DOR: 20.1001.1.24234931.1400.8.2.8.4

سال هشتم، شماره دوم، پاییز و زمستان ۱۴۰۰، ص ص ۷۵- ۸۵

فصل‌نامه علمی انرژی‌های تجدیدپذیر و نو

jrenew.ir

مقاله ترویجی

تاریخ دریافت: ۹۹/۰۳/۰۷

تاریخ پذیرش: ۹۹/۰۵/۲۸

بررسی تطبیقی ظرفیت نصب‌شده، شاخص‌های اقتصادی و کسب‌وکار، چشم‌اندازها و اسناد بالادستی حوزه نیروگاه‌های تولید برق تجدیدپذیر مبتنی بر زیست‌توده

محمد ستاره*[۱]، حمید جلیل‌پور[۲]، حسن طباطبایی[۳]

۱- دکتری، مهندسی برق قدرت، پژوهشکده سازندگی خاتم الانبیاء(ص)، تهران، ایران

۲- کارشناسی ارشد، مهندسی برق قدرت، پژوهشکده سازندگی خاتم الانبیاء(ص)، تهران، ایران

۳- کارشناسی، مهندسی انرژی، دانشگاه صنعتی قم، قم، ایران

* تهران، ۱۴۶۶۵۱۱۵۸۶، Mohammad67set@gmail.com

چکیده

تنوع‌بخشی به منابع انرژی و مشکلات زیست‌محیطی سوخت فسیلی باعث توسعه استفاده از انرژی‌های تجدیدپذیر شده است. امروزه با افزایش چشمگیر فعالیت‌ها و بودجه دولت‌ها و شرکت‌ها در امر تحقیق و توسعه سیستم‌های انرژی‌های تجدیدپذیر، قیمت تمام‌شده استفاده از آن‌ها کاهش چشمگیری داشته و قابل رقابت با سیستم‌های انرژی سنتی شده است. زیست‌توده از دیرباز به شکل‌های گوناگون استفاده شده و در حال حاضر برای تولید برق مورد توجه بسیاری قرارگرفته است. سرمایه‌گذاری برای احداث نیروگاه‌های برق زیست‌توده علاوه مدیریت پسماند منجر به تولید برق و فضای کسب‌وکار مناسب می‌شود. لذا سیاست‌های کلان و تشویقی متعددی در کشورهای مختلف برای توسعه این فناوری مطرح شده است. در این مقاله ضمن معرفی فناوری‌های استحصال انرژی از منابع زیست‌توده، روند توسعه و جایگاه آن در سراسر جهان و همچنین ایران ارزیابی می‌شود. این امر ناظر بر وضعیت فعلی بهره‌برداری از این نیروگاه‌ها، اشتغال، هزینه همترازشده و سیاست‌های کلان توسعه این فناوری است. نتایج حاکی از آن است که در ایران، علی‌رغم وجود مقررات معتبر بالادستی، عزم راسخی برای توسعه این نیروگاه‌ها وجود ندارد. با این حال، با توجه به اهداف کشورهای منطقه مانند پاکستان و ترکیه، باید قوانین تسهیل‌گری و مشوق‌های مالی جذابی در ایران اتخاذ شود.

کلیدواژگان: تولید برق، استحصال انرژی از منابع زیست‌توده، روند توسعه نیروگاه‌های زیست‌توده، سیاست‌ها و اهداف کلان

Comparative Study of Installed Capacity, Jobs and Investment, Targets and Laws in Biomass-Based Renewable Power Generation Technology

Mohammd Setareh[1*], Hamid Jalilpour[2], Hassan Tabatabaiie[3]

1- PhD, Electrical power system engineering, Khatam Alanbia research institute, Tehran, Iran

2- MSc, Electrical power system engineering, Khatam Alanbia research institute, Tehran, Iran

3- BSc, Energy system engineering, Qom University of Technology, Qom, Iran

* P.O.B. 1466511586, Tehran, Iran, Mohammad67set@gmail.com

Received: 16 June 2020 Accept: 18 August 2020

Abstract

Nowadays, with the significant increase in the activities and budgets of governments and companies in research, installation and operation of renewable energy systems, the total cost of production of renewable energies are drastically reduced. Currently, Investing in the biomass-based power plant leads to waste management, the production of electricity as well as generation many employments. Therefore, several policies and incentives have been proposed in different countries. In this article, the various technologies of energy extraction from biomass resources and comparative studies of the worldwide development of biomass-based power plant are conducted. The current state of operation of these power plants, jobs and investments, levelized cost of energy, and the future goals and development policies of this technology in different countries are introduced. The results represents that in Iran, despite the existence of valid upstream regulation, there has been no firm determination to develop these power plants. However, according to the goals of the countries in the region such as Pakistan and Turkey, facilitation laws and financial incentives should be adopted in Iran.

Keywords: Electricity production, bioenergy, development of biomass power plants, policies and objectives

۱- مقدمه

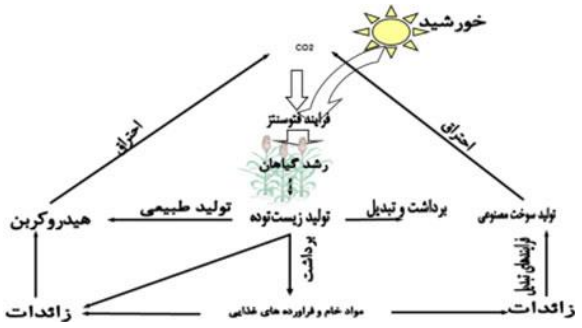
امروزه، رویکرد استفاده از انواع منابع انرژی، ازجمله تولید برق با استفاده منابع زیست‌توده، گسترش یافته و پیشرفت‌های صنعتی و تکامل فناوری‌های مورد استفاده در این حوزه، بهره‌وری بالاتر و استفاده وسیع‌تر از این منبع انرژی را در پی داشته است.

استفاده از زیست‌توده به عنوان یک منبع انرژی نه‌تنها به دلیل اقتصادی، بلکه به دلیل توسعه اقتصادی و زیست‌محیطی جذاب بوده و از طرفی عامل تسریع در نیل به توسعه پایدار شناخته می‌شود. سیستم‌هایی که زیست‌توده را به انرژی قابل مصرف تبدیل می‌کنند، می‌توانند در ظرفیت‌های کوچک به صورت ماژول به کار روند. صنایع کشاورزی، جنگل‌داری و فضولات دامی از ذخایر اصلی زیست‌توده هستند که فرصت‌های اساسی را برای توسعه اقتصادی مناطق روستایی و دورافتاده فراهم می‌کنند. انرژی زیست‌توده شامل انرژی تولیدی از کلیه ضایعات و زائدات حاصل از موجودات زنده می‌باشد و بعد از انرژی خورشیدی بالاترین پتانسیل انرژی را دارا می‌باشد و در حال حاضر با توجه به مزایای ویژه‌ای نظیر مزایای اقتصادی، زیست‌محیطی، پراکندگی و دسترسی آسان، بالاترین سهم را در میان تجدیدپذیرها به خود اختصاص داده است [۱]. منابع انرژی زیست‌توده می‌تواند به شکل اصلی انرژی مانند برق 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 می‌باشد. همچنین دامنه مصرف‌کنندگان زیست‌توده بسیار گسترده است. به عنوان مثال از خانوارهای کوچک به‌خصوص در نواحی روستایی و رستوران‌ها شروع شده و تا واحدهای کوچک، متوسط و بزرگ صنعتی و تجاری ادامه پیدا می‌کند.

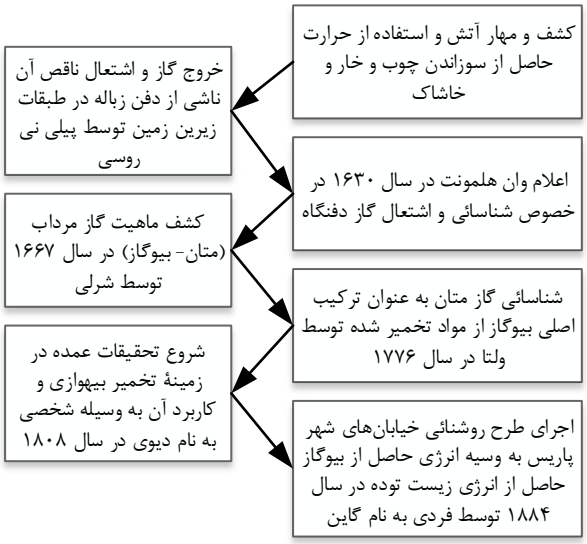
تعریف اتحادیه اروپا از زیست‌توده که در سال ۲۰۰۱ میلادی عنوان شده، عبارت است از: «زیست‌توده عبارت است از اجزا قابل تجزیه زیستی از محصولات، پسماندها و زائدات کشاورزی (شامل مواد گیاهی و دامی)، جنگل‌ها و صنایع وابسته و همچنین زائدات صنعتی و شهری قابل‌تجزیه». بر اساس تعریف علمی ارائه‌شده در این آیین‌نامه، زیست‌توده به سوخت‌هایی اطلاق می‌گردد که از جرم توده فیتوپلانکتون‌ها و جرم توده زئوپلانکتون‌ها ساخته می‌شوند.

