نشریه مباحث برگزیده در انرژی، دوره ۴، شماره ۲، سال ۱۴۰۲، صفحات ۴۷ تا ۵۸

مقاله پژوهشی

معرفی نرم‌افزار تخصصی تحلیل اقتصادی نیروگاه‌های زیست‌توده در ایران (BIO-ECO)

ثریا رستمی[۱]، الهه منصوری[۲]، زهرا عباسی[۳*]

۱- پژوهشگر گروه انرژی‌های تجدیدپذیر، پژوهشگاه نیرو، تهران، ایران
۲- دکتری، دانشکده مهندسی و علم مواد، دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی، تهران، ایران
۳- استادیار پژوهشگاه توسعه فناوری‌های پیشرفته، تهران، ایران
* نویسنده مسئول: abbasi@rcdat.ir

دریافت: ۱۴۰۴/۰۹/۱۷ پذیرش: ۱۴۰۵/۰۴/۲۳

چکیده

انرژی زیست‌توده، حاصل از تبدیل پسماندها و بقایای آلی موجودات زنده، به دلیل دسترسی گسترده به منابع و ظرفیت بالای تولید انرژی، یکی از مهم‌ترین منابع انرژی تجدیدپذیر پس از انرژی خورشیدی به شمار می‌رود. با وجود ظرفیت قابل‌توجه این منبع در ایران، توسعه نیروگاه‌های زیست‌توده با چالش‌هایی نظیر پیچیدگی فرآیندهای قانونی، الزامات اجرایی و نبود ابزارهای بومی برای ارزیابی اقتصادی پروژه‌ها مواجه است. هدف این پژوهش، بررسی چارچوب‌های قانونی، فرآیندهای اخذ مجوز و مراحل احداث نیروگاه‌های زیست‌توده در ایران و ارائه یک ابزار بومی برای ارزیابی اقتصادی این نیروگاه‌ها است. بدین منظور، با استناد به قوانین، مقررات و سیاست‌های حاکم بر سرمایه‌گذاری در حوزه انرژی‌های تجدیدپذیر، نرم‌افزار BIO-ECO برای ارزیابی اقتصادی نیروگاه‌های زیست‌توده توسعه یافته است. این نرم‌افزار با تلفیق الزامات قانونی و مدل‌های تحلیل اقتصادی، امکان ارزیابی جامع امکان‌سنجی اقتصادی پروژه‌ها را متناسب با شرایط، ضوابط و فرآیندهای اجرایی ایران فراهم می‌کند. نرم‌افزار BIO-ECO در قالب پروژه «تهیه نرم‌افزار ارزیابی اقتصادی نیروگاه‌های خورشیدی، زیست‌توده و زمین‌گرمایی در ایران» در پژوهشگاه نیرو طراحی و پیاده‌سازی شده است. نوآوری اصلی این پژوهش، توسعه یک نرم‌افزار بومی برای ارزیابی اقتصادی نیروگاه‌های زیست‌توده است که با یکپارچه‌سازی الزامات قانونی و تحلیل‌های اقتصادی، امکان ارزیابی دقیق‌تر پروژه‌ها را متناسب با شرایط ایران فراهم می‌کند. این نرم‌افزار می‌تواند فرآیند برنامه‌ریزی و سرمایه‌گذاری را تسهیل کرده و به‌عنوان ابزاری کاربردی در اختیار سیاست‌گذاران، سرمایه‌گذاران و توسعه‌دهندگان پروژه‌های نیروگاه زیست‌توده قرار گیرد.

کلید واژگان: نیروگاه زیست توده، ارزیابی اقتصادی، انرژی تجدیدپذیر.

Introducing specialized software for economic analysis of biomass power plants in Iran (BIO-ECO)

Soraya Rostami[1], Elahe Mansouri[2], Zahra Abbasi[3*]

1- Researcher, Renewable Energy Research Group, Niroo Research Institute, Tehran, Iran
2- Ph.D., Faculty of Materials Engineering and Science, K. N. Toosi University of Technology, Tehran, Iran
3- Assistant professor, Research Center for Development of Advanced Technologies, Tehran, Iran
*Corresponding author: abbasi@rcdat.ir

Received: 08-12-2025 Accepted: 14-07-2026

Abstract

Biomass energy, generated from organic waste and residues produced by living organisms, is recognized as one of the most promising renewable energy resources after solar energy due to its considerable energy potential. The regulatory framework governing the development, construction, and operation of renewable power plants plays a crucial role in reducing investment risks and promoting the deployment of sustainable energy systems. This paper provides an overview of the current regulations, licensing procedures, and implementation process for biomass power plants in Iran. Furthermore, based on the existing legal and regulatory framework, a localized software package, BIO-ECO, has been developed to perform the economic assessment of biomass power plants. The software was developed as part of the research project entitled "Development of Economic Assessment Software for Solar, Biomass, and Geothermal Power Plants in Iran" conducted at the Niroo Research Institute. BIO-ECO provides a practical and localized platform for evaluating the economic feasibility of biomass power projects in accordance with Iranian regulations and administrative procedure. Thereby can support investors, developers, and decision-makers in planning and investment activities.

Keywords: Biomass power plant, economic evaluation, renewable energy.

[Downloaded from yujs.yu.ac.ir on 2026-11-10]

۱- مقدمه

منابع زیست‌توده در سه حوزه می‌توانند به تأمین انرژی مورد نیاز، کمک کنند. اولین مورد که عمده‌ترین کاربرد امروزه این منابع نیز هست تولید مستقیم گرمایش می‌باشد. به علاوه این منابع می‌توانند به‌عنوان سوخت در حمل‌ونقل راهگشا باشند و مورد دیگری که شاید مهم‌ترین مورد در آینده‌ی این صنعت نیز باشد، تولید برق مستقیم و پاک از این منابع است. بنابراین منابع انرژی زیست‌توده می‌توانند به شکل اصلی انرژی مانند برق و گرما و یا حامل‌های انرژی چون سوخت‌های گازی و مایع، نیازهای بخش‌های مختلف در جامعه بشری را تأمین کند که این موضوع وجه تمایز مباحث انرژی زیست‌توده نسبت به سایر انرژی‌های تجدیدپذیر است. همچنین دامنه مصرف‌کنندگان زیست‌توده بسیار گسترده است. به عنوان مثال از خانوارهای کوچک به خصوص در نواحی روستایی و رستوران‌ها شروع شده و تا واحدهای کوچک، متوسط و بزرگ صنعتی و تجاری ادامه پیدا می‌کند.

به‌منظور توسعه و نصب نیروگاه‌های زیست‌توده، در گام اول باید تمامی بندهای قانونی و اجرایی مرتبط با این نیروگاه‌ها را جستجو کرده و با مطالعه دقیق آن‌ها، الزامات و قیود مرتبط با توسعه این نیروگاه‌ها را شناسایی کرد. اطلاعات کامل در خصوص مقتضیات دریافت مجوزها، الزامات قانونی و مقررات نیروگاه زیست‌توده در ایران از نگاه سازمان ساتبا، قوانین زیست محیطی، قوانین شبکه جهت اتصال نیروگاه‌های زیست‌توده، الزامات و قوانین گمرکی و ترخیص کالا، الزامات و قوانین مالیاتی خرید و بهره‌برداری از نیروگاه‌های زیست‌توده، قوانین سرمایه‌گذاری خارجی و استانداردهای داخلی و بین‌المللی، هزینه‌ها و درآمدهای نگهداری نظیر بیمه، ارزش صرفه‌جویی سوخت، کاهش انتشار آلاینده‌ها و همچنین اثرات تحریم‌های فعلی بر این نیروگاه‌ها در کشور، در گزارش‌های مرتبط با نیروگاه‌های زیست‌توده پژوهشگاه نیرو گردآوری شده است [۱-۳].

