بررسی وضعیت انرژی‌های تجدیدپذیر زیستی در ایران و جهان

کد موضوعی: ۲۸۰
شماره مسلسل: ۱۵۷۹۶
اسفندماه ۱۳۹۶

معاونت پژوهش‌های زیربنایی و امور تولیدی
دفتر: فناوری‌های نوین

به نام خدا

فهرست مطالب

چکیده ۱
مقدمه ۲
۱. انرژی‌های تجدیدپذیر زیستی ۴
۲. روند توسعه انرژی‌های زیستی در جهان ۱۶
۳. روند توسعه انرژی‌های زیستی در ایران ۲۰
جمع‌بندی و پیشنهادهای سیاستی ۳۲
منابع و مآخذ ۳۵

بررسی وضعیت انرژی‌های تجدیدپذیر زیستی در ایران و جهان

چکیده

پیشران‌های مختلفی از قبیل کاهش وابستگی به سوخت فسیلی و استفاده از منابع زیستی طبیعی، امنیت و استقلال انرژی، توسعه پایدار و کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای و دیگر ترکیبات سمی خطرناک، در توسعه فناوری‌های تولید انرژی‌های تجدیدپذیر ازجمله انرژی‌های زیستی توسط کشورهای مختلف نقش دارند.

انرژی‌های زیستی شامل سوخت (بیواتانول و بیودیزل)، گاز، برق و گرمای زیستی هستند. در کشور ما الزامات و سیاست‌هایی از قبیل تأمین سلامت، جلوگیری از انتشار آلاینده‌های خطرناک، حفاظت از محیط و کنترل پسماندها و پساب‌ها و نیز تعهد به اجرای کنوانسیون‌های بین‌المللی ازجمله توافقنامه تغییرات آب‌وهوایی پاریس می‌تواند از پیشران‌های مهم در توسعه انرژی‌های زیستی باشد.

چالش‌های مهمی درخصوص سوخت زیستی در کشور نظیر کمبود منابع طبیعی به‌عنوان خوراک اولیه سوخت، هزینه‌های بالای تولید سوخت زیستی و قیمت نهایی محصول در کنار پایین بودن درآمد سرانه، عدم رغبت کافی پالایشگاه‌ها به راه‌اندازی خطوط تولید سوخت زیستی به‌دلیل مشکلات فنی و تکنیکی و قدرت رقابت کمتر این نوع انرژی در برابر انرژی‌هایی همچون الکتریسیته در خودروهای برقی وجود دارند که باعث شده تاکنون تولید و مصرف آن در سیاستگذاری‌های کلان کشور در اولویت قرار نگیرد.

در مقابل، زمینه‌های لازم برای توسعه برق زیستی در کشور فراهم شده است. برای مثال، جهت حل معضلات زیستی ناشی از تجمع زباله‌ها و پسماندها و ارتقای سلامت عمومی، احداث و بهره‌برداری از چندین کارخانه تولید برق زیستی مورد حمایت قرار گرفته است. هرچند که در این حوزه نیز چالش‌هایی در مورد قیمت خرید برق پاک و نحوه تعامل با ذی‌نفعانی همچون شهرداری و سازمان محیط زیست وجود دارد.

با این توضیح ضروری است سیاست‌هایی اتخاذ شود که در آنها توسعه فناوری‌های مورد نیاز تولید انرژی‌های تجدیدپذیر زیستی با در نظر گرفتن وضعیت بازار (مشتریان و ذی‌نفعان و تسهیل تعامل با آنها)، تأمین منابع اولیه، تجهیزات و سایر زیرساخت‌های مورد نیاز مدنظر قرار گیرد. توسعه فناوری‌هایی که با گذشت زمان همچنان در بازار رقابت حضور داشته و جای خود را به محصولات و فناوری‌های جدیدتر نداده باشد، حائز اهمیت زیادی است و در این راستا بهره‌گیری مؤثر از فرصت‌ها و مشوق‌های بین‌المللی و تسهیل انتقال و توسعه فناوری‌ها و نوآوری‌ها در مسیر توسعه پایدار اجتناب‌ناپذیر است.

