy, (۲۰۰۳). Biomass resource assessment and utilization options for three counties in Eastern Oregon. International Energy Agency, Oregon.

[۱۰] Tennigkeit, T., Kallweit, K., Bucholz, T., (۲۰۰۶)Decentralized rural electricity production from energy forests. Unique forestry consultants, Freiburg, Germany.

[۱۱] Stańczyk, K., Ludwik M., (۲۰۰۳)Energy forest development on areas in Central –Eastern Europe, where the agricultural production is uneconomical. Central Mining Institute, Katowice, Poland.

[۱۲] Timmons, D., Damery, D., Allen, G., (۲۰۰۷)Energy from forest biomass: potential economic impacts in Massachusetts. University of Massachusetts, Department of Resource Economics.

[Downloaded from necjournals.ir on 2026-11-16]

[۱۳] UNECE/FAO. (۲۰۰۶)Forest Products Annual Market Review, ۲۰۰۵-۲۰۰۶. Geneva, Switzerland.

[۱۴] W. Short, D. Packey and T. Holt, (۱۹۹۵)A Manual for the Economic Evaluation of Energy Efficiency and Renewable Energy Technologies (NREL/TP/۴۶۲ ۵۱۷۳, Mar ۱۹۹۵).

[Downloaded from necjournals.ir on 2026-11-16]