در شکل ۱ چرخه زیست‌توده نمایش داده شده است [۱]. بخشی از تشعشع خورشید که به اتمسفر زمین می‌رسد، به واسطه فرایند فتوسنتز در گیاهان جذب و ذخیره می‌شود. بیشینه بازده تبدیل انرژی خورشیدی در این فرایند بین ۵ تا ۶ درصد است. گیاهان به عنوان منابع ذخیره کربن هستند و CO_2 را از هوا جذب کرده و به صورت کربن ذخیره می‌نمایند. وقتی گیاهی توسط جانوری خورده می‌شود، بخشی از کربن موجود در گیاه خورده‌شده به انرژی تبدیل می‌شود و بخشی دیگر در بافت‌های زنده ذخیره می‌گردد. بخش سوم نیز با فضولات حیوانی دفع می‌گردد. در صورتی که چوب یا گیاهان سوزانده شوند، علاوه بر انرژی، بخش اعظمی از کربن ذخیره‌شده به صورت کربن دی‌اکسید آزاد می‌شود و بخشی نیز در خاکستر باقی می‌ماند.

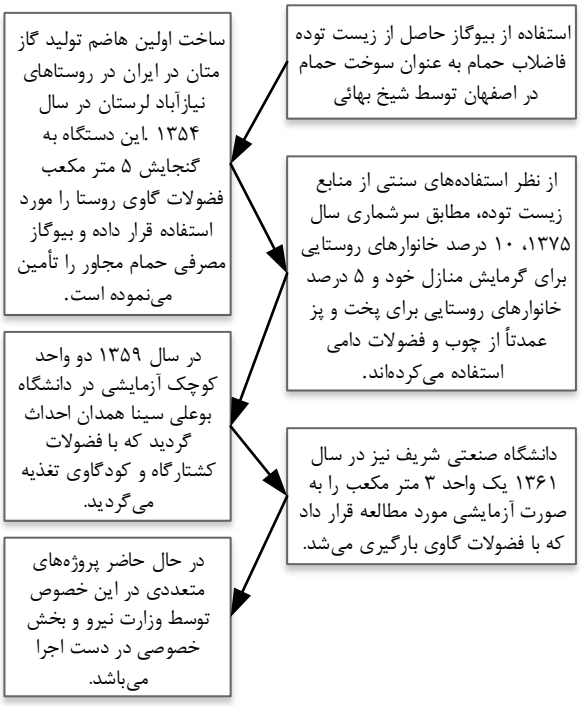
از دیدگاه تاریخی استفاده از انرژی زیست‌توده به ابتدایی‌ترین دوره‌های تاریخ باز می‌گردد. از زمانی که آتش شناخته شد، انسان نخستین همواره چوب و برگ خشک درختان را به عنوان سوخت استفاده می‌کرده و این چرخه تا هم‌اکنون نیز ادامه پیدا کرده است [۱،۲]. شکل‌های ۲ و ۳ به ترتیب سیر تاریخی استفاده از زیست‌توده در جهان و ایران را نشان می‌دهد.



شکل ۱ چرخه زیست‌توده [۱]



شکل ۲ سیر تاریخی استفاده از زیست‌توده در جهان [۱،۲]



شکل ۳ سیر تاریخی استفاده از زیست‌توده در ایران [۱،۲]

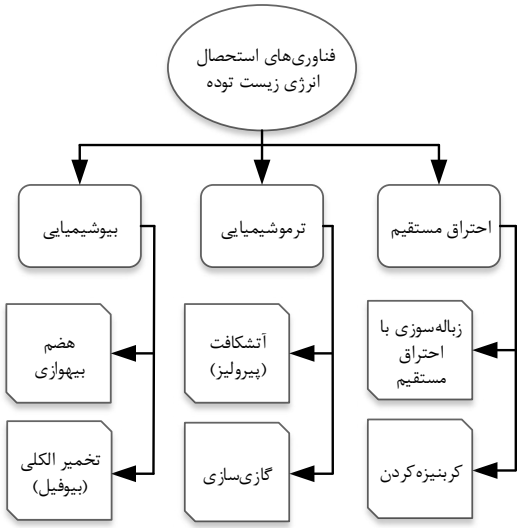
انواع منابع زیست به طور کلی به شش دسته تقسیم‌بندی می‌شوند که در شکل ۴ نشان داده شده است. در کلان‌شهرها همچون پایتخت کشورها، مدیریت زباله‌های جامد شهری از مهم‌ترین شاخص‌های مدیریت بهینه شهری است. یکی از بهترین راه‌ها برای این امر، استفاده از این زباله‌ها برای تولید برق است. از طرف دیگر در مناطق با خاک حاصلخیز که محصولات کشاورزی انبوهی تولید می‌شود، زباله‌های کشاورزی فسادپذیر زیادی تولید می‌شود که در فرایند تولید انرژی برق می‌توانند استفاده شوند. همچنین فاضلاب‌های شهری و فضولات دامی سرشار از مواد آلی بوده و با کمک گازی که از آن‌ها متصاعد می‌شود می‌توان به تولید برق پرداخت [۱،۳].

۲- فناوری‌های استحصال انرژی از مواد زیست‌توده برای تولید برق

انرژی منابع زیست‌توده از طریق فناوری‌های مختلف به انواع انرژی برق، حرارت و سوخت قابل استحصال است. مطابق شکل ۵ این فناوری‌ها به سه دسته احتراق مستقیم، ترموشیمیایی و بیوشیمیایی تقسیم می‌شوند.

فناوری‌های ترموشیمیایی با گرمادادن به زائدات زیستی در حضور یا عدم حضور عوامل کمکی، انرژی تولید می‌کنند. انرژی تولیدشده می‌تواند به صورت انرژی گرمایی یا انرژی ثانویه باشد که از فرآورده‌های انرژی‌زا بدست می‌آید، مانند سوخت‌های جامد، مایع و گاز که می‌توانند به انرژی جنبشی یا الکتریسیته تبدیل شوند. عوامل کمکی در این فناوری‌ها می‌تواند بخار، هوا، اکسیژن، هیدروژن و مواد جامد باشند. لازم به ذکر است که احتراق مستقیم،

شکل ۴ انواع منابع زیست‌توده [۱،۳]



شکل ۵ فناوری‌های مختلف استحصال انرژی زیست‌توده [۶]

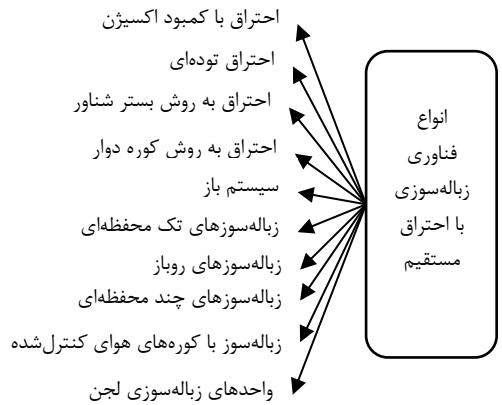
نوعی فرایند ترموشیمیایی است اما به دلیل استفاده گسترده از آن، در مراجع معتبر علمی به صورت یک دسته جداگانه در نظر گرفته می‌شود و در شکل ۵ به همین صورت در نظر گرفته شده است [۶-۴]. در فناوری‌های بیوشیمیایی، تولیدکننده انرژی، فرآورده‌هایی هستند که به وسیله عمل سوخت‌وساز موجودات زنده پدید آمده و به خاطر داشتن ارزش گرمایی بالا به عنوان سوخت به کار می‌روند. گاز متان و الکل اتیلیک (اتانول) از مهم‌ترین فرآورده‌های این فرآیند هستند. گاز متان به وسیله فرآیند هضم بیهوازی و اتانول به وسیله فرآیند تخمیر الکلی تولید می‌شود.

فناوری‌های احتراق با کمبود اکسیژن، احتراق توده‌ای، بستر شناور احتراق به روش کوره دوار در ۵۰ سال گذشته به صورت گسترده‌ای در اروپا و امریکای شمالی مورد استفاده قرار گرفته‌اند.

فناوری‌های مختلف زباله‌سوزی نیاز به پیش‌فرآوری‌ها زباله‌ها دارند. در مرحله اول می‌بایست مواد خطرناک، اجسام بزرگ و مواد غیرقابل سوختن حجیم از جریان ورودی جدا شوند. اجسام حجیم قابل سوختن باید ابتدا خرد و مواد قابل بازیافت طی فرآیند جداسازی از پسماند جدا شود. سپس جریان‌های متفاوت پسماند جهت حصول ورودی یکنواختی به لحاظ فیزیکی، شیمیایی و ارزش حرارتی با یکدیگر مخلوط می‌شوند. این یکنواختی به عملکرد زباله‌سوز و تأسیسات ثانویه تولید انرژی و کنترل آلودگی کمک می‌کند. خردسازی پسماند ممکن است مورد نیاز باشد. کوره‌های دوار و سیستم‌های سوخت‌انداز نیازی به خردسازی کل پسماند ندارد اما در زباله‌سوزی به روش بستر شناور لازم است که پسماند ورودی خرد و مخلوط شود. ارزش حرارتی و ترکیب پسماند ممکن است انجام برخی فرآوری را قبل از ورود به سیستم‌های سوخت‌انداز یا کوره دوار اجباری کند. در نهایت، آلاینده‌های زیست‌محیطی بخشی از محصولات احتراق بوده و باید تدابیری برای عدم نشر آن‌ها به محیط اندیشیده شود. بدین منظور از فیلترهای مخصوصی استفاده می‌شود [۱،۶،۷].