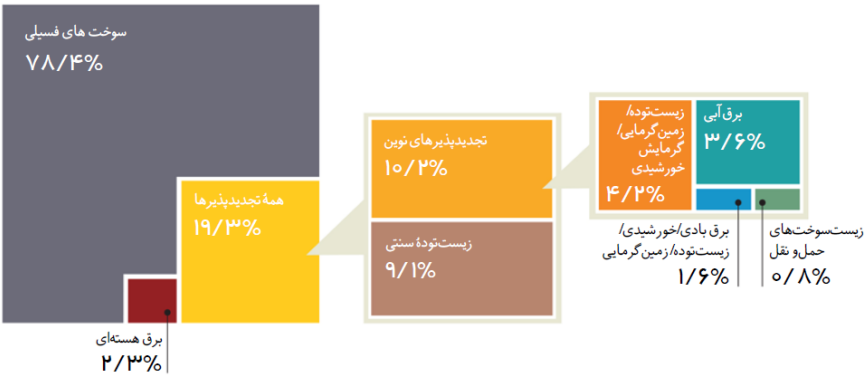
مقدمه

در سال‌های اخیر مسائلی از قبیل توسعه پایدار، حفاظت از محیط زیست و کنترل انتشار گازهای گلخانه‌ای سبب شده تا کشورهای زیادی توسعه انرژی‌های تجدیدپذیر را در سیاست‌های خود دنبال کنند. (Matzenberger, 2015)

نمودار ۱ سهم تقریبی انواع مختلف انرژی را از مصرف انرژی نهایی جهان در سال ۲۰۱۵ نشان می‌دهد. همان‌طور که مشاهده می‌شود، از کل انرژی مصرفی جهان در سال

۲۰۱۵، حدود ۷۸/۴ درصد توسط سوخت‌های فسیلی، ۲/۳ درصد توسط برق هسته‌ای و ۱۹/۳ درصد توسط انرژی‌های تجدیدپذیر حاصل شده است. نزدیک به نیمی از انرژی‌های تجدیدپذیر از طریق استفاده سنتی از زیست‌توده‌ها (سوزاندن چوب و ضایعات و...) و نیمی دیگر توسط روش‌های نوین تأمین شده است. انرژی‌های تجدیدپذیر نوین شامل انرژی گرمایی خورشیدی، زیستی و زمین‌گرمایی (در تولید گرمای تجدیدپذیر)، انرژی برق بادی، خورشیدی، زیستی، زمین‌گرمایی و برق آبی (برای تولید برق تجدیدپذیر) و زیست‌سوخت‌ها (برای تولید سوخت تجدیدپذیر) هستند. انرژی‌های زیستی شامل سوخت، گرما، گاز و برق زیستی که با استفاده از روش‌های سنتی و یا نوین تولید می‌شوند، بیش از ۱۰ درصد مصرف کل انرژی این سال را تشکیل داده‌اند که معادل با ۵۰ درصد انرژی‌های تجدیدپذیر بوده است. با توجه به نمودار ۱، حدود ۰/۸ درصد از کل انرژی مصرفی جهان در حوزه زیست‌سوخت‌هاست که معادل با ۴/۱ درصد از کل انرژی‌های تجدیدپذیر است. پیش‌بینی می‌شود که سهم انرژی‌های زیستی از کل انرژی‌های تجدیدپذیر سال ۲۰۲۰ به ۵۷ درصد برسد که ۴۵ درصد شامل تولید گرما و برق با کمک زیست‌توده‌ها (سوزاندن زیست‌توده‌های سنتی و فرآوری زیست‌توده‌ها و تولید انرژی به روش نوین) و ۱۲ درصد شامل تولید سوخت زیستی می‌شود. (Ecofys, 2012; Banja, 2013)

نمودار ۱. سهم تقریبی انواع مختلف انرژی از مصرف انرژی نهایی جهان در سال ۲۰۱۵



مأخذ: ساتبا، ۱۳۹۶.