ارزیابی اقتصادی نیروگاه‌های تجدیدپذیر یکی از موضوعات حائز اهمیت در زمینه انرژی‌های پاک است. بوغلان دشتی [۴] بر مبنای میزان زباله‌های دفن شده در دفنگاه زباله‌های شهر شیراز به بررسی فنی در خصوص میزان گازدهی حاصل از دفنگاه، انرژی الکتریکی قابل استحصال و میزان انرژی الکتریکی قابل دسترس پرداخته است. همچنین بررسی‌های اقتصادی احداث پایلوت و میزان هزینه تولید انرژی الکتریکی (ریال بر کیلووات ساعت) نیز انجام شده است. احمدی [۵] امکان‌سنجی احداث یک نیروگاه برق با سوخت زباله‌های شهری در تهران را به صورت مطالعه‌ی موردی بررسی کرده و به ارزیابی مالی، اقتصادی و زیست‌محیطی اجرای این پروژه پرداخته است. نتایج ارزیابی نشان داد که طرح، حتماً دارای توجیه زیست‌محیطی است اما اگر شهرداری و دولت یارانه‌ای در زمینه‌ی تأمین هزینه‌ی جمع‌آوری و یا فروش زباله به بخش خصوصی ندهند، طرح، توجیه اقتصادی نخواهد داشت. برزگر و همکاران [۶] یک تن زباله شهر آمل را از نظر خواص فیزیکی و شیمیایی مورد آنالیز قرار داده و امکان‌سنجی فنی و اقتصادی احداث نیروگاه زباله‌سوز بر پایه زائدات جامد شهری را بررسی کردند. نتایج این تحقیق نشان داد که رطوبت بالای زباله‌ی شهر آمل باعث کاهش ارزش حرارتی آن می‌شود. رضایی و همکاران [۷] با مطالعه و مصاحبه با متخصصان و بررسی عکس‌های توپوگرافی چهار مکان پیشنهادی و انجام ارزیابی زیست‌محیطی به روش چک‌لیست و ماتریس، محل مناسب برای استقرار نیروگاه زباله‌سوز در شهر تنکابن را تعیین کردند. همچنین با امکان‌سنجی فنی و اقتصادی احداث نیروگاه زباله‌سوز بر پایه‌ی زائدات جامد شهری در شهر تنکابن، پیشنهادهایی جهت راهبری صحیح ارائه دادند. امیری و نجفی [۸] روش‌های تعیین کیفیت سوخت زیست‌توده از جمله آنالیزهای دستگاهی و استفاده از نرم‌افزار فایرکد برای نمونه ساقه‌ی پنبه را بررسی کرده و مقدار آلاینده‌های تولیدی و پارامترهای احتراقی آن را بدست آوردند.

در این مقاله، ابتدا نیروگاه‌های زیست‌توده، فناوری‌های متداول تبدیل زیست‌توده به انرژی و فرآیند تولید انرژی در این نیروگاه‌ها معرفی می‌شوند. سپس مروری بر مهم‌ترین قوانین، مقررات و فرآیندهای اجرایی مرتبط با احداث و بهره‌برداری از نیروگاه‌های زیست‌توده در ایران ارائه شده و سازمان‌های مسئول در صدور مجوزها و الزامات قانونی معرفی می‌شوند. در ادامه، نرم‌افزارهای موجود در زمینه‌ی ارزیابی اقتصادی پروژه‌های زیست‌توده از نظر قابلیت‌ها، ویژگی‌ها و محدودیت‌ها بررسی شده و ضرورت توسعه‌ی یک ابزار بومی برای شرایط ایران تبیین می‌شود. پس از آن، نرم‌افزار تخصصی BIO-ECO به‌عنوان یک ابزار بومی برای ارزیابی اقتصادی نیروگاه‌های زیست‌توده معرفی شده و ساختار، قابلیت‌ها، بخش‌های مختلف و ویژگی‌های آن تشریح می‌شود. در پایان نیز مهم‌ترین دستاوردهای پژوهش جمع‌بندی شده و مزایا و کاربردهای نرم‌افزار در حمایت از سرمایه‌گذاران،

[Downloaded from yujs.yu.ac.ir on 2026-11-10]

توسعه‌دهندگان و سیاست‌گذاران حوزه انرژی‌های تجدیدپذیر مورد بحث قرار می‌گیرد.

۲- معرفی نیروگاه‌های زیست‌توده و فرآیند تولید انرژی

زیست‌توده[1] به کلیه مواد آلی با منشأ گیاهی، جانوری یا پسماندهای آلی اطلاق می‌شود که قابلیت تبدیل به انرژی را دارند. این منابع شامل بقایای محصولات کشاورزی، ضایعات صنایع چوب و کاغذ، پسماندهای شهری، لجن فاضلاب، فضولات دامی و پسماندهای صنایع غذایی هستند. برخلاف سوخت‌های فسیلی، زیست‌توده یک منبع انرژی تجدیدپذیر محسوب می‌شود که در صورت مدیریت صحیح، می‌تواند ضمن کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای، به مدیریت پسماندها و افزایش امنیت انرژی نیز کمک کند.

نیروگاه زیست‌توده مجموعه‌ای از تجهیزات و سامانه‌ها است که انرژی شیمیایی ذخیره‌شده در مواد آلی را به انرژی الکتریکی و در برخی موارد انرژی حرارتی تبدیل می‌کند. انتخاب فناوری تبدیل انرژی به نوع و ویژگی‌های زیست‌توده، میزان رطوبت، ارزش حرارتی و مقیاس نیروگاه بستگی دارد. به طور کلی، فناوری‌های تبدیل زیست‌توده به چهار گروه اصلی شامل احتراق مستقیم[2]، گازی‌سازی[3]، پیرولیز[4] و هضم بی‌هوازی[5] تقسیم می‌شوند.

در نیروگاه‌های مبتنی بر احتراق مستقیم، زیست‌توده پس از جمع‌آوری، آماده‌سازی و در صورت نیاز خشک‌سازی، در دیگ بخار سوزانده می‌شود. حرارت حاصل، آب را به بخار با فشار و دمای بالا تبدیل می‌کند. بخار تولیدشده وارد توربین بخار شده و با به حرکت درآوردن آن، ژنراتور را به گردش درمی‌آورد و انرژی الکتریکی تولید می‌شود. پس از خروج از توربین، بخار در کندانسور به آب تبدیل شده و مجدداً به دیگ بخار بازگردانده می‌شود تا چرخه تولید انرژی ادامه یابد [۹].

در فناوری هضم بی‌هوازی، مواد آلی مرطوب مانند فضولات دامی، لجن فاضلاب و پسماندهای آلی شهری در محیطی فاقد اکسیژن توسط میکروارگانیسم‌ها تجزیه شده و گاز زیستی[6] تولید می‌شود. گاز زیستی عمدتاً از متان و دی‌اکسیدکربن تشکیل شده و پس از پالایش، در موتورهای گازسوز یا توربین‌های گازی برای تولید برق و حرارت استفاده می‌گردد. این فناوری علاوه بر تولید انرژی، موجب کاهش آلودگی‌های زیست‌محیطی و تولید کود آلی نیز می‌شود [۱۰].

در فناوری‌های گازی‌سازی و پیرولیز نیز زیست‌توده در شرایط کنترل‌شده دما و میزان اکسیژن به گاز سنتزی، روغن زیستی و زغال زیستی تبدیل می‌شود که بسته به نوع فرآیند می‌توان از آن‌ها برای تولید برق، حرارت یا سوخت‌های مایع استفاده کرد. در سال‌های اخیر، توسعه این فناوری‌ها به دلیل راندمان بالاتر، کاهش آلاینده‌ها و امکان استفاده از طیف وسیعی از پسماندهای آلی مورد توجه قرار گرفته است [۱۱].

به دلیل تنوع منابع زیست‌توده و انعطاف‌پذیری فناوری‌های تبدیل، نیروگاه‌های زیست‌توده نقش مهمی در توسعه پایدار، مدیریت پسماند، کاهش وابستگی به سوخت‌های فسیلی و دستیابی به اهداف کاهش انتشار کربن ایفا می‌کنند. ازاین‌رو، ارزیابی دقیق فنی، اقتصادی و قانونی این نیروگاه‌ها پیش از سرمایه‌گذاری از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است.