فناوری کربنیزه‌کردن جزو قدیمی‌ترین فناوری‌ها است و محصول نهائی آن زغال چوب، برق و حرارت است. مهم‌ترین و متداول‌ترین فناوری‌های احتراق مستقیم زباله‌سوزی که در تولید انرژی استفاده می‌شوند در شکل ۶ نشان داده شده است. تفاوت‌های اساسی بین این انواع فناوری به شرح زیر است [۷-۶]:

- غلظت اکسیژن فرآیندی
- تعداد مراحل احتراق

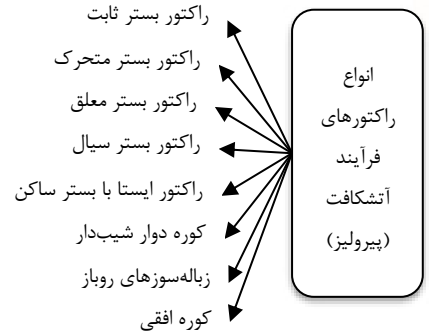


شکل ۶ انواع فناوری احتراق مستقیم زباله‌سوزی [۶]

- نحوه اختلاط پسماند با هوا برای اطمینان از سوختن کامل پسماند
- نحوه پاک‌سازی گاز خروجی
- انواع خاکستر و سرباره

در آتشکافت، مواد آلی به وسیله گرما و در غیاب اکسیژن تخریب می‌شوند و بخار آب، گازهای جدید، مواد فرار، قطران و زغال به وجود می‌آید. راکتورهای گوناگونی برای فرآیند آتشکافت ساخته شده‌اند که در شکل ۷ نام آن‌ها نوشته شده است. به‌طورکلی دو فناوری آتشکافت ساده و آتشکافت با بخار آب وجود دارد. درصورتی‌که از فناوری آتشکافت ساده برای نیروگاه زیست‌توده که خوراک ورودی آن پسماند شهری است استفاده شود، آن‌گاه پسماند شهری به عنوان یک ماده بسیار ناهمگن باید برای ورود به این سیستم، پیش‌فرآوری شود. مقدماتی‌ترین بخش این پیش‌پردازش جداسازی اجزای غیرآلی مانند شیشه و فلزات از مواد ورودی برای جلوگیری از اتلاف انرژی است. از آنجائی که مواد حاصل از آتشکافت شامل قطران، روغن‌های آلی و گازها هستند لذا واکنش‌های دیگری برای تجزیه هرچه بیشتر این مواد می‌توان به سیستم اضافه کرد. یکی از روش‌های معمول در این زمینه، اضافه‌کردن بخار به راکتور آتشکافت برای افزایش تولید گاز مصنوعی است. در این مرحله، قطران موجود در راکتور با بخار آب واکنش داده و تولید گاز مصنوعی متشکل از هیدروژن و متان می‌کند [۶،۸].

در فناوری گازی‌سازی، اساس کار مشابه فرآیند آتشکافت است اما اولویت به تولید گاز است و عمل گرمادهی تا تخریب و تجزیه حداکثر مواد خام ورودی ادامه می‌یابد. در این فرآیند یک ماده اضافی به نام عامل گازساز مانند اکسیژن، هوا، بخار، هیدروژن، متان یا هلیم وارد راکتور می‌شود. جدول ۱ فناوری‌های مختلف گازی‌سازی و ویژگی‌های آن‌ها را نشان می‌دهد. فناوری آتشکافت-گازی‌ساز به دلایل کنترل‌پذیری فرایند و آلایندگی کمتر، مورد توجه زیادی قرار گرفته و در حال حاضر در داخل کشور، شرکت‌های صنعتی



شکل ۷ انواع راکتورهای فرایند آتشکافت [۶]

جدول ۱ فناوری‌های مختلف گازی‌سازی به همراه خصوصیات آن‌ها [۶]

فناوری	ویژگی
گازی‌سازی ساده	اکسیداسیون جزئی مواد ورودی با پایه کربنی و تبدیل آن‌ها به گاز مصنوعی متشکل از متان، هیدروژن و دی اکسید کربن
آتشکافت-گازی‌سازی	تبدیل قطران و دیگر روغن‌های آلی در محل گازی‌سازی به گاز مصنوعی در یک راکتور جداگانه بلافاصله پس از آتشکافت
گازی‌سازی پلاسما	تزریق گاز یونیزه‌شده متشکل از هوا، اکسیژن یا آرگون یا ترکیبی از آن‌ها به بدنه پسماند در یک راکتور بسته و تحت فشار بالا

وجود دارد که به ساخت این نوع نیروگاه‌های زیست‌توده اقدام کرده‌اند [۶،۸،۹].

فرایند هضم بیهوازی، تجزیه بیولوژیکی مواد آلی در غیاب اکسیژن است که نتیجه این فرایند تولید بیوگاز است. دو فناوری تولید انرژی از زیست‌توده که در آن‌ها فرایند هضم بیهوازی روی می‌دهد عبارت‌اند از هاضم بیهوازی و دفنگاه. هضم بیهوازی از چهار مرحله متوالی واکنش‌های شیمیایی و بیوشیمیایی تشکیل شده است که مواد آلی تجزیه شده و نهایتاً بیوگاز به همراه مواد تجزیه‌شده از سیستم خارج می‌شود. در شکل ۸، فرایند تولید گاز متان از هضم بیهوازی نشان داده شده است [۶،۱۰]. منابع زیست‌توده مختلفی با ساختار آلی متفاوت از فضولات حیوانی گرفته تا ضایعات کارخانه قند و شکر و زباله‌های جامد و فاضلاب شهری برای تولید بیوگاز در فرایند هضم بیهوازی به کار می‌روند. بر این اساس برای هضم انواع منابع آلی از هاضم‌هایی با طراحی‌های مختلف استفاده می‌گردد. هاضم بیهوازی مخزن سربسته‌ای (به‌عبارتی‌دیگر راکتور) است که فرایند هضم بیهوازی و تولید گاز متان در آن صورت می‌گیرد. در جدول ۲ انواع هاضم‌های بیهوازی صنعتی معرفی شده است. کیفیت و کمیت بیوگاز تولیدی، سرعت بیهوازی و مقدار آلودگی مایع خروجی از هاضم مهم‌ترین شاخص برای طراحی آن‌ها است [۶،۱۱،۱۲].

دسته آخر فناوری بیوشیمیایی برای استحصال انرژی زیست‌توده، بیوفیل‌ها شامل سوخت‌های مایع نظیر بیواتانول، بیومتانول، بیودیزل و سوخت‌های جامد مانند پلت‌ها (قطعه‌های فشرده چوب) در اندازه‌های مختلف و زائدات کشاورزی و همچنین سوخت‌های گازی همچون گاز سنتز با منشأ بیوگاز هستند. مهم‌ترین منابع اولیه تولید این سوخت‌ها عبارت‌اند از ضایعات چوبی، تفاله محصولات کشاورزی، نیشکر، چغندرقند، غلات و روغن گیاهان و سبزیجات [۱،۶،۱۳].

شکل ۸ فرایند هضم بیهوازی و تولید گاز متان [۶،۱۰]

جدول ۲ انواع هاضم‌های بیهوازی [۶]

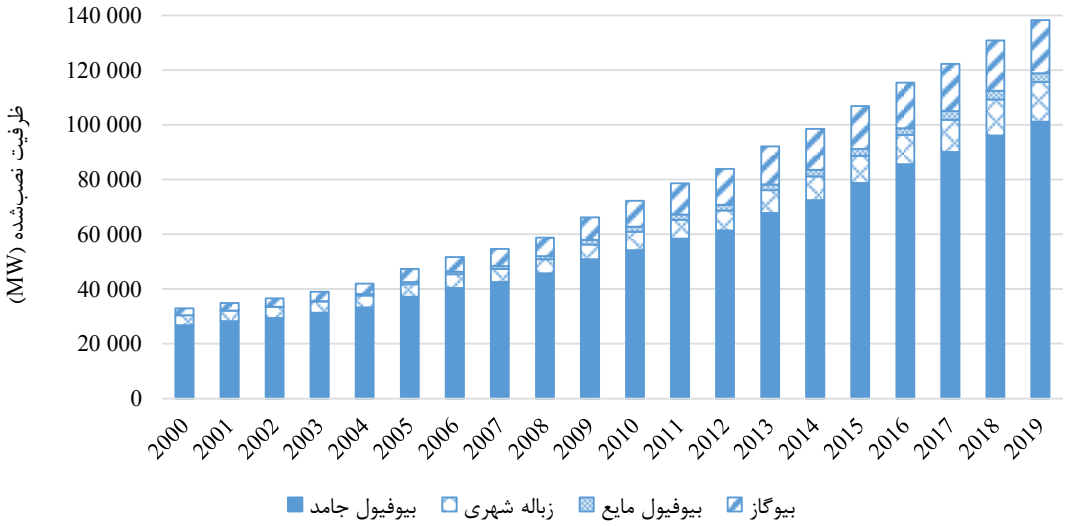
هاضم با سرپوش ثابت	هاضم با سرپوش شناور	هاضم اختلاط کامل
هاضم لاگن سرپوشیده	هاضم جریان پیستونی	هاضم بیهوازی بافل‌دار
هاضم بستر لجن بیهوازی	هاضم بستر سیال بیهوازی	هاضم تثبیت تماسی
هاضم تماسی	هاضم اسیدی فازی‌شده	هاضم حرارتی فازی‌شده