۱. انرژی‌های تجدیدپذیر زیستی

۱-۱. سوخت زیستی

درحال حاضر تحقیقات گسترده‌ای برای تعیین قابلیت انرژی‌های جایگزین سوخت فسیلی ازجمله انرژی‌خورشیدی، الکتریسیته و زیستی در سیستم حمل‌ونقل درحال انجام است. توسعه سوخت‌های زیستی یکی از گزینه‌هایی است که در کشورهای توسعه‌یافته و کشورهای برخوردار از منابع طبیعی مانند جنگل و زمین‌های کشاورزی دنبال می‌شود (خردمندنیا، ۱۳۹۶). مقدار کلی زیست‌توده به‌عنوان خوراک ورودی صنعت سوخت زیستی، نقش بسیار مهمی در جهت‌گیری کشورها و سیاستگذاری‌های مرتبط با تولید این سوخت دارد. به‌عنوان مثال اتحادیه اروپا در سال ۲۰۱۲ با وجود برخورداری از منابع طبیعی متنوع، ۲۸۰ میلیون تن زیست‌توده در اختیار داشته (Scarlat, 2015) و تقریباً ۱۳ درصد از سوخت زیستی جهان را تولید کرده

است (جدول ۱). این در حالی است که در همان سال آمریکای شمالی با ۵۱ درصد، آمریکای لاتین با ۲۹ درصد، آسیای شرقی با ۶ درصد و آفریقا و خاورمیانه با حدود ۱/۶ درصد در تولید سوخت زیستی جهان نقش داشته‌اند. (Navigantresearch, 2014)

جدول ۱. منابع مختلف زیست‌توده و مقدار آن برای تولید سوخت زیستی اروپا، سال ۲۰۱۲

نوع زیست‌توده		مقدار (میلیون تن)
جنگلی	چوب	۱۰۰
	پسماندها و محصولات جانبی چوب	۷۸
کشاورزی	گیاهان زراعی	۴۰
	پسماندها و محصولات جانبی زراعی	۳۲
ضایعات	-	۳۰
کل	-	**۲۸۰**

Source: Scarlat, 2015.

انواع مختلفی از سوخت‌های زیستی معمولی و پیشرفته وجود دارند که مراحل توسعه و فناوری‌های تولید آنها در جدول ۲ ارائه شده است. مهمترین سوخت‌های زیستی تجاری شده که در سیستم حمل‌ونقل مورد استفاده‌اند، شامل بیواتانول و بیودیزل هستند.

جدول ۲. مراحل توسعه انواع سوخت‌های زیستی و فناوری‌های تولید آنها

نوع		سوخت‌های زیستی پیشرفته			سوخت‌های زیستی رایج
		در مرحله تحقیق و توسعه	مدل نمایشی[1]	پیش‌تجاری[2]	تجاری شده
سوخت‌های زیستی مایع	بیواتانول	اتانول سلولزی	-	-	اتانول قندی و نشاسته‌ای
	سوخت‌های زیستی دیزلی	بیودیزل از میکروجلبک‌ها و هیدروکربن‌ها با پایه قندی	دیزل BtL به کمک فناوری تبادل گازی	بیودیزل به کمک تیمار هیدروژنی گیاهان روغنی (HVO)	بیودیزل به کمک فناوری تبادل استری
	دیگر سوخت‌ها و افزودنی‌ها	سوخت‌های جدید از قبیل فورانیکس	بیوبوتانول، دی‌متیل‌اتر با فناوری پیرولیز	متانول	-
سوخت‌های زیستی گازی	بیومتان	بیوگاز مصنوعی	-	-	بیوگاز با هضم بی‌هوازی
	هیدروژن	انواع سوخت‌های جدید با فناوری تبادل گازی و بازآرایی	بهبود بیوگاز	-	-

Source: IEA, 2011.