۳- مرور قوانین کلی احداث و بهره برداری از نیروگاه زیست‌توده

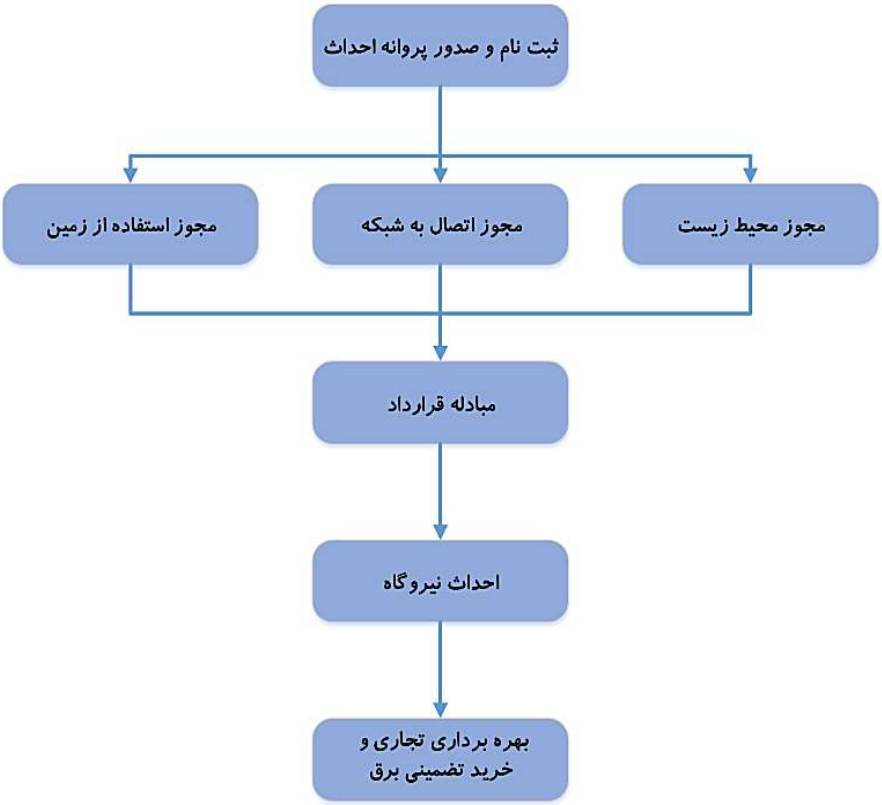
اقدام برای صدور پروانه احداث، اولین مرحله‌ی کاری متقاضیان احداث نیروگاه‌های تجدیدپذیر غیردولتی است. در این راستا ابتدا درخواست کتبی به انضمام مستندات لازم نظیر اساسنامه، روزنامه رسمی و آگهی تغییرات ثبتی شرکت و مختصات سایت و ... را به همراه فرمهای تکمیل شده که در سایت ساتبا (سازمان انرژی‌های تجدیدپذیر و بهره‌وری انرژی برق) موجود هستند به این سازمان ارسال می‌شود تا پروانه احداث برای ظرفیت مشخص در ساختگاه معین حداکثر در زمان یک هفته صادر گردد.

پس از دریافت پروانه احداث، سرمایه‌گذار آن را به همراه معرفی‌نامه به سازمانهای مختلف مربوطه جهت دریافت مجوز از ایشان ارائه می‌نماید. با اخذ مجوزهای لازم نظیر مجوز محیط‌زیست، اتصال به شبکه و زمین و سایر مجوزهای اختصاصی هر نیروگاه قرارداد خرید برق بلندمدت با متقاضی مبادله خواهد شد تا متقاضی عملیات اجرایی دوره احداث نیروگاه را آغاز نماید. شکل ۱ روند کلی درخواست و صدور مجوز نیروگاه زیست‌توده را نشان می‌دهد [۱۲].

تولید انرژی از زباله، با هدف دفع بهداشتی یکی از اصلی‌ترین رویکردهای هر دولتی است. از این رو شهرداری‌ها یکی از پایه‌های اصلی احداث نیروگاه‌های تجدیدپذیر مبتنی بر زباله‌های شهری به‌حساب می‌آیند.

[1] Biomass
[2] Direct Combustion
[3] Gasification
[4] Pyrolysis
[5] Anaerobic Digestion
[6] Biogas

[Downloaded from yujs.yu.ac.ir on 2026-11-10]



شکل ۱- روند کلی درخواست و صدور مجوز نیروگاه زیست‌توده [۱۲].

به عبارتی دفع زباله در حوزه کاری شهرداری‌ها انجام می‌شود و برق، محصول جانبی آن است. در واقع شهرداری با همکاری سازمان اراضی و اداره محیط‌زیست و اداره بهداشت نقش مشخص‌کننده‌ای در خصوص مجوزهای نیروگاه‌های زیست‌توده و محل دفن پسماندها دارد. همچنین تحویل پسماند مورد نیاز نیروگاه غیر دولتی به‌صورت رایگان و توسط شهرداری انجام می‌شود. به استناد ماده ۱۲ قانون مدیریت پسماندها مصوب سال ۱۳۸۳، محل دفن پسماندها بر اساس ضوابط زیست محیطی توسط وزارت کشور با هماهنگی سازمان محیط زیست و وزارت جهاد کشاورزی تعیین خواهد شد. بر این اساس رعایت مفاد این قانون و آیین‌نامه اجرایی قانون مدیریت پسماندها (تصویب‌نامه شماره ۲۸۴۸۸/ت۳۲۵۶۱ه مورخ ۸۴/۵/۱۰ هیئت‌وزیران) ناظر بر واگذاری اراضی دولتی به شهرداری‌ها بوده و حسب مورد محل‌های دفع شده پسماند در صورت لزوم، با اجرای مفاد قانون نحوه خرید و تملک اراضی در اختیار مدیریت‌های اجرایی پسماندها قرارگرفته تا ضوابط مربوط بهره‌برداری گردد [۱۲].

پس از دریافت این مجوزها، قرارداد خرید بلندمدت برق به‌منظور شروع عملیات احداث نیروگاه مبادله می‌گردد. از زمان انعقاد قرارداد تا حداکثر ۳۰ ماه، مدت زمان احداث برای انواع نیروگاه‌های زیست‌توده است. در صورت تأخیر، دلایل می‌بایست بررسی گردند و در صورت موجه بودن تأخیر مجدداً زمان در اختیار سرمایه گذار قرار خواهد گرفت.

مصوبه اصلی در راستای تعیین "تعرفه خرید برق نیروگاه‌های تجدیدپذیر در سال ۱۳۹۵" به تصویب رسیده است. در نیمه دوم سال ۱۳۹۸ با توجه به شرایط اقتصادی کشور و به منظور حداکثرسازی ضریب تحقق مزایای تولید برق از منابع تجدیدپذیر و نیز افزایش رقابت‌پذیری در زنجیره صنعت برق تجدیدپذیر، افزایش تعرفه‌های خرید تضمینی برق از سوی وزیر نیرو مطابق مصوبه "تعیین ضوابط تضمین خرید انرژی برق تولیدی نیروگاه‌های تجدیدپذیر و پاک" اعلان و ابلاغ گردید. قیمت و نحوه خرید برق از نیروگاه‌های تجدیدپذیر و نیروگاه‌های زیست‌توده بنا بر تغییرات ایجاد شده در مصوبه دوم در سال ۱۳۹۸، تعیین می‌شود. بر اساس این مصوبه، نرخ پایه خرید تضمینی برق برای نیروگاه‌های

[Downloaded from yujs.yu.ac.ir on 2026-11-10]