۳- وضعیت فعلی و آتی تولید برق مبتنی بر زیست‌توده در جهان

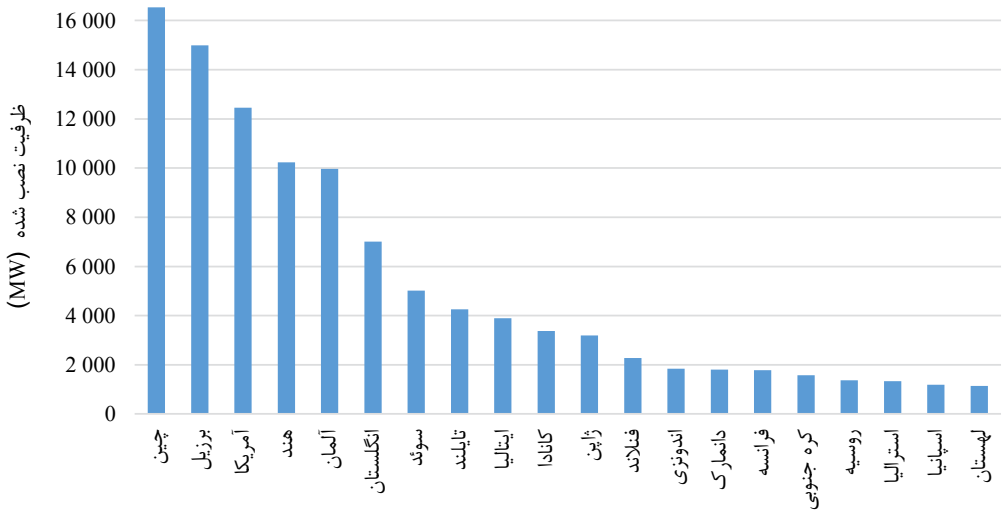
آژانس بین‌المللی انرژی تجدیدپذیر و گروه شبکه سیاستی انرژی تجدیدپذیر برای قرن بیست و یکم، دو سازمان معتبر بین‌المللی هستند که همواره گزارش‌های کاملی از وضعیت تکنولوژی، اشتغال، بهره‌برداری، سیاست‌گذاری و ... در حوزه انرژی‌های تجدیدپذیر در کشورهای مختلف ارائه می‌دهند. بر اساس آخرین گزارش آژانس بین‌المللی انرژی تجدیدپذیر، شکل ۹ روند ظرفیت نصب‌شده نیروگاه‌های برق با انواع سوخت‌های زیست‌توده را در طی سال‌های ۲۰۰۰ تا ۲۰۱۹ در سراسر جهان نشان می‌دهد. همان‌طور که مشخص است نمودار رسم‌شده دارای یک روند صعودی است و این امر بیانگر علاقه و سرمایه‌گذاری رو به رشد در این حوزه است. شکل ۱۰، ده کشور برتر در حوزه ظرفیت نصب‌شده نیروگاه‌های زیست‌توده را تا انتهای سال ۲۰۱۹ نشان می‌دهد. کشورهای برزیل و هند که به لحاظ شبکه سراسری برق و دیگر مسائل اقتصادی، جغرافیایی و .. تقریباً مشابه و قابل‌مقایسه با کشور ایران است در حوزه زیست‌توده جزء کشورهای پیشتاز می‌باشند. شکل ۱۱، وضعیت ظرفیت نصب نیروگاهی زیست‌توده در مناطق مختلف جهان را به تصویر کشیده است. طبق این شکل، روند نصب نیروگاه‌های زیست‌توده با نرخ بالایی در حال رشد است. البته با توجه به نمودار مربوط به خاورمیانه می‌توان نتیجه گرفت که این نرخ بالای رشد مربوط به کشورهای آسیای شرقی است [۱۳،۱۴].

در شکل ۱۲، وضعیت بهره‌برداری از نیروگاه‌های زیست‌توده در حوزه خاورمیانه و کشورهای اطراف ایران نشان داده شده است. همان‌گونه که مشخص است کشورهای ترکیه، پاکستان و قطر در منطقه پیشرو هستند و می‌توانند الگوی مناسبی برای ایران باشند.

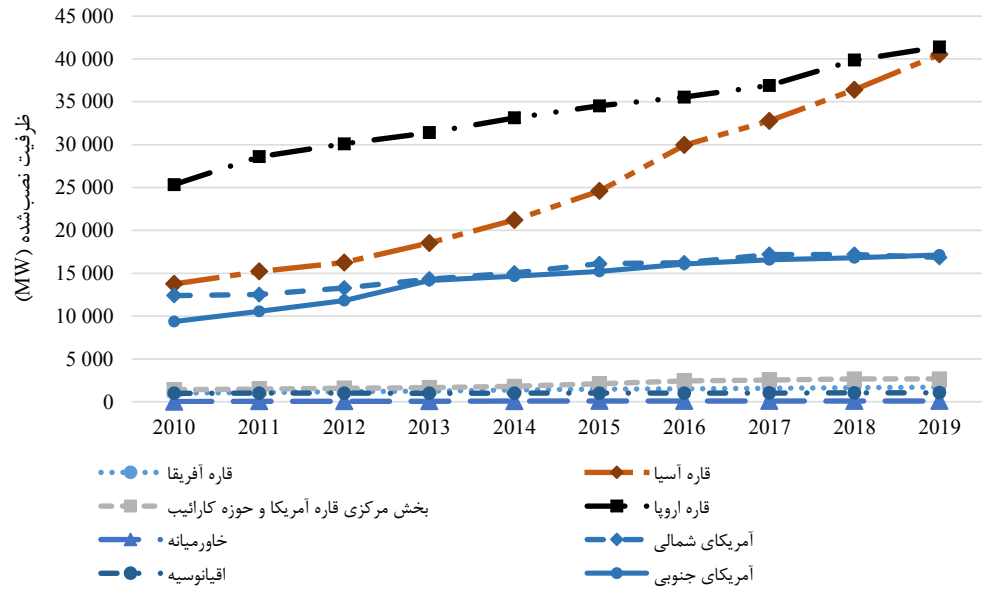
اختراع نتیجه فکر فرد یا افرادی است که برای اولین بار فرایند یا محصول خاصی را ارائه می‌کند و مشکلی را در یک حرفه، فن، فناوری، صنعت و مانند آن حل می‌نماید. لذا روند ثبت اختراع یک شاخص بسیار مناسب برای نشان‌دادن تحقیقات و تمایل جهانی بر روی یک موضوع است. شکل ۱۳، روند ثبت اختراعات را در حوزه زیست‌توده در بین سال‌های ۲۰۰۰ تا ۲۰۱۶ که به صورت رسمی اعلام شده نشان می‌دهد. منحنی نشان‌داده‌شده، بیانگر این است که در بین سال‌های ۲۰۰۶ تا ۲۰۱۴ میلادی روند ثبت اختراعات با



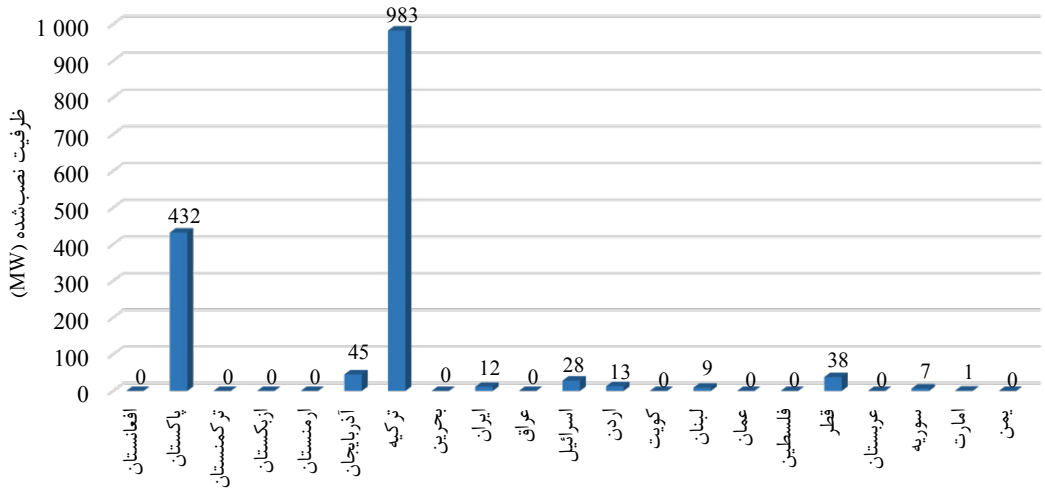
شکل ۹ روند ظرفیت نصب‌شده نیروگاه‌های برق با انواع سوخت‌های زیست‌توده در طی سال‌های ۲۰۰۰ تا ۲۰۱۹ [۱۳،۱۴]



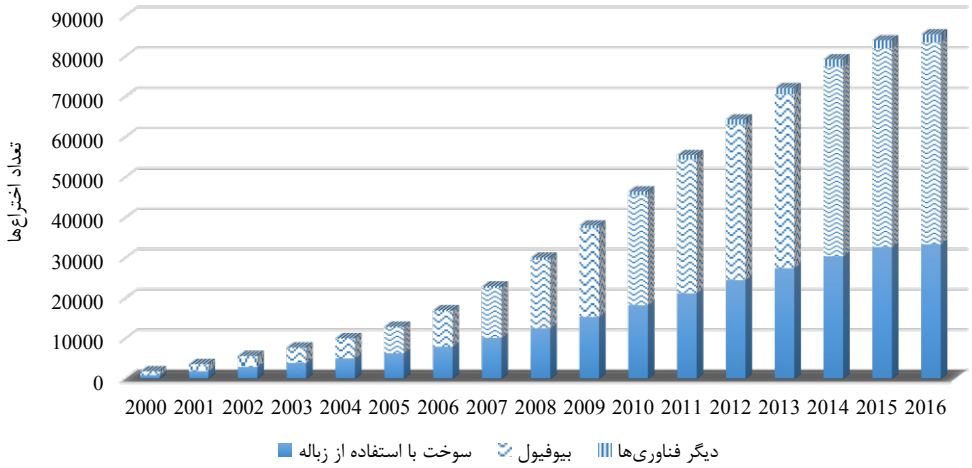
شکل ۱۰ کشورهای برتر در حوزه ظرفیت نصب‌شده نیروگاهی زیست‌توده تا انتهای سال ۲۰۱۹ [۱۳،۱۴]