1. Demonstration
2. Early Commercial

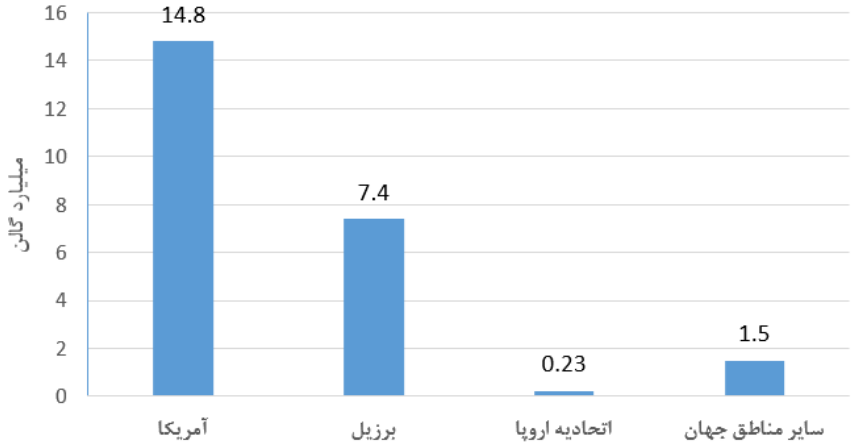
الف) بیواتانول

منابع و مواد اولیه قابل تبدیل به بیواتانول به سه گروه عمده قندی، نشاسته‌ای و سلولزی تقسیم می‌شوند. بیواتانول حاصل از مواد اولیه قندی و نشاسته‌ای مانند نیشکر، چغندر قند، ملاس نیشکر، انواع میوه‌های شیرین و ضایعات و فرآورده‌های جنبی آنها، غلات مختلف و ضایعات آنها، سیب زمینی و از این دست، بیواتانول نسل اول (سوخت زیستی رایج) نامیده می‌شود که تقریباً تمام بیواتانول تولید شده کنونی جهان در مقیاس تجاری را شامل می‌شود. بیواتانول حاصل از انواع زیست‌توده سلولزی از قبیل ضایعات محصولات کشاورزی، مرتعی و جنگلی، ضایعات بعضی صنایع تولیدی و کارگاهی، بخشی از پسماندهای شهری و از این دست را بیواتانول نسل دوم (سوخت زیستی پیشرفته) می‌نامند. (IEA, 2011)

قیمت نهایی تولید بیواتانول به قیمت منابع اولیه قندی و نشاسته‌ای، میزان دسترس‌پذیری آنها و نیز میزان غلظت اتانول تولیدی (که اغلب وابسته به بهبودهای آنزیمی در فرآیند است) بستگی دارد. امروزه اگرچه سوخت‌های زیستی نسل اول به‌طور گسترده‌ای از گیاهان زراعی خوراکی تولید می‌شوند (شکر و نشاسته برای تولید بیواتانول و گیاهان روغنی برای تولید بیودیزل)، اما تولید آنها در مقیاس بالا نگرانی‌هایی درخصوص محیط زیست و افزایش قیمت غذا ایجاد کرده است. همین موضوع باعث توجه و اقبال روزافزون از فرآیندهای تخمیری سلولزی (به‌جای استفاده از گیاهان خوراکی) برای تولید سوخت زیستی نسل دوم شده است (IEA, 2011). در این راستا اتحادیه اروپا اخیراً تصمیماتی اتخاذ کرده است که سوخت‌های زیستی نسل اول تنها ۷ درصد انرژی مورد نیاز در بخش حمل‌ونقل را تأمین کند و باقی‌مانده آن از سوخت‌های زیستی نسل دوم تأمین شود. هرچند که سوخت‌های زیستی نسل دوم هنوز توسعه کافی پیدا نکرده و

تجاری نشده‌اند، اما تلاش‌ها در این زمینه ادامه دارد (European Council, 2014). علاوه‌بر این، توسعه روش‌های جدیدی همچون استفاده از باکتری‌ها و مخمرهای تغییر ژنتیکی یافته که قابلیت آنزیمی بالایی داشته و بتوانند قند را به آلکان تبدیل کنند نیز برای مواجهه با این چالش مطرح شده است (Vermerris and Abril, 2015). نمودار ۲ میزان تولید بیواتانول در سال ۲۰۱۵ را در مناطق مختلف جهان نشان می‌دهد. آمریکا و برزیل به‌ترتیب با تولید ۱۴/۸ و ۷/۴ میلیارد گالن بیواتانول، بیشترین سهم را در تولید جهانی این محصول دارا بوده‌اند.