زیست‌توده لندفیل ۴۰۵۰، فرایندهای زیستی مانند هاضم بیهوازی ۵۲۵۰، کلیه فرایندهای حرارتی از جمله زباله‌سوز و گازی‌ساز ۵۵۵۰ ریال بر کیلووات ساعت در نظر گرفته شده است. قراردادهای خرید تضمینی برق از نیروگاه زیست‌توده برای یک دوره بیست‌ساله است، که بر اساس ضریب تعدیل معرفی شده در طی سال‌های قرارداد تعدیل می‌شود. میزان افزایش در نظر گرفته شده برای تعرفه فروش برق انرژی‌های تجدیدپذیر قابل ملاحظه است و در مورد نیروگاه‌های زیست-توده ۵۰٪ افزایش تعرفه اتفاق افتاده است. لازم به توضیح است بر طبق قوانین ساتبا تعرفه خرید برق تضمینی هرساله در ضریب تعدیلی که بر اساس تورم ارزی و ریالی استخراج می‌گردد ضرب می‌شود. همچنین بر طبق قوانین ساتبا پس از سال دهم این تعرفه در ضریب ۰/۷ ضرب خواهد شد. به‌منظور رفع مشکلات زیست‌محیطی در استان‌های ساحلی و کلان‌شهرها، نرخ پایه خرید تضمینی برق از فناوری‌های زیست‌توده دو برابر تعیین می‌گردد. در خصوص قوانین مالیاتی و استهلاک، به منظور حمایت و تشویق سرمایه گذاران، قوانین حمایتی وضع شده است. به عنوان مثال روش محاسبه استهلاک مطابق با جداول استهلاکات مالیاتی موضوع ماده ۱۴۹ اصلاحی قانون مالیات‌های مستقیم مصوب ۱۳۹۴/۴/۳۱ است که به صورت روش استهلاک خطی و قابلیت درج دو برابری مبلغ استهلاک برای نیروگاه‌های تجدیدپذیر می‌باشد. همچنین در مورد مالیات، بر طبق ماده ۱۳۲ قانون مالیات‌های مستقیم، درآمد مشمول مالیات ناشی از فعالیت‌های تولیدی و معدنی در واحدهای تولیدی یا معدنی در بخش‌های تعاونی و خصوصی که از اول سال ۱۳۸۱ به بعد از طرف وزارتخانه‌های ذیربط برای آن‌ها پروانه بهره‌برداری صادر یا قرارداد استخراج و فروش منعقد می‌شود، از تاریخ شروع بهره‌برداری یا استخراج به میزان هشتاد درصد (۸۰٪) و به مدت چهار سال و در مناطق کمتر توسعه یافته به میزان صد در صد (۱۰۰٪) و به مدت ده سال از مالیات موضوع ماده (۱۰۵) این قانون معاف هستند [۱].

۴- مروری بر نرم‌افزارهای ارزیابی اقتصادی نیروگاه‌های زیست‌توده

با توسعه فناوری‌های انرژی‌های تجدیدپذیر، نرم‌افزارهای متعددی برای امکان‌سنجی فنی، اقتصادی و زیست‌محیطی پروژه‌های تولید انرژی توسعه یافته‌اند. این نرم‌افزارها به سرمایه‌گذاران و تصمیم‌گیرندگان کمک می‌کنند تا با تحلیل شاخص‌هایی نظیر ارزش فعلی خالص (NPV)، نرخ بازده داخلی (IRR)، دوره بازگشت سرمایه[1]، هزینه تولید انرژی (LCOE) و تحلیل حساسیت، درباره اجرای پروژه تصمیم‌گیری کنند. با این حال، اغلب این نرم‌افزارها برای شرایط عمومی بازارهای بین‌المللی توسعه یافته‌اند و امکان لحاظ کامل قوانین، فرآیندهای اداری، سیاست‌های حمایتی و ساختار اقتصادی کشورهای مختلف را ندارند.

یکی از شناخته‌شده‌ترین نرم‌افزارهای این حوزه، RETScreen Expert است که توسط دولت کانادا توسعه یافته و قابلیت ارزیابی فنی، اقتصادی، مالی و زیست‌محیطی انواع پروژه‌های انرژی تجدیدپذیر را فراهم می‌کند. این نرم‌افزار دارای بانک اطلاعاتی گسترده اقلیمی و فناوری بوده و ابزارهای مناسبی برای تحلیل حساسیت، تحلیل ریسک و کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای در اختیار کاربران قرار می‌دهد. با وجود این، RETScreen اطلاعات مربوط به تعرفه‌های خرید تضمینی، قوانین مالیاتی، فرآیندهای اخذ مجوز و سیاست‌های حمایتی ایران را به‌صورت پیش‌فرض در اختیار ندارد [۱۳].

نرم‌افزار COMFAR که توسط سازمان توسعه صنعتی ملل متحد (UNIDO) توسعه یافته است، یکی از معتبرترین ابزارهای تحلیل مالی و امکان‌سنجی اقتصادی پروژه‌های سرمایه‌گذاری محسوب می‌شود. این نرم‌افزار قابلیت محاسبه شاخص‌های اقتصادی، تحلیل جریان نقدی، ساختار تأمین مالی و ارزیابی سودآوری پروژه‌ها را دارد، اما یک نرم‌افزار عمومی سرمایه‌گذاری است و فاقد مدل‌های اختصاصی مربوط به نیروگاه‌های زیست‌توده و الزامات صنعت برق و انرژی‌های تجدیدپذیر است [۱۴].

مدل CREST که توسط آزمایشگاه ملی انرژی‌های تجدیدپذیر آمریکا (NREL) توسعه یافته، یکی دیگر از ابزارهای تخصصی تحلیل اقتصادی نیروگاه‌های تجدیدپذیر است. این مدل با تمرکز بر ساختار سرمایه‌گذاری، هزینه سرمایه، سیاست‌های حمایتی و نرخ خرید برق، امکان تحلیل اقتصادی پروژه‌های انرژی تجدیدپذیر را فراهم می‌کند. با این حال، پارامترهای مالی و سیاست‌های مورد استفاده در آن مبتنی بر ساختار اقتصادی ایالات متحده بوده و برای استفاده در ایران نیازمند بومی‌سازی گسترده است [۱۵].

در سطح برنامه‌ریزی کلان نیز مدل‌هایی نظیر MESSAGE برای تحلیل سناریوهای توسعه سیستم انرژی و HOMER Pro برای طراحی و بهینه‌سازی سیستم‌های انرژی ترکیبی توسعه یافته‌اند [۱۶ و ۱۷]. هر یک

[1] Payback Period

[Downloaded from yujs.yu.ac.ir on 2026-11-10]

از این ابزارها قابلیت‌های ارزشمندی در حوزه برنامه‌ریزی انرژی، طراحی فنی یا تحلیل اقتصادی ارائه می‌کنند. اما هیچ‌یک به‌طور هم‌زمان فرآیندهای قانونی، مقررات ساتبا، تعرفه‌های خرید تضمینی برق، قوانین مالیاتی، استهلاک، فرآیند اخذ مجوزها، هزینه‌های اداری و شرایط اقتصادی ویژه ایران را پوشش نمی‌دهند. مقایسه‌ای از مهم‌ترین نرم‌افزارهای مورد استفاده در ارزیابی اقتصادی پروژه‌های زیست‌توده در جدول ۱ ارائه شده است.

بررسی نرم‌افزارهای موجود نشان می‌دهد که اگرچه هر یک بخشی از نیازهای مطالعات اقتصادی پروژه‌های انرژی را پوشش می‌دهند، اما هیچ‌یک با قوانین، ساختار تعرفه‌ای، فرآیندهای اداری، نظام مالیاتی، ضوابط سرمایه‌گذاری و مقررات حاکم بر احداث و بهره‌برداری نیروگاه‌های زیست‌توده در ایران منطبق نیستند. ازاین‌رو، توسعه یک نرم‌افزار بومی که بتواند هم‌زمان تحلیل اقتصادی پروژه و الزامات قانونی و اجرایی کشور را در یک چارچوب یکپارچه ارائه دهد، ضروری به نظر می‌رسد. نرم‌افزار BIO-ECO با همین هدف طراحی و توسعه یافته است.

۵- معرفی نرم‌افزار ارزیابی اقتصادی نیروگاه زیست‌توده BIO-ECO

مطابق با تجربه سال‌ها تحلیل و ارزیابی نیروگاه‌های تجدیدپذیر و در پی یک تجربه موفق در خصوص انرژی بادی و توسعه نرم‌افزار ارزیابی اقتصادی نیروگاه‌های بادی (WENRI-ECO) در مرکز باد پژوهشگاه نیرو، گروه انرژی‌های تجدیدپذیر پژوهشگاه نیرو بدین نتیجه رسید که توسعه یک نرم افزار ارزیابی اقتصادی منعطف و کارا بر اساس قوانین و شرایط کشور می‌تواند برای سرمایه‌گذاران و سیاست‌گذاران این حوزه بسیار مفید باشد.