شکل ۱۱ وضعیت ظرفیت نصب نیروگاهی زیست‌توده در مناطق مختلف جهان [۱۴]



شکل ۱۲ وضعیت ظرفیت نصب نیروگاهی زیست‌توده در حوزه خاورمیانه و کشورهای اطراف ایران [۱۴]



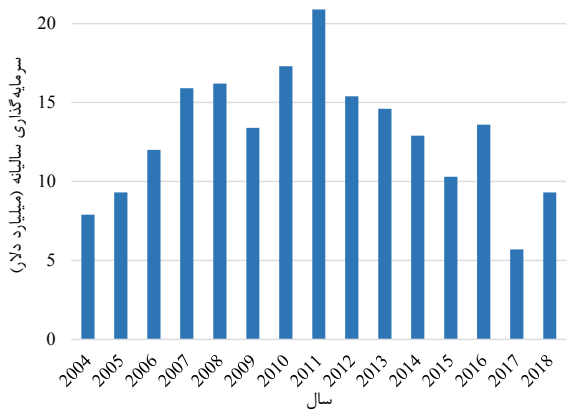
شکل ۱۳ روند ثبت اختراع‌ها در حوزه زیست‌توده [۱۴]

شیب زیادی در حال رشد بوده است و از سال ۲۰۱۴ به بعد اندکی این شیب کاهش یافته است. با توجه به این مطلب می‌توان دریافت که عمده فناوری‌های حوزه زیست‌توده تقریباً به مرحله بلوغ رسیده و یا نزدیک به این مرحله هستند. لذا نتیجه گرفته می‌شود که این حوزه فناوری کاملاً صنعتی شده و بیشتر ابعاد آن به مرحله تجاری‌سازی و استفاده انبوه جهانی رسیده است. حوزه مربوط به بیوفیول و سوخت زیست‌توده مبتنی بر زباله‌های شهری دارای بیشترین ثبت اختراعات هستند و این امر بدین معنی است که رویکرد جهانی به این دو مورد بیشتر است. صحت این نتیجه توسط منحنی نشان‌داده شده در شکل ۹ کاملاً تأیید می‌شود. در شکل ۹ مشخص است که ظرفیت نصب‌شده نیروگاه‌های زیست‌توده با استفاده از دو فناوری بیوفیول و زباله‌های شهری از دیگر انواع نیروگاه‌های زیست‌توده بیشتر است [۱۳،۱۴].

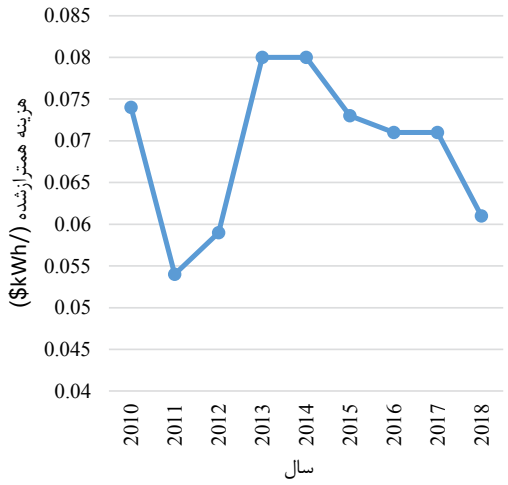
سرمایه‌گذاری سالیانه حوزه زیست‌توده در شکل ۱۴ نشان داده شده است. با توجه به این شکل، مقدار میانگین ۱۲/۸ میلیارد دلار در طی سال‌های ۲۰۰۴ تا ۲۰۱۸ در این حوزه سرمایه‌گذاری شده است. اگرچه مقدار سرمایه‌گذاری در سال ۲۰۱۷ کاهش یافته و به مقدار ۵/۷ میلیارد دلار رسیده است اما در سال ۲۰۱۸ به میزان ۹/۳ میلیارد دلار رسیده است و این بدین معنی است که حدوداً ۶۳٪ نسبت به سال ۲۰۱۷ افزایش یافته است [۱۵].

متداول‌ترین روش برآورد هزینه تمام‌شده برق در نیروگاه‌ها، روش هزینه یکنواخت برق یا هزینه همترازشده است. این شاخص، روشی مبتنی بر محاسبه ارزش فعلی هزینه‌های سرمایه‌گذاری و بهره‌برداری تولید برق در کل عمر پروژه است که در آن هزینه تولید یک کیلووات ساعت برق از تقسیم ارزش فعلی کل هزینه‌های انجام‌شده بر مقدار کل برق تولیدی به دست می‌آید [۱۶]. در شکل ۱۵ هزینه همترازشده نیروگاه‌های زیست‌توده در طی سال‌های ۱۰۱۰ تا ۲۰۱۸ نشان داده شده است [۱۵]. همان‌گونه که مشخص است روند هزینه از سال ۲۰۱۳ به بعد نزولی است و این امر بیان‌گر مقرون به‌صرفه‌شدن هرچه بیشتر احداث نیروگاه زیست‌توده است. طبق شکل ۹ که در سال ۲۰۱۸ نسبت به سال ۲۰۱۷، به اندازه حدوداً ۱۰GW به ظرفیت نیروگاه‌های زیست‌توده اضافه شده است، مقدار هزینه همترازشده به اندازه ۸٪ نسبت به سال ۲۰۱۷ کاهش یافته است.

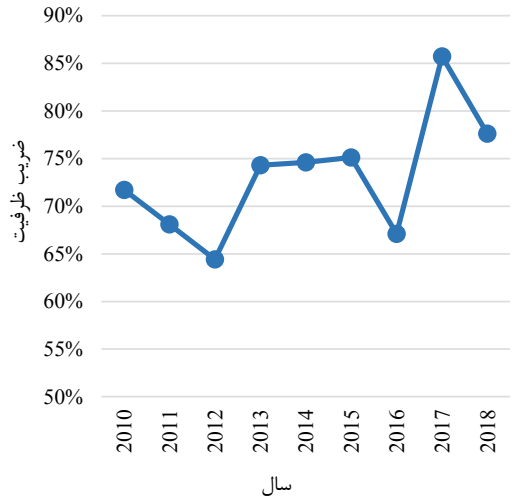
ضریب ظرفیت شاخص مهم دیگری برای ارزیابی نیروگاه‌های تجدیدپذیر است. این شاخص طبق تعریف عبارت است از تولید انرژی الکتریکی واقعی در طی یک دوره زمانی معین به حداکثر تولید انرژی الکتریکی ممکن در طی آن دوره. در شکل ۱۶ ضریب ظرفیت نیروگاه‌های زیست‌توده مشخص شده است. روند کلی نمودار به صورت صعودی است و به همین دلیل نتیجه گرفته



شکل ۱۴ سرمایه‌گذاری سالیانه حوزه زیست‌توده [۱۵]



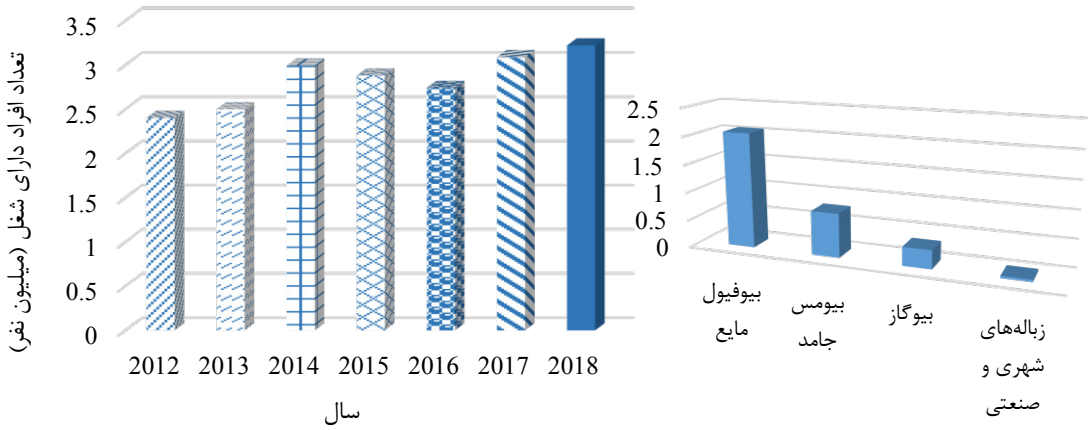
شکل ۱۵ هزینه همترازشده نیروگاه زیست‌توده [۱۵]



شکل ۱۶ ضریب ظرفیت نیروگاه‌های زیست‌توده [۱۷]

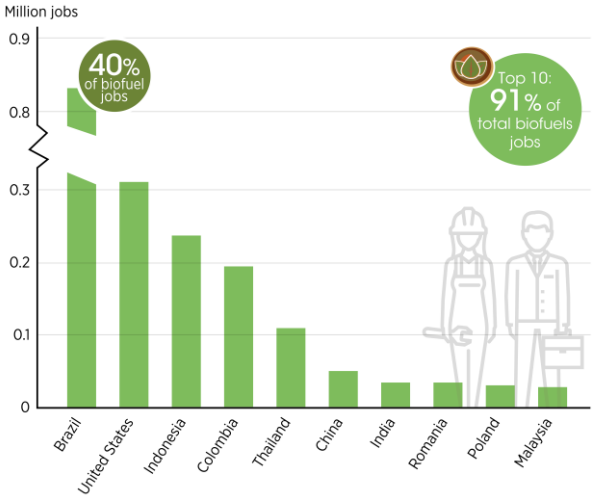
می‌شود که تکنولوژی زیست‌توده روزبه‌روز در حال پیشرفت است تا از بتوان از حداکثر ظرفیت ممکن استفاده نمود و به بازده بالاتری دست یافت [۱۷].