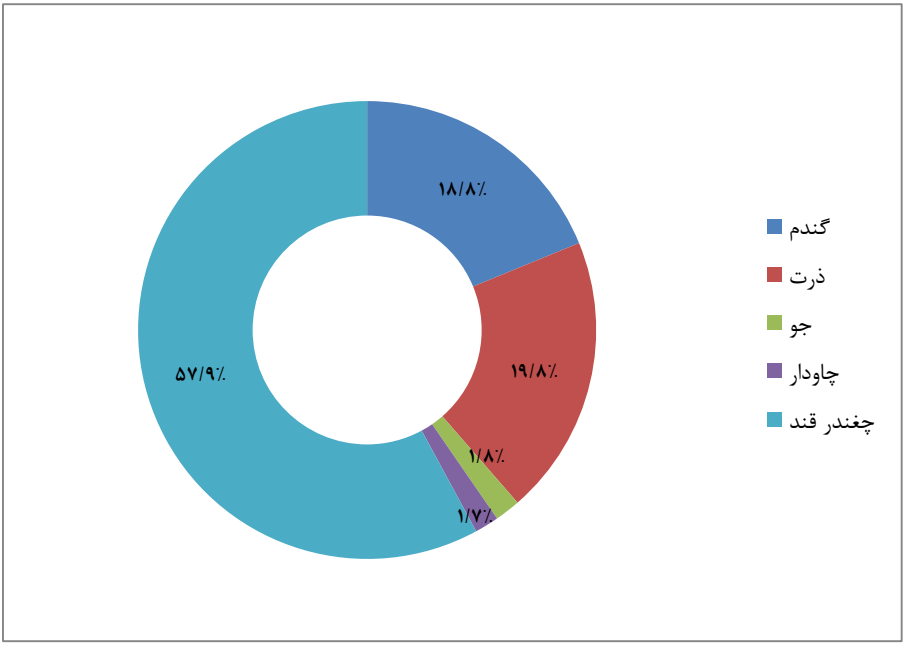
نمودار ۲. میزان تولید بیواتانول در نقاط مختلف جهان در سال ۲۰۱۵



Source: Statista, 2018.

در سال ۲۰۱۲ بیشترین زیست‌توده مورد استفاده در تولید بیواتانول اروپا، چغندرقند (حدود ۵۸ درصد) بوده است. ذرت و گندم نیز هرکدام نزدیک به ۲۰ درصد از سهم زیست‌توده مصرفی را در این سال به‌خود اختصاص داده است. در نمودار ۳، انواع و درصد زیست‌توده‌های مصرف شده برای تولید بیواتانول اروپا در سال ۲۰۱۲ نشان داده شده است.

نمودار ۳. درصد زیست‌توده‌های مصرف شده برای تولید بیواتانول در اروپا در سال ۲۰۱۲

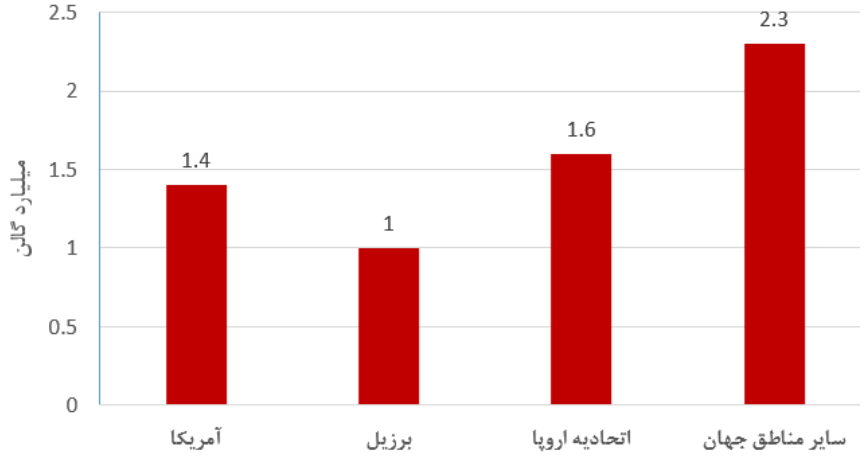


Source: Scarlat, 2015.