در این راستا نرم‌افزار ارزیابی اقتصادی نیروگاه‌های زیست‌توده BIO-ECO در محیط اکسل توسعه داده شد. یکی از ویژگی‌های مهم این نرم‌افزار، مطابقت آن با قوانین موجود در کشور جهت احداث و بهره‌برداری از نیروگاه زیست‌توده و قابلیت تغییر سریع و دقیق پارامترها و ارزیابی اثر تغییرات و همچنین شفافیت بالای محاسبات و امکان مشاهده و تحلیل جزئیات محاسباتی برای کاربران متخصص است. لازم به ذکر است برای توسعه این نرم‌افزار، نرم‌افزارهای گوناگون این حوزه بررسی و ارزیابی شدند. برای تحلیل‌های فنی یا اقتصادی نیروگاه‌های زیست‌توده نرم‌افزارهایی وجود دارند که از آن میان می‌توان به RETScreen، MESSAGE، BIOPOWER، NREL CREST و COMFAR اشاره کرد که هر یک معایب و مزایای خاص خود را دارا هستند. گفتنی است در توسعه این نرم‌افزار تلاش شد با محوریت هدف، چارچوب و دیدگاه‌های پروژه، از این نرم‌افزارها ایده دریافت شود و البته مدل NREL CREST مناسب‌ترین مورد برای بهره‌گیری و بومی سازی بود.

نرم‌افزار BIO-ECO در محیط اکسل شامل کاربرگ‌های زیر است:

۱-شروع (Start)، ۲-مقدمه (Introduction)، ۳-ورود اطلاعات کلی (Input)، ۴-ورود اطلاعات جزئی (Complex Input)، ۵-جریات مالی (Cash Flow)، ۶-خلاصه نتایج (Summary Results)، ۷-عواید و جریان مالی سالیانه (Annual Cash Flow & Returns).

جدول ۱- مقایسه مهم‌ترین نرم‌افزارهای مورد استفاده در ارزیابی اقتصادی پروژه‌های زیست‌توده.

نرم‌افزار	مهم‌ترین قابلیت‌ها	محدودیت‌ها
RETScreen Expert	تحلیل فنی، مالی، اقتصادی، تحلیل ریسک و کاهش انتشار آلاینده‌ها	عدم انطباق با قوانین، تعرفه‌ها و فرآیندهای اجرایی ایران
COMFAR	تحلیل مالی پروژه، جریان نقدی، NPV، IRR و ساختار تأمین مالی	نرم‌افزار عمومی سرمایه‌گذاری و فاقد مدل تخصصی نیروگاه زیست‌توده
NREL CREST	تحلیل اقتصادی پروژه‌های تجدیدپذیر و سیاست‌های حمایتی	مبتنی بر ساختار اقتصادی و قوانین آمریکا
HOMER Pro	طراحی و بهینه‌سازی سیستم‌های انرژی هیبریدی	تمرکز بر طراحی سیستم و نه تحلیل اقتصادی پروژه‌های سرمایه‌گذاری
MESSAGE	برنامه‌ریزی و مدل‌سازی سیستم‌های انرژی در سطح کلان	مناسب سیاست‌گذاری انرژی و نه ارزیابی اقتصادی یک نیروگاه

[Downloaded from yujs.yu.ac.ir on 2026-11-10]

کاربرگ Start به نوعی بیان کننده عنوان و موسسه مالک و سال توسعه نرم‌افزار است که در شکل ۲ نشان داده شده است.

کاربرگ Introduction به توضیح قوانین کلی محیط نرم‌افزار که با هدف سهولت کاربری تعبیه شده است، می‌پردازد (شکل ۳).

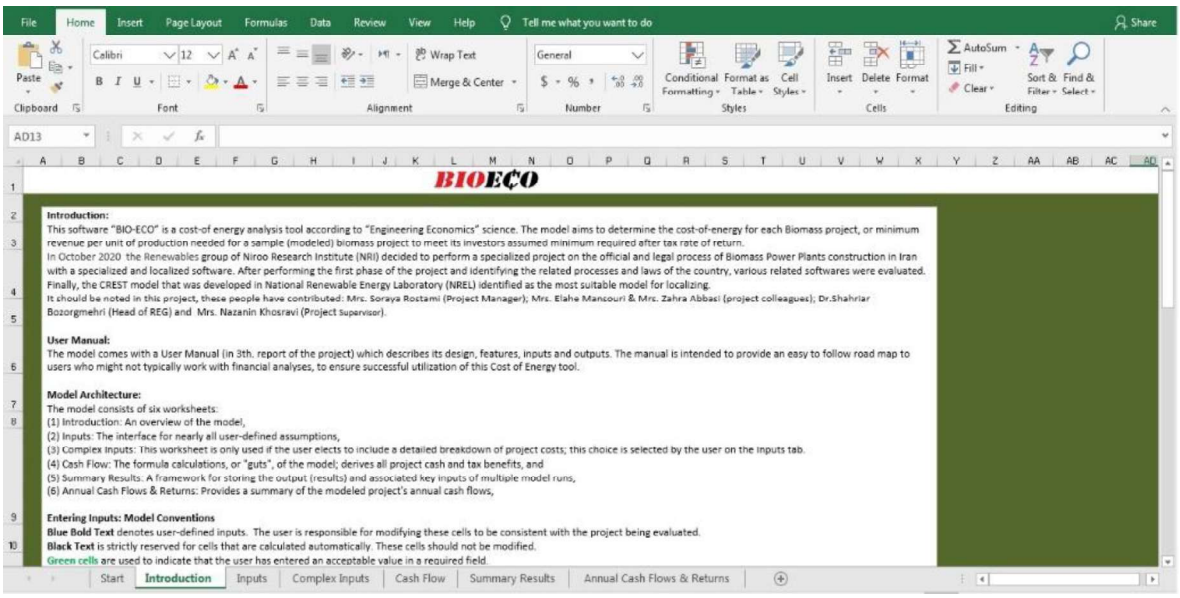
کاربرگ Input یکی از قسمت‌های مهم نرم‌افزار است که جهت ورود اطلاعات نیروگاه زیست‌توده از آن استفاده می‌شود. در این کاربرگ، کاربر اطلاعات زیر را به نرم‌افزار می‌دهد:

۱- واحد پولی و نوع تکنولوژی نیروگاه منتخب (Currency / Technology).

۲- اندازه و عملکرد پروژه (Project Size and Performance).



شکل ۲- نمای کاربرگ Start در نرم‌افزار BIO-ECO.



شکل ۳- نمای کاربرگ Introduction در نرم‌افزار BIO-ECO.

[Downloaded from yujs.yu.ac.ir on 2026-11-10]

۳- هزینه‌های سرمایه‌گذاری (Capital Costs).

۴- هزینه عملیاتی و نگهداری (Operations & Maintenance).

۵- تأمین مالی دوره ساخت –کلیات شرایط (Construction Financing).

۶- شرایط تأمین مالی پروژه –جزئیات شرایط مالی (Permanent Financing).

۷- خلاصه وضعیت تأمین مالی (Summary of Sources of Funding for Total Installed Cost).

۸- مالیات، شرایط و معافیت‌های مربوط به آن (Tax).

۹- درآمدهای جانبی نیروگاه (Supplemental Revenue Streams: Tipping Fees).

۱۰- ساختار و شرایط خرید تضمینی برق (Cost-Based Tariff Rate Structure).

۱۱- قیمت پیش‌بینی شده تعدیل شده یا بازار فروش برق (Forecasted Adjusted or Market Value of Production).

۱۲- مشوق‌های خصوصی و دولتی احداث نیروگاه (Incentives).