به منظور تحلیل اشتغال و کسب‌وکار حوزه زیست‌توده، آمار افراد مشتغل در طی سال‌های ۲۰۱۲ تا ۲۰۱۸ در شکل ۱۷ نشان داده شده است. در انتهای سال ۲۰۱۸ بیش از ۳ میلیون نفر در حوزه زیست‌توده مشغول به کار بوده‌اند که فناوری بیوفیول مایع دارای بیش‌ترین سهم است. اشتغال در حوزه‌های سوخت‌های زیستی نسبت به سال ۲۰۱۷ حدود ۶٪ افزایش یافته است. با توجه به این آمار می‌توان نتیجه گرفت که حوزه زیست‌توده فضای مناسبی برای تولید شغل و کسب‌وکار است [۱۸]. نسبت به سال ۲۰۱۷، تولید بیودیزل در بسیاری از این کشورها افزایش یافته اما در آرژانتین و اتحادیه اروپا کاهش یافته و در استرالیا، چین، مالزی و فیلیپین در همان سطح قبلی باقی مانده است. بیشتر این مشاغل در کاشت و برداشت مواد اولیه سوخت‌های زیستی هستند. در بخش سوخت‌های زیستی افراد کمتری جهت ساخت تجهیزات و فرآوری سوخت و تولید و نگهداری نیروگاه‌های موجود، استخدام می‌شوند، اما معمولاً این افراد از مهارت‌های بالاتری برخوردار هستند و دستمزد بالاتری دارند. تغییرات سالانه در اشتغال سوخت‌های زیستی همیشه با سود یا زیان شغلی برابر نیست. روغن نخل، سویا، ذرت و سایر



شکل ۱۷ وضعیت اشتغال در حوزه زیست‌توده [۱۸]

خوراک‌ها علاوه بر بخش انرژی، جهت مقاصد کشاورزی و تجاری نیز مورد استفاده قرار می‌گیرند و بنابراین استفاده نهایی از آن‌ها ممکن است از یک سال به سال دیگر بدون اینکه افراد شغل خود را از دست بدهند متفاوت باشد. مشخصات منطقه‌ای اشتغال حوزه سوخت‌های زیستی بدین گونه است که آمریکای لاتین نیمی از کل مشاغل را در سراسر جهان تشکیل می‌دهد، درحالی‌که در آسیا ۲۳٪ (بالأخص کارخانه‌های فعال تولید مواد اولیه جنوب شرقی آسیا)، آمریکای شمالی ۱۶٪ و اروپا ۱۰٪ است. شکل ۱۸ نشان‌دهنده ۱۰ کشور برتر در حوزه مشاغل مرتبط با سوخت‌های زیستی است که در مجموع حدود ۹۱٪ اشتغال تخمین‌زده‌شده جهانی را تشکیل می‌دهند. برزیل با آمار ۸۳۲ هزار شغل، بزرگ‌ترین نیروی کار حوزه سوخت بیوفیول مایع است که برابر بیش از ۴۰٪ کل اشتغال این حوزه در سراسر جهان است. افراد مشتغل این حوزه در آمریکا حدود ۳۱۱ هزار و در اروپا برابر ۲۰۷ هزار نفر است. نزدیک به ۲۳۷ هزار نفر در بخش بیودیزل اندونزی مشغول به کار بوده که نسبت به سال ۲۰۱۷ به اندازه ۱۲٪ افزایش یافته است. در فیلیپین، مالزی و تایلند مجموعاً ۱۷۶ هزار نفر دارای شغل هستند. کلمبیا یکی دیگر از تولیدکننده‌های مهم و کارآمد سوخت‌های زیستی آمریکای لاتین است که تولید آن در سال ۲۰۱۸ میلادی به حدود ۱/۱ میلیارد لیتر رسیده است. آمار مشاغل این کشور در سال ۲۰۱۸ میلادی برابر ۲۰۲ هزار نفر است [۱۸].



شکل ۱۸ ده کشور برتر در حوزه مشاغل مرتبط با سوخت‌های زیستی [۱۸]

یکی از ابزارهای مهم برای سنجش روند جهانی نصب و بهره‌برداری از نیروگاه‌های زیست‌توده، بررسی نقشه راه‌ها و اهداف برنامه‌ریزی‌شده کشورهای مختلف برای توسعه این نیروگاه‌ها است. در جدول ۳، کشورهایی که دقیقاً اهدف خود را برای توسعه این فناوری مشخص کرده‌اند نوشته شده است. نوع فناوری حوزه زیست‌توده، هدف تعیین‌شده و افق زمانی برای نیل به این هدف به تفکیک مشخص شده‌اند. کشورهای چین و هند پیشروی این حوزه هستند. کشور ترکیه که به لحاظ اقتصادی، سیاسی و ... قابل مقایسه با ایران است هدف ۱ GW تا سال ۲۰۲۳ برای خود درنظر گرفته است. با توجه به این جدول، پرواضح است که کشور ایران هم باید یک هدف مشخص با افق زمانی معقول برای توسعه فناوری نیروگاه‌های زیست‌توده تعریف نماید [۱۳].

۴- وضعیت فعلی و آتی حوزه نیروگاه‌های زیست‌توده در ایران

طبق آخرین آمار سازمان انرژی‌های تجدیدپذیر و بهره‌وری انرژی برق (ساتبا) تا اردیبهشت ۹۹ مقدار ۱۰/۶۵۶ MW ظرفیت نیروگاهی زیست‌توده نصب‌شده در کشور است و میزان اشتغال کم‌تر از ۱۰۰۰ نفر می‌باشد [۶].

ضرورت‌های قانونی و قوانین بالادستی همواره به مثابه تعیین‌کننده مسیر حرکت به سوی رشد هستند و به همین دلیل اهمیت فراوانی دارند. در کشور ایران، نهادهای مختلف حاکمیتی در خصوص توسعه فناوری انرژی‌های تجدیدپذیر وجود دارد که هر کدام متناسب با اهداف خود، قوانین مختلفی را تصویب نموده‌اند. مبتنی بر اسناد موجود، به طور کلی تلاش برای کسب فناوری و دانش فنی انرژی های نو و ایجاد نیروگاه‌های مربوطه در کشور مورد تأکید قرار گرفته است. مجموعه قوانین و آیین‌نامه‌هایی که فهرست آن‌ها در جدول ۴ نوشته شده هر یک به نوعی به صورت مستقیم و یا غیرمستقیم (پیوند با زمینه‌های اقتصادی، زیست محیطی، اجتماعی یا اداری و...) با موضوع انرژی‌های تجدیدپذیر و علی‌الخصوص نیروگاه‌های زیست‌توده در کشور مرتبط هستند. اسناد نوشته‌شده در این جدول بدین گونه منظم شده‌اند که اسناد با حوزه مکانی پراهمیت‌تر در ردیف‌های بالای جدول نوشته شده‌اند. در هریک از اسناد معرفی‌شده، حوزه موضوع آن نیز توضیح داده شده است. با توجه به تعداد انبوه اسناد مرتبط با حوزه نیروگاه‌های زیست‌توده در داخل کشور، ضرورت توسعه این فناوری در داخل کشور به طور کاملاً محسوس استنباط می‌شود.