ب) بیودیزل

بیودیزل را نیز می‌توان براساس پارامترهای متفاوتی ازجمله نوع فناوری و ماده اولیه طبقه‌بندی کرد. بیودیزلی که به کمک فرآیندهای تبادل استری بذرهای روغنی از قبیل سویا، آفتابگردان، خرما، نارگیل، کرچک، کلزا، کنجد، پالم و... تولید می‌شود در دسته نسل اول قرار می‌گیرند. نسل دوم بیودیزل از فناوری‌های مرسوم و برپایه ضایعات روغن‌های گیاهی، چربی‌های حیوانی و روغن‌های سرخ‌کردنی تهیه می‌شود. درحال حاضر تولید بیودیزل نسل سوم نیز با هدف غلبه بر محدودیت‌هایی همچون کمبود منابع غذایی و هزینه‌بر بودن فرآیندهای تولید، بر استفاده از منابعی از قبیل جلبک‌های دریایی متمرکز شده و در مرحله تحقیق و توسعه قرار دارد. در اینجا نیز قیمت منابع اولیه و امکان استفاده و فروش محصولات جانبی فرآیند تولید بیودیزل از قبیل گلیسرین و پروتئین بر قیمت تمام شده فرآیند تأثیر می‌گذارد (IEA, 2011). نمودار ۴ میزان تولید بیودیزل در سال ۲۰۱۶ را در جهان نشان می‌دهد. در تولید بیودیزل نیز آمریکا و برزیل با ۱/۴ و ۱ میلیارد گالن در سال ۲۰۱۶، جزء کشورهای پیشرو بوده است.

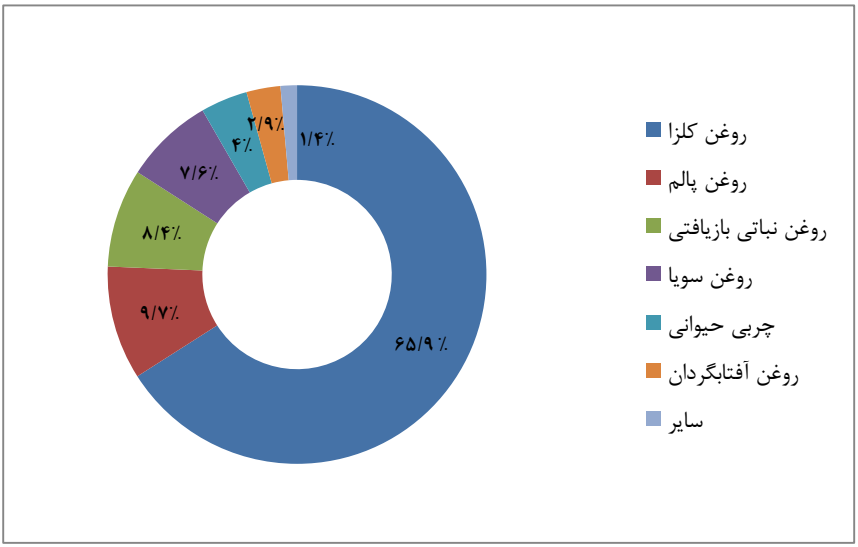
نمودار ۴. میزان تولید بیودیزل در نقاط مختلف جهان در سال ۲۰۱۶



Source: Statista, 2018.

نمودار ۵ انواع زیست‌توده‌های مصرف شده را در سال ۲۰۱۲ برای تولید بیودیزل در اروپا نشان می‌دهد. در میان این منابع، روغن کلزا بیشترین سهم را در تولید بیودیزل اروپا در سال ۲۰۱۲ به‌خود اختصاص داده است.

نمودار ۵. درصد زیست‌توده‌های مصرف شده در اروپا برای تولید بیودیزل در سال ۲۰۱۲



Source: Scarlat, 2015.

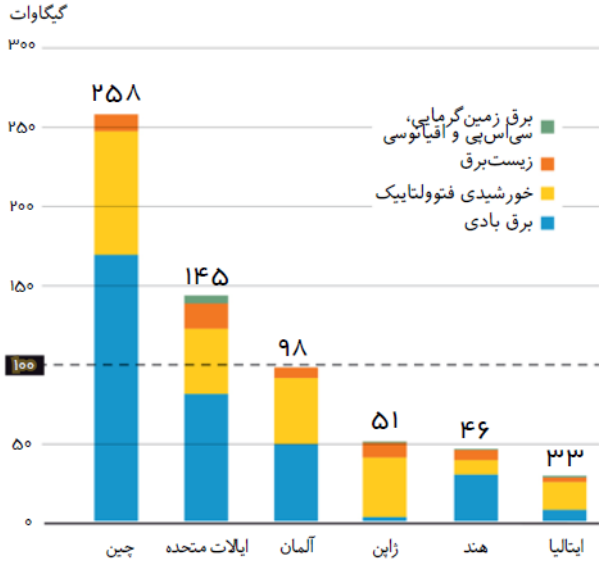
بازار جهانی سوخت‌های زیستی از ۱۳ میلیارد یورو در سال ۲۰۰۵ به ۶۰ میلیارد یورو در سال ۲۰۱۱ رسید و پیش‌بینی می‌شود مسائلی از قبیل افزایش قیمت سوخت‌های فسیلی و فشار بین‌المللی بر کشورها به‌خصوص کشورهای توسعه‌یافته مبنی‌بر کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای به افزایش مصرف سوخت‌های زیستی منتهی شود. (Scarlat, 2015)

۲-۱. گرما و برق زیستی[1]

تولید انرژی‌هایی همچون گرما و برق به روش زیستی با هدف گسترش استفاده از انرژی‌های تجدیدپذیر رو به افزایش است (Matzenberger, 2015). حدود ۱/۸ درصد برق تولیدی جهان در سال ۲۰۱۴ به روش زیستی تأمین شده است (IEA, 2011). ارزش اقتصادی گرما و برق زیستی در اروپا در سال ۲۰۱۲ حدود ۳۴ میلیارد یورو تخمین زده شد و پیش‌بینی می‌شود تا سال ۲۰۲۰ به ۴۴ میلیارد یورو برسد (EurObservER, 2014; Scarlat, 2015). نمودار ۶ ظرفیت تولید برق تجدیدپذیر به روش‌های مختلف ازجمله روش زیستی را در هفت کشور پیشروی این حوزه نشان می‌دهد.

1. Bio-heat and bio-electricity

نمودار ۶. ظرفیت تولید برق تجدیدپذیر کشورهای پیشرو در سال ۲۰۱۶



مأخذ: ساتبا، ۱۳۹۶.

۳-۱. گاز زیستی (بیوگاز)

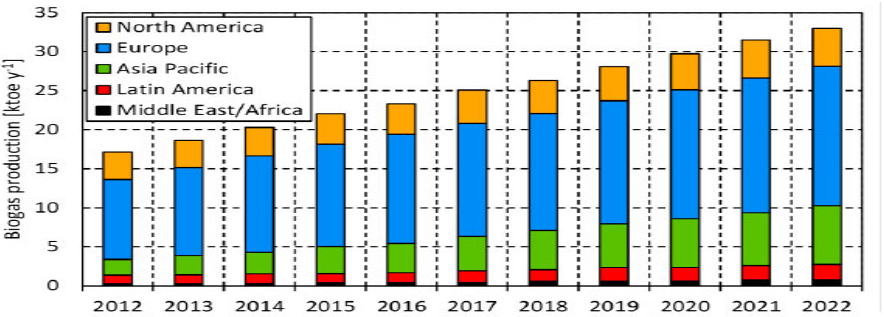
انرژی بیوگاز درحقیقت انرژی حاصل از تخمیر فضولات حیوانی و باقی‌مانده‌های گیاهی و به‌طور کلی ضایعات آلی است که در اثر این فرآیند گازهای متان (حداکثر ۷۰ درصد) و دی‌اکسید کربن آزاد می‌شوند. (Shen, 2015)

استفاده از انرژی بیوگاز به‌صورت امروزی پس از جنگ جهانی دوم مطرح شد و کشورهای چین، هندوستان، فیلیپین، هلند، آلمان و آمریکا ازجمله کشورهایی هستند که بهره‌گیری از بیوگاز و امکان توسعه و گسترش آن را مورد تحقیق و بررسی قرار داده‌اند. در سال‌های اخیر هدف فناوری بیوگاز از بازیابی انرژی، به حفاظت از محیط زیست تغییر

یافته است. این پیشرفت در کشورهای توسعه‌یافته‌ای نظیر دانمارک و هلند که محصولات کشاورزی فراوانی دارند، به‌خوبی قابل مشاهده است. در میان کشورهای درحال توسعه نیز چین موفق‌تر از دیگر کشورها بوده است. (Mengistu, 2015)

درحال حاضر بیوگاز یکی از منابع عمده تأمین انرژی در مناطق محلی و روستایی محسوب می‌شود و از منابع متنوع زیست‌توده از قبیل ضایعات و پسماندهای کشاورزی، پسماندهای جامد شهری، پساب شهری و صنعتی و فضولات دامی قابل استحصال است (Shen, 2015). این محصول اگرچه بیشتر برای تأمین برق و گرما مورد استفاده قرار می‌گیرد، اما با حذف CO_2 و H_2S از آن، به بیومتان تبدیل می‌شود و به‌عنوان گاز طبیعی نیز قابل مصرف است. در سال ۲۰۱۴، ۱۷ درصد منابع تولید برق تجدیدپذیر از بیوگاز بوده و به همین ترتیب برای تولید گرمای زیستی نیز ۴ درصد بیوگاز مصرف شده است. بازار جهانی این حوزه رشد سریعی دارد و پیش‌بینی می‌شود از درآمد ۱۷/۳ میلیارد دلاری در سال ۲۰۱۱ به ۳۳/۱ میلیارد دلار در سال ۲۰۲۲ برسد (Navigantresearch, 2014). نمودار ۷ روند تولید بیوگاز در مناطق مختلف جهان تا سال ۲۰۲۲ را نشان می‌دهد. در سال‌های آتی قاره اروپا و تا حدی نیز آسیا ـ اقیانوسیه بازار تولید بیوگاز را در دست خواهند داشت.

نمودار ۷. روند تولید زیست‌گاز در مناطق مختلف جهان تا سال ۲۰۲۲



Source: Navigantresearch, 2014.

۲. روند توسعه انرژی‌های زیستی در جهان

۲-۱. پیشران‌ها

پیشران‌های مختلفی از قبیل کاهش وابستگی به سوخت فسیلی و استفاده از منابع زیستی طبیعی، امنیت و استقلال انرژی، توسعه پایدار و کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای و دیگر ترکیبات سمی خطرناک، در توسعه انرژی‌های تجدیدپذیر ازجمله انرژی‌های زیستی در سبد انرژی کشورها نقش دارند. درعین‌حال، اتخاذ سیاست‌های توسعه و ترویج استفاده از انرژی‌های زیستی، متأثر از پارامترهای متعدد و متنوعی از قبیل قیمت تمام شده تولید، میزان منابع اولیه در دسترس، میزان وابستگی به واردات سوخت‌های فسیلی و انرژی، سطح درآمد و پذیرش این نوع انرژی از طرف جامعه است. در جدول ۳، میزان منابع زیستی در دسترس، سطح نوآوری، سطح درآمد و میزان واردات سوخت و انرژی پنج کشور برتر تولیدکننده انرژی‌های زیستی ازجمله سوخت و برخی کشورهای قاره آفریقا

که عمده فعالیت‌های حوزه انرژی خود را به تولید انرژی‌های زیستی معطوف کرده‌اند، آورده شده است. (خردمندنیا، ۱۳۹۶)

جدول ۳. مقایسه کشورهای فعال در تولید و توسعه انرژی‌های زیستی از نظر میزان منابع در دسترس، واردات و سطح فناوری و نوآوری

کشور	میزان منابع			میزان واردات سوخت نسبت به واردات کل کالا (٪)*	میزان واردات انرژی نسبت به کل انرژی مورد استفاده (٪)*	سطح درآمد**	نمره شاخص جهانی نوآوری** (۱۰۰-۰)
	جنگلی	کشاورزی	دریایی+				
	نسبت به کل زمین‌های آن کشور (٪)*						
آمریکا	۳۴	۴۵	خلیج مکزیک	۱۶±۴	۱۸±۴	HI	