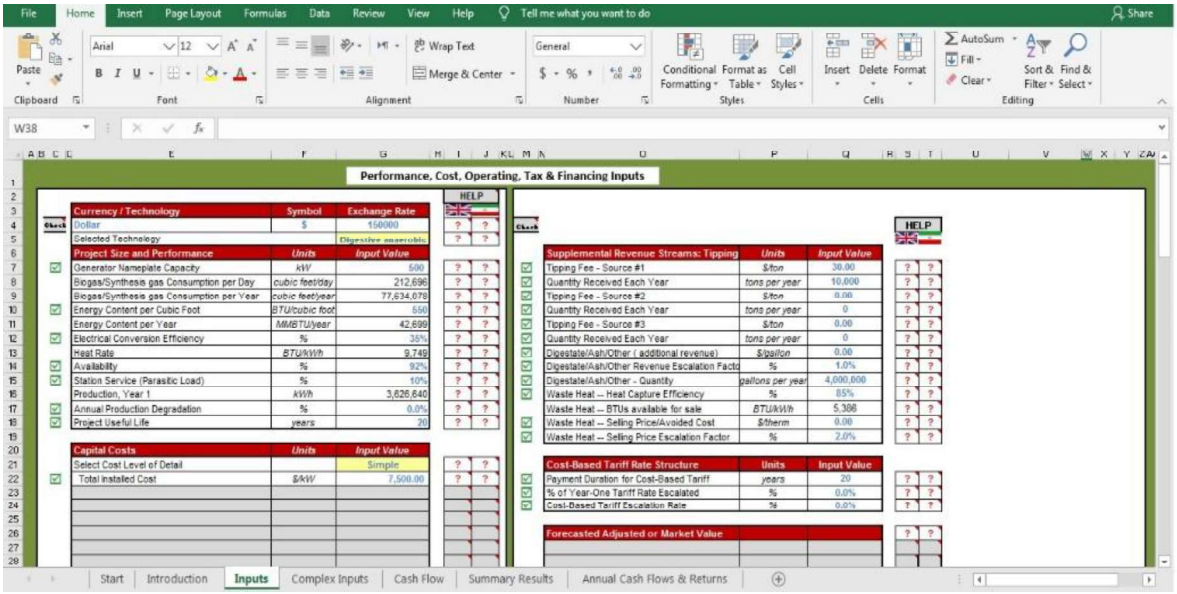
۱۳- هزینه‌های مربوط به تعویض قطعات و تجهیزات (Capital Expenditures During Operations).

۱۴- ذخایر احتیاطی هزینه اسقاط (Reserves Funded from Operations).

۱۵- ذخایر احتیاطی پرداخت وام یا هزینه‌های بهره‌برداری (Initial Funding of Reserve Accounts).

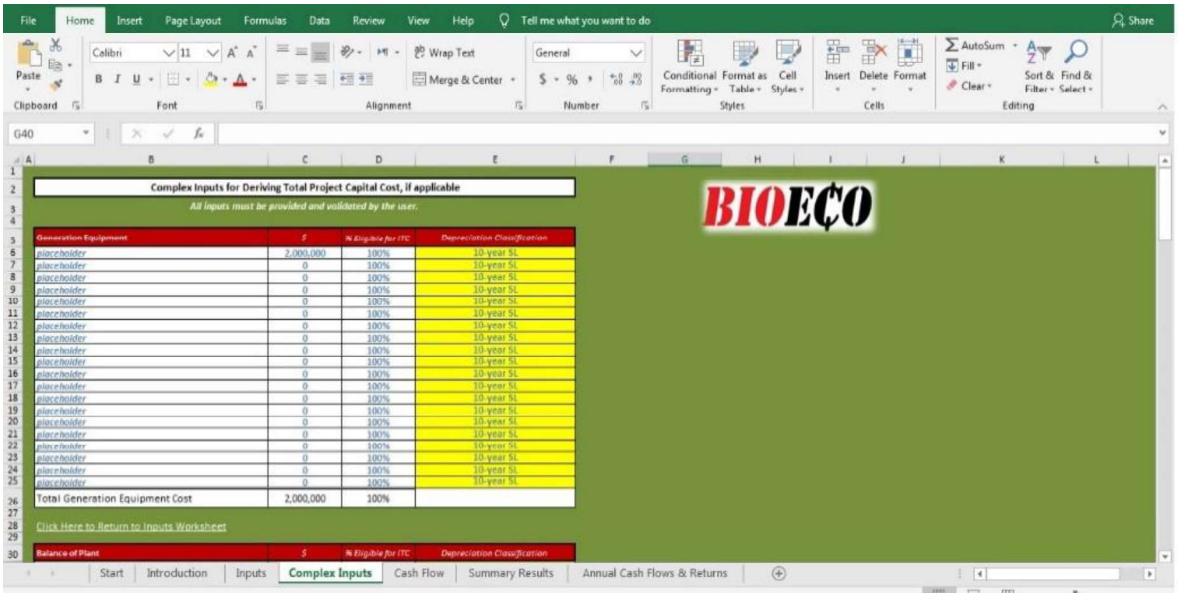
۱۶- استهلاک (Depreciation Allocation).

کاربر می‌تواند بر حسب جزئیات داده‌های پروژه خود، یکی از گزینه‌های "Simple"، "Intermediate" و یا "Complex" را در کاربرگ Input انتخاب کند و اطلاعات را وارد نماید. در صورتی که کاربر قصد ورود اطلاعات جزئی را داشته باشد، مثلا بخواهد ریز اطلاعات سرمایه‌گذاری اعم از هزینه‌های دریافت مجوزها تا خرید و حمل و نقل و ... را به تفکیک وارد نماید، ضمن انتخاب گزینه Complex در باکس‌های مرتبط در کاربرگ Input، می‌تواند به کاربرگ Complex Input وارد شده و اطلاعات جزئی را وارد نماید. در شکل‌های ۴ و ۵ به ترتیب کاربرگ‌های Input و Complex Input نشان داده شده است.



شکل ۴- نمای کاربرگ Input در نرم‌افزار BIO-ECO.

[Downloaded from yujs.yu.ac.ir on 2026-11-10]

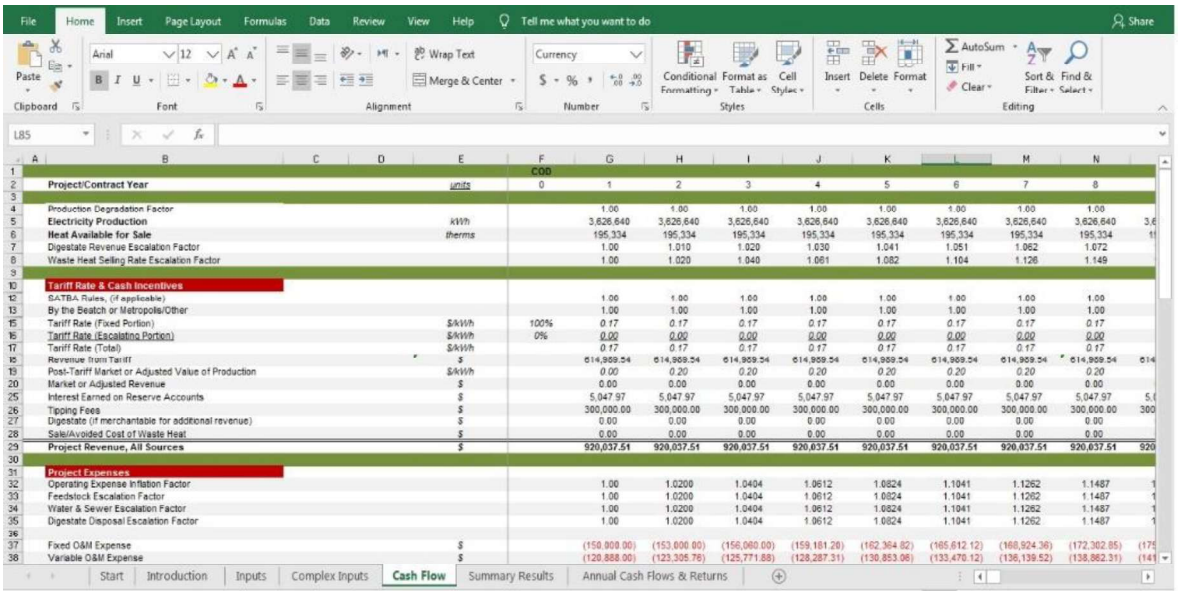


شکل ۵- نمای کاربرگ Complex Input در نرم‌افزار BIO-ECO.