بر اساس سند "ابلاغیه پایه نرخ خرید برق از نیروگاه‌های انرژی نو و پاک"، نرخ پایه خرید تضمینی برق از انواع فناوری‌های نیروگاه‌های

جدول ۳ چشم‌انداز نصب نیروگاه‌های زیست‌توده در کشورهای مختلف [۱۳]

کشور	فناوری	هدف	افق زمانی
الجزایر	زباله‌سوز	۱ GW	۲۰۳۰
اتریش	زیست‌توده جامد و بیوگاز	۲۰۰ MW	۲۰۲۰
بنگلادش	زیست‌توده جامد بیوگاز زباله‌سوز	۷ MW ۷ MW ۴۰ MW	۲۰۲۱
بوتان	همه فناوری‌ها	۵ MW	۲۰۲۵
برزیل	همه فناوری‌ها	۱۳/۷ GW	۲۰۲۱
چین	همه فناوری‌ها	۱۵ GW	۲۰۲۰
فنلاند	همه فناوری‌ها	۱۳/۲ GW	۲۰۲۰
آلمان	همه فناوری‌ها	۱۰۰ MW	اضافه‌کردن سالانه
هند	همه فناوری‌ها	۱۰ GW	۲۰۲۲
ایتالیا	همه فناوری‌ها	۳/۸ GW	۲۰۲۰
قزاقستان	همه فناوری‌ها	۱۵/۰۵ MW	۲۰۲۰
کره جنوبی	زیست‌توده جامد بیوگاز دفنگاه	۲۶۲۸ GWh ۱۶۱ GWh ۱۳۴۰ GWh	سالیانه تا ۲۰۳۰
مقدونیه	زیست‌توده جامد بیوگاز	۵۰ GWh ۲۰ GWh	۲۰۲۰
نیجریه	همه فناوری‌ها	۴۰۰ MW	۲۰۲۵
فلسطین	همه فناوری‌ها	۲۱ MW	۲۰۲۰
فیلیپین	همه فناوری‌ها	۲۷۷ MW	اضافه‌شدن از ۲۰۱۰ تا ۲۰۳۰
پرتغال	زیست‌توده جامد بیوگاز	۷۶۹ MW ۵۹ MW	۲۰۲۰
سودان	زیست‌توده جامد بیوگاز	۵۴ MW ۶۸ MW	۲۰۳۱ ۲۰۳۱
تایلند	زیست‌توده جامد بیوگاز زباله‌سوز	۴/۸ GW ۶۰۰ MW ۴۰۰ MW	۲۰۲۱
تونس	زیست‌توده جامد	۳۰۰ MW	۲۰۳۰
ترکیه	زیست‌توده جامد	۱ GW	۲۰۲۳
یمن	همه فناوری‌ها	۶ MW	۲۰۲۵
اتیوپی	همه فناوری‌ها	۱۰۳/۵ MW	۲۰۳۰
ژاپن	همه فناوری‌ها	۷/۲۸ GW	۲۰۳۰
مالزی	بیوگاز زباله‌سوز بقیه فناوری‌ها	۴۱۰ MW ۳۹۰ MW ۵۴۰ MW	۲۰۳۰
عربستان	زباله‌سوز	۳ GW	۲۰۴۰

زیست‌توده در سال ۱۳۹۹ مطابق جدول ۵ است. این نرخ نسبت به سال ۱۳۹۷ با توجه به افزایش نرخ ارز، به مقدار حدوداً ۳۰٪ افزایش یافته است. از طرفی دیگر با توجه به "دستورالعمل حمایت از بومی‌سازی فناوری نیروگاه‌های تجدیدپذیر و پاک" که در اجرای تبصره ذیل ماده ۶ آیین‌نامه اجرایی "ماده ۶۱ قانون اصلاح الگوی مصرف انرژی" ابلاغ شده است، نیروگاه‌های تجدیدپذیری که از تجهیزات بومی‌سازی‌شده استفاده نمایند از ضریب تشویق در نرخ خرید تضمینی برق برخوردار شده و متناسب با میزان بومی‌سازی فناوری، نرخ خرید برق این نیروگاه‌ها تا ۳۰٪ نسبت به نرخ پایه جدول ۴ افزایش خواهد یافت. همچنین تصویب قانون "کمک به ساماندهی پسماندهای عادی با مشارکت بخش غیر دولتی" در خصوص صفرشدن نرخ مالیات مستقیم برای کلیه فعالیت‌های مرتبط با مدیریت اجرایی پسماند شامل تفکیک از مبدأ جمع‌آوری، پردازش، بازیافت، تولید انرژی برق، منجر شده که دوره بازگشت سرمایه پس از احداث این نیروگاه‌ها به طور متوسط به ۵ سال کاهش یابد که یک زمان معقول است. این سیاست‌های تشویقی بستر مناسبی سرمایه‌گذاری در این حوزه فراهم کرده است.

۵- جمع‌بندی و نتیجه‌گیری

در این مقاله، وضعیت فعلی و آتی ایران و جهان در حوزه زیست‌توده بررسی شد. نتایج نشان‌دهنده این است که روند سرمایه‌گذاری و تحقیقات در این حوزه با سرعت و نرخ بالایی در حال رشد است. از طرف دیگر، هزینه همترازشده نصب و بهره‌برداری از نیروگاه‌های زیست‌توده روزبه‌روز در حال کاهش است که به معنی مقرون‌به‌صرفه‌شدن هرچه بیشتر نصب و بهره‌برداری از این نوع نیروگاه‌های برق است. از طرف دیگر تا پایان سال ۲۰۱۸ میلادی بیش از ۳ میلیون نفر در این حوزه مشغول به کار بوده که بیانگر فضای بسیار مناسب برای ایجاد اشتغال جدید و کسب‌وکار است. در خاورمیانه، کشورهای ترکیه و پاکستان در حوزه نصب و بهره‌برداری از نیروگاه‌های زیست‌توده پیشرو می‌باشند و می‌توانند یک الگوی مناسب برای کشور ایران باشند.

خوشبختانه در کشور ایران بیش از ۲۰ سند بالادستی وجود دارد که به حوزه فناوری زیست‌توده مرتبط هستند و به همین دلیل بستر بسیار مناسبی برای توسعه فناوری‌های این حوزه و نصب و بهره‌برداری از این نیروگاه‌ها در کشور وجود دارد؛ اما علی‌رغم این بستر مناسب، ظرفیت نیروگاهی زیست‌توده نصب‌شده بسیار ناچیز است. مهم‌ترین چالش توسعه فناوری‌های زیست‌توده و نصب این نیروگاه‌ها در ایران، مسائل اقتصادی است که نوسانات نرخ ارز مشکل را دوچندان می‌کند. به‌هرحال، در سال ۱۳۹۸ با ابلاغ قیمت‌های جدید نرخ پایه خرید تضمینی برق و معافیت از مالیات برای نیروگاه‌های زیست‌توده پیش‌بینی می‌شود سرمایه‌گذاری برای احداث این نیروگاه‌ها در کشور رشد چشمگیری داشته باشد. زیرا دوره بازگشت سرمایه اولیه به زمان معقولی کاهش یافته و سرمایه‌گذاران از سود خوبی برخوردار می‌شوند.

جدول ۴ اسناد ملی و ضرورت‌های قانونی بالادستی کشور در حوزه انرژی‌های تجدیدپذیر و علی‌الخصوص زیست‌توده

ردیف	نام سند	حوزه مکانی	حوزه موضوعی	سال تصویب
۱	سیاست‌های کلی نظام در بخش انرژی، ابلاغی از سوی مقام معظم رهبری	مقام معظم رهبری	سیاست‌های کلی منابع انرژی، بهینه‌سازی مصرف انرژی و کسب دانش بومی	۱۳۷۷
۲	سیاست‌های اقتصاد مقاومتی ابلاغی مقام معظم رهبری	مقام معظم رهبری	سیاست‌های کلی اقتصاد با رویکرد جهادی، انعطاف‌پذیر، فرصت‌زا، مولد، درون‌زا، پیشرو و برون‌گرا	۱۳۹۲
۳	سیاست‌های کلی محیط‌زیست ابلاغی	مقام معظم رهبری	مدیریت جامع، هماهنگ و نظام‌مند منابع حیاتی مبتنی بر توان و	۱۳۹۴