در این نرم‌افزار محاسبات مربوط به جریان مالی پروژه، در کاربرگ Cash Flow انجام می‌شود (شکل ۶). در این کاربرگ از اطلاعات ورودی که توسط کاربر به نرم‌افزار داده شده است و یا داده‌های محاسبه‌شده، به منظور محاسبه‌ی درآمد و هزینه‌های طرح و بررسی وضعیت جریان مالی استفاده می‌شود. هدف از انجام این محاسبات، متناسب با نیاز کاربر، محاسبه قیمت تمام شده برق زیست‌توده نیروگاه، محاسبه ارزش خالص فعلی، نرخ برگشت داخلی، دوره برگشت سرمایه، یا تحلیل جریان مالی و شرایط اقتصادی نیروگاه بر اساس تعرفه ساتبا و یا تعرفه‌های مورد نظر تحلیلگر می‌تواند باشد.

امکان مشاهده و بررسی دقیق سایر اعداد و ارقام و محاسبات جریان مالی نظیر مقادیر اصل و سود وام و مالیات و سایر هزینه‌ها از مزایای سودمند نرم‌افزار در این بخش است.

گزیده‌ای از اطلاعات اصلی ورودی و محاسباتی طرح مانند هزینه‌های سرمایه‌گذاری، هزینه‌های تعمیر و نگهداری در سال اول و آخر بهره‌برداری، اقساط وام در سال اول و اخر زمان بازپرداخت و تعرفه محاسبه شده و پارامترهای متعدد دیگر در کاربرگ Summary Results نشان داده می‌شود. اگر در یک پروژه خاص اطلاعات دیگری حائز اهمیت باشد، کاربر می‌تواند در ادامه این اطلاعات را به جدول اضافه کند.

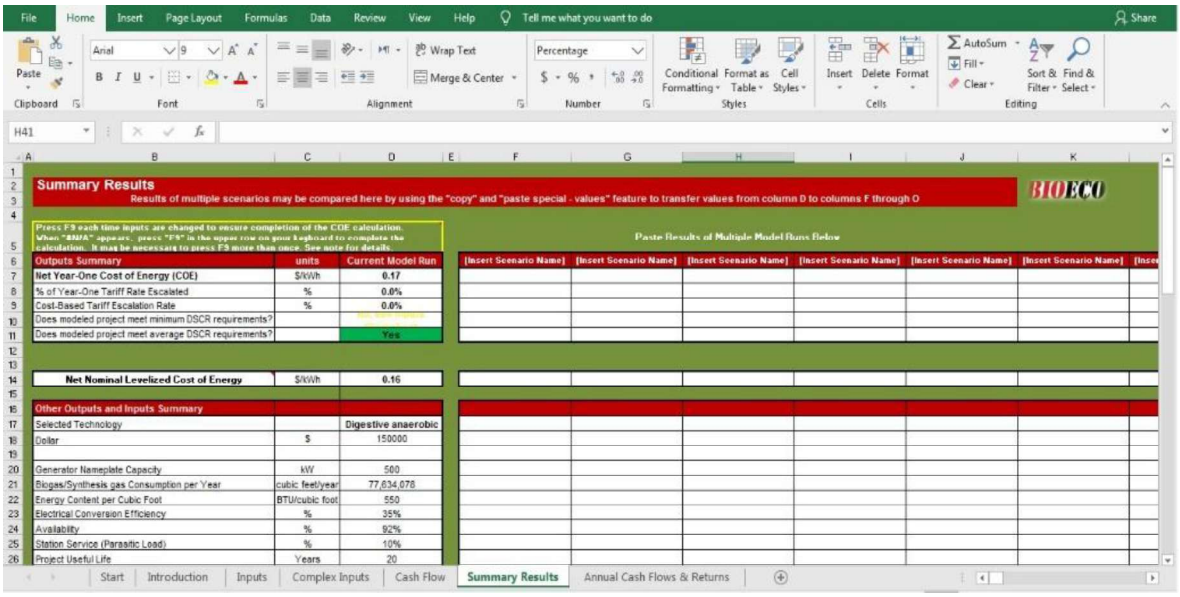


شکل ۶- نمای کاربرگ Cash Flow در نرم‌افزار BIO-ECO.

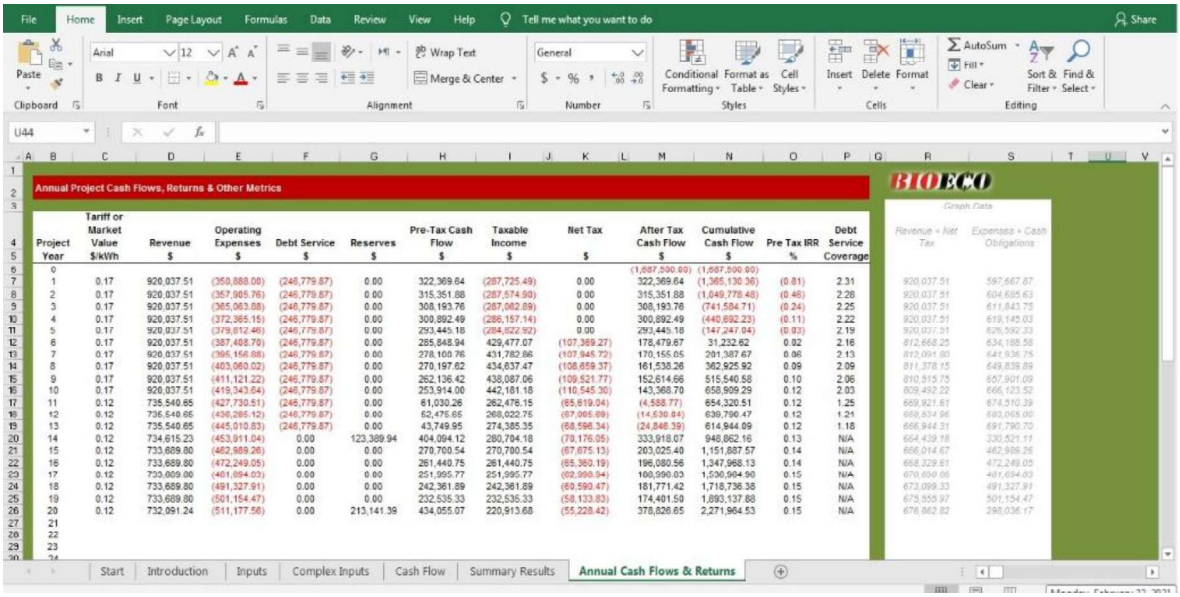
[Downloaded from yujs.yu.ac.ir on 2026-11-10]

همچنین در این کاربرگ جداول خام دیگری با همین فرمت مقابل یکدیگر تعبیه شده‌اند که در آن کاربر می‌تواند نتایج تحلیل برای سناریوهای مختلف شبیه‌سازی مدل را وارد و حتی به کمک نمودارهای متنوع اکسل مقایسه نماید. نمایی از کاربرگ Summary Results در شکل ۷ نشان داده شده است.

در نهایت، محاسبات اصلی انجام شده نیز در کاربرگ Cash Flow نشان داده می‌شود که برای سال‌های عمر پروژه در کاربرگ Annual Cash Flow & Returns به صورت طبقه‌بندی شده و خلاصه مطابق شکل ۸ آورده می‌شود. همچنین با استفاده از داده‌های پروژه، نمودار جریان مالی تجمعی و نمودار مقایسه هزینه‌ها و درآمدهای طرح در نرم‌افزار رسم می‌شود.



شکل ۷- نمای کاربرگ Summary Results در نرم‌افزار BIO-ECO.



شکل ۸- نمای کاربرگ Annual Cash Flow & Returns در نرم‌افزار BIO-ECO.