ردیف	نام سند	حوزه مکانی	حوزه موضوعی	سال تصویب
	مقام معظم رهبری		پایداری زیست‌بوم	
۴	سند چشم‌انداز بیست‌ساله کشور	مجمع تشخیص مصلحت نظام با ابلاغ مقام معظم رهبری	چشم‌انداز جمهوری اسلامی ایران در افق ۱۴۰۴ هجری شمسی در کلیه بخش‌های اقتصادی، اجتماعی، سیاسی، فرهنگی، نظامی و ...	۱۳۸۲
۵	قانون برنامه ششم توسعه و اسناد پشتیبان آن	مجلس شورای اسلامی و سازمان برنامه‌وبودجه کشور	برنامه‌ریزی جامع مدیریت کشور در همه حوزه‌ها در افق زمانی ۱۳۹۶ الی ۱۴۰۰	۱۳۹۶
۶	قانون اصلاح الگوی مصرف انرژی	مجلس شورای اسلامی	ارتقاء بهره‌وری مصرف انواع انرژی و استفاده هرچه بیشتر از منابع تجدیدپذیر	۱۳۸۹
۷	قانون اجرای سیاست‌های کلی اصل ۴۴ قانون اساسی	مجلس شورای اسلامی	تعیین قلمرو فعالیت‌های هر یک از بخش‌های دولتی، تعاونی و خصوصی	۱۳۸۶
۸	قانون هدفمندکردن یارانه‌ها	مجلس شورای اسلامی	اصلاح قیمت حامل‌های انرژی برای بهره‌برداری بهینه مصرف انرژی	۱۳۸۷
۹	سند نقشه جامع علمی کشور	مجلس شورای اسلامی	اهداف، اولویت‌ها و راهبردهای نظام علم و فناوری کشور	۱۳۸۹
۱۰	قانون عضویت دولت جمهوری اسلامی ایران در آژانس بین‌المللی انرژی‌های تجدیدپذیر	مجلس شورای اسلامی	رعایت قوانین بین‌المللی حوزه انرژی‌های تجدیدپذیر و بهره‌مندی از تسهیلات بین‌المللی	۱۳۹۱
۱۱	لایحه الحاق دولت جمهوری اسلامی ایران به پروتکل کیوتو	مجلس شورای اسلامی	رعایت قوانین بین‌المللی محیط‌زیست و تغییرات آب و هوایی و گسترش نیروگاه‌های تجدیدپذیر	۱۳۸۴
۱۲	قانون مصوب کمک به ساماندهی پسماندهای عادی با مشارکت بخش غیردولتی	مجلس شورای اسلامی	مالیات مستقیم با نرخ صفر برای کلیه فعالیت‌های مرتبط با مدیریت اجرایی پسماند شامل تفکیک از مبدأ جمع‌آوری، پردازش، بازیافت، تولید انرژی و دفع	۱۳۹۹
۱۳	سند ملی راهبردی انرژی کشور	مصوب هیئت وزیران و شورای عالی انرژی	راهبردهای مدیریت بخش انرژی کشور شامل: نفت و گاز، برق، انرژی اتمی و زغال‌سنگ	۱۳۹۶
۱۴	سند ملی توسعه دانش‌بنیان انرژی‌های تجدیدپذیر	شورای عالی انقلاب فرهنگی	چشم‌اندازها، سیاست‌ها و اهداف توسعه انرژی تجدیدپذیر با تأکید بر دانش بومی	۱۳۹۳
۱۵	دستورالعمل حمایت از بومی‌سازی فناوری نیروگاه‌های تجدیدپذیر و پاک	وزارت نیرو	حمایت از ساخت تجهیزات نیروگاه‌های تجدیدپذیر	۱۳۹۷
۱۶	برنامه راهبردی وزارت نیرو در افق ۱۴۰۴	وزارت نیرو	نقشه راه مأموریت‌ها، چشم‌انداز و ارزش‌های وزارت نیرو در بخش‌های مختلف شامل: برق، آب، پژوهش و ...	۱۳۹۲
۱۷	سند مسیر راه فناوری صنعت برق ایران	وزارت نیرو	تبیین مسیر راه توسعه فناوری‌های صنعت برق در ایران در کنار تصویری از مسیر رشد و تکامل فناوری‌ها در این صنعت در جهان	۱۳۹۲
۱۸	ابلاغیه پایه نرخ خرید برق از نیروگاه‌های انرژی نو و پاک	وزارت نیرو	تعیین نرخ خرید تضمینی برق از نیروگاه‌های تجدیدپذیر	۱۳۹۸
۱۹	دستورالعمل حمایت از بومی‌سازی فناوری نیروگاه‌های تجدیدپذیر و پاک	وزارت نیرو	ضریب تشویقی افزایش نرخ خرید پایه خرید برق از نیروگاه‌های تجدیدپذیر و پاک با توجه به میزان بومی‌سازی تجهیزات نیروگاه	۱۳۹۷
۲۰	سند راهبرد ملی توسعه انرژی‌های تجدیدپذیر کشور	ستاد توسعه فناوری انرژی‌های تجدیدپذیر معاونت علمی و فناوری ریاست جمهوری	نقشه راه و برنامه‌های عملیاتی توسعه انرژی‌های تجدیدپذیر در کشور، حمایت از تأسیس مراکز تحقیقات کاربردی و نیز ایجاد قطب‌های تخصصی و ...	۱۳۹۳
۲۱	سند چشم‌انداز توانیر در افق ۱۴۰۴	شرکت توانیر	اهدافی ۱۲ گانه برای صنعت برق ازجمله: توانمندی صنعت در مدیریت بحران و پدافند غیرعامل، هوشمندسازی شبکه برق، کسب فناوری‌های نوین و کاربردی، مرکزیت تبادل برق در منطقه	۱۳۹۶
۲۲	سند راهبردی برنامه‌ریزی جامع انرژی کشور	پژوهشگاه نیرو	سازمان‌دهی طرح‌های کلان برنامه‌ریزی انرژی کشور	۱۳۹۵
۲۳	سند راهبرد ملی و نقشه راه توسعه فناوری‌های مرتبط با انرژی زیست‌توده در ایران	پژوهشگاه نیرو	سازمان‌دهی طرح‌های کلان برنامه‌ریزی توسعه نصب و بهره‌برداری از نیروگاه‌های زیست‌توده	۱۳۹۵
۲۴	دستورالعمل صادرات برق انرژی‌های تجدیدپذیر و پاک غیردولتی	سازمان انرژی‌های تجدیدپذیر و بهره‌وری انرژی برق (ساتبا)	شرایط و ضوابط و روش صادرات برق تجدیدپذیر	۱۳۹۷

جدول ۵ نرخ پایه خرید تضمینی برق از نیروگاه‌های زیست‌توده بر اساس مصوبه سال ۱۳۹۸

ظرفیت	فناوری	نرخ پایه خرید تضمینی برق (ریال بر کیلووات ساعت)
تا ظرفیت ۱۰ MW	لندفیل	۴۰۵۰
تبصره: به‌منظور رفع مشکلات زیست‌محیطی در استان‌های ساحلی و کلان‌شهرها، نرخ پایه خرید تضمینی برق به مقدار دو برابر افزایش می‌یابد	سایر فرآیندهای زیستی (بیوشیمیایی) ازجمله: هاضم بیهوازی	۵۲۵۰
	کلیه فرآیندهای حرارتی (ترموشیمیایی) ازجمله: زباله‌سوزی، گازی‌سازی و پیرولیز	۵۵۵۰
ظرفیت ۱۰ MW تا ۱۰۰ MW	همه فناوری‌ها	تعیین رقابتی نرخ پایه خرید تضمینی برق با برگزاری مناقصه و انتخاب کم‌ترین قیمت پیشنهادی تبصره: سقف نرخ قابل پیشنهاد برای شرکت‌کنندگان در مناقصه برابر ۵۰۰۰ ریال بر کیلووات ساعت است

۶- مراجع

[1] مهدی رضائی و همکاران، *سند راهبرد ملی و نقشه راه توسعه فناوری‌های مرتبط با انرژی زیست‌توده در ایران*، پژوهشگاه نیرو، وزارت نیرو، ۱۳۹۴.

[2] M. R. Asadi, M. Moharrampour, and H. Abdollahian, Review state of biomass energy in iran, *Advanced Materials Research*, vol. 463, pp. 885-889, 2012.

[3] J. Bedia, M. Peñas-Garzón, A. G. Avilés, J. J. Rodriguez, and C. Belver, A review on the synthesis and characterization of biomass-derived carbons for adsorption of emerging contaminants from water, *C—Journal of Carbon Research 4*, no. 4, pp.1-53, 2018.

[4] P. McKendry, Energy production from biomass (part 2): conversion technologies, *Bioresource technology*, vol. 83, no.1, pp.47-54, 2002.

[5] S. Capareda, *Introduction to biomass energy conversions*, New York: Taylor & Francis Group, 2014.

[6] *فناوری‌های تولید انرژی از زیست‌توده*، دفتر انرژی زیست‌توده، سازمان انرژی‌های تجدیدپذیر و بهره‌وری برق ایران (ساتبا)؛ http://www.satba.gov.ir/fa/aboutorganization/ationoffice/zisttoodeh office.

[7] S. Sharma, R. Meena, A. Sharma, and P. Goyal, Biomass conversion technologies for renewable energy and fuels: A review note, *IOSR J. Mech. Civ. Eng*, vol. 11, no. 2, pp. 28-35, 2014.

[8] پ. گرجی تهرانی، ن. مهردادی، م. ج. امیری، بررسی و اولویت‌بندی فناوری‌های مختلف تولید انرژی از منابع زیست‌توده، *پنجمین کنفرانس انرژی‌های تجدیدپذیر پاک و کارآمد*، تهران، ایران، ۱۳۹۲.

[9] A. Molino, S. Chianese, and D. Musmarra, Biomass gasification technology: The state of the art overview, *Journal of Energy Chemistry*, vol. 21, no.1 ,pp. 10-25, 2016.

[10] م. ع. یاوری، ر. قاسم زاده، م. اکرمی، بررسی عوامل تأثیرگذار بر فرآیند هضم بیهوازی و تولید بیوگاز، *کنفرانس بین‌المللی زنجیره تأمین سبز*، لاهیجان، ایران، ۱۳۹۶.

[11] P. Vandevivere, L. De Baere, and W. Verstraete, Types of anaerobic digester for solid wastes, *Biomethanization of the organic fraction of municipal solid wastes. Iwa Publishing*, pp. 111-140, 2003.

[12] ع. نظری، ج. نصیری، انواع هاضم‌های بیهوازی برای استحصال انرژی از مواد آلی فسادپذیر، *فصلنامه انرژی‌های تجدیدپذیر و نو*، دوره ۱، شماره ۲، صفحه ۳۷-۴۴، ۱۳۹۳.

[13] *Renewables 2019: Global status report*, REN21 Secretariat; https://www.ren21.net/reports/global-status-report/.

[14] *Renewable capacity statistics 2020*, International Renewable Energy Agency; https://www.irena.org/Publications.

[15] *Global Trends in Renewable Energy Investment 2019*, Frankfurt School-UNEP centre/BNEF; https://wedocs.unep.org/bitstream/handle/20.500.11822/29752/GTR2019.pdf?sequence=1&isAllowed=y.

[16] س. محمودی، ه. برهمندپور، ک. حیدری، تعیین قیمت تمام‌شده برق بر ا ساس الگوریتم پیشنهادی LCOE منطبق بر تکنولوژی‌های مختلف و مطال عه موردی آن در کشور ایران، *سی و یکمین کنفرانس بین‌المللی برق*، تهران، ایران، ۱۳۹۴.

[17] *Renewable power generation costs in 2018*, International Renewable Energy Agency; https://www.irena.org/Publications.

[18] *Renewable energy and jobs: annual review 2019*, International Renewable Energy Agency; https://www.irena.org/Publications.