[Downloaded from yujs.yu.ac.ir on 2026-11-10]

۶- جمع‌بندی و نتیجه‌گیری

در این مقاله خلاصه مهم‌ترین قوانین احداث و بهره‌برداری از نیروگاه زیست‌توده در ایران، جهت آشنایی سرمایه‌گذاران بررسی شد. همچنین نرم‌افزار ارزیابی اقتصادی نیروگاه زیست‌توده BIO-ECO که در پژوهشگاه نیرو تدوین شده است، معرفی گردید. همان‌طور که عنوان شد BIO-ECO یک نرم‌افزار تخصصی تحلیل اقتصادی نیروگاه زیست‌توده است که بر پایه نرم‌افزار اکسل توسعه داده شده است. برای توسعه این نرم‌افزار از کاربرگ‌ها، جداول، توابع و فرمول‌های محاسباتی پیچیده و بسیار گسترده استفاده شده است که همگی با هم ارتباط دارند. در جدول ۲ خلاصه‌ای از این ویژگی‌ها ارائه شده است. به طور خلاصه مزایای این نرم‌افزار را می‌توان چنین برشمرد:

- امکان تحلیل تخصصی اقتصادی نیروگاه زیست‌توده با توجه به کلیه پارامترهای درآمدی، هزینه‌ای، رفتار، زمان وقوع آن‌ها، قوانین و مقررات فرآیندهای مالی و اداری کشور در مراحل گوناگون اخذ مجوز تا بهره‌برداری و سرانجام اسقاط.
- امکان ورود اطلاعات در سه سطح کلی، میانی و جزئی با توجه به سطح اطلاعات در دسترس تحلیلگر و تدقیق اطلاعات در آینده با سهولت قابل‌ملاحظه.
- انعطاف‌پذیری فوق‌العاده نرم‌افزار برای مدل کردن سناریوهای مختلف و امکان تحلیل حساسیت پارامترهای اثرگذار در هر مرحله و ملاحظه‌ی اثر آن بر اقتصادی بودن نیروگاه.
- امکان بهره‌مندی سرمایه‌گذاران به جهت تحلیل اقتصادی نیروگاه زیست‌توده و بهره‌مندی سیاست‌گذاران به سبب تعیین دقیق اثر تصمیم‌های خود بر وضعیت اقتصادی سرمایه‌گذاران و انگیزه‌ی ایشان.
- امکان ملاحظه نتایج تحلیل اقتصادی نیروگاه زیست‌توده در سطوح و سال‌های گوناگون عمر نیروگاه از جمله ملاحظه‌ی شاخص‌ها و نمودارهای کلیدی ارزیابی اقتصادی تا جریان مالی تک‌تک پارامترها و جریان مالی نهایی پروژه.
- امکان توسعه و رسم ساده‌ی نمودارها و محاسبه پارامترهای موردنظر تحلیلگر به سهولت بر اساس نتایج نرم‌افزار.
- امکان آزمودن ساده نتایج و مقایسه با سایر نرم‌افزارهای موجود در صورت تسلط بر پیش‌فرض‌های هر نرم‌افزار.
- امکان تهیه و دسترسی و اجرای ساده‌ی نرم‌افزار بر روی سیستم‌های گوناگون کامپیوتری.
- امکان مشاهده‌ی روابط و فرمول‌ها و تحلیل کاربران متخصص.
- بومی بودن نرم‌افزار.

امید که این نرم‌افزار با کمک به سرمایه‌گذاران و سیاست‌گذاران، سهم کوچکی در برنامه‌ریزی و توسعه‌ی سهل‌تر و دقیق‌تر انرژی زیست‌توده در کشور را داشته باشد.

جدول ۲- خلاصه محتویات نرم‌افزار BIO-ECO.

محتوای کاربرگ	Input	Complex Input	Cash Flow	Summary Result	Annual Cash Flow
جدول	۱۶	۷	۷	۳	۲
سلول محاسباتی	۷۵۳	۵۰۵	۲۵۲۴	۱۳۴	۴۸۵
نوع فرمول	۲۹	۳۲	۵۰	۷	۳۵
انواع توابع	IF ROUND	IF SUMIF	SLN-LOOKUP-SUMPRODUCT-IRR-NPV-GOAL SEEK-ISERROR-IPMT-PPMT-AVE-MIN-	IF	IF – LOOKUP – ABS

منابع

[۱] مطالعه و شناسایی الزامات قانونی و فرایندهای اقتصادی، اداری و مالی مترتب بر نصب و بهره‌برداری از نیروگاه‌های زیست‌توده در ایران. پژوهشگاه نیرو، ۱۳۹۹.

[۲] شناسایی پارامترهای اقتصادی نصب و بهره‌برداری از نیروگاه‌های زیست‌توده و مدل‌سازی مالی. پژوهشگاه نیرو، ۱۳۹۹.

[۳] توسعه نرم‌افزار ارزیابی اقتصادی نیروگاه‌های زیست‌توده (BIO-ECO) به همراه دستورالعمل نرم‌افزار. پژوهشگاه نیرو، ۱۳۹۹.

[Downloaded from yujs.yu.ac.ir on 2026-11-10]

[۴] بوغلان دشتی ب. مطالعات اقتصادی احداث نیروگاه زیست‌توده در محل دفن زباله‌های شیراز. نوزدهمین کنفرانس بین‌المللی برق. ۱۳۸۳. تهران، ایران.

[۵] احمدی ی. ارزیابی اقتصادی - زیست‌محیطی احداث نیروگاه برق با سوخت زیست‌توده در شهر تهران. پایان-نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه علامه طباطبایی، ۱۳۹۰.

[۶] برزگر خ، مازیار ح، علیپور ج. بررسی امکان‌سنجی فنی، اقتصادی و زیست‌محیطی احداث نیروگاه زباله‌سوز در شهر آمل. اولین همایش ملی و تخصصی پژوهش‌های محیط زیست ایران. ۱۳۹۲. همدان، ایران.

[۷] رضایی م، ورسه‌ای م، علی‌بابایی ح. امکان‌سنجی اقتصادی، فنی و زیست‌محیطی احداث نیروگاه زباله‌سوز در شهر تنکابن. کنفرانس بین‌المللی محیط‌زیست و منابع طبیعی. ۱۳۹۴. شیراز، ایران.

[۸] امیری م، نجفی آ. امکان‌سنجی استفاده از نیروگاه با سوخت زیست‌توده. نشریه انرژی ایران. ۱۳۹۵؛ ۱۹: ۱۵۵-۱۶۸.

[9] Klass DL. Biomass for renewable energy, fuels, and chemicals. Energy. Elsevier, 1998.

[10] Gielen D, Gorini R, Wagner N, Leme R, Gutierrez L, Prakash G, Asmelash E, Janeiro L, Gallina G, Vale G, Sani L. Global energy transformation: a roadmap to 2050. International Renewable Energy Agency, 2019.

[11] Mitigation CC. IPCC special report on renewable energy sources and climate change mitigation. Renewable Energy. 2011; 20(11).

[۱۲] ساتبا، www.satba.gov.ir

[۱۳] مطالعه و شناسایی الزامات قانونی و فرایندهای اقتصادی، اداری و مالی مترتب بر نصب و بهره‌برداری از نیروگاه‌های زیست‌توده در ایران. پژوهشگاه نیرو، ۱۳۹۹.

[13] Government of Canada, RETScreen Expert User Manual. Natural Resources Canada, Ottawa, Canada, 2023.

[14] United Nations Industrial Development Organization (UNIDO). COMFAR III Expert: Computer Model for Feasibility Analysis and Reporting. Vienna, Austria.

[15] National Renewable Energy Laboratory (NREL). Renewable Energy Project Finance Calculations with the CREST Model, NREL Technical Report.

[16] Lambert TW, Gilman P, Lilienthal P. Micropower System Modeling with HOMER. In Integration of Alternative Sources of Energy. 2006; 1(1):379-385.

[17] Messner S, Strubegger M. User's Guide for MESSAGE III. International Institute for Applied Systems Analysis (IIASA), 1995.

[Downloaded from yujs.yu.ac.ir on 2026-11-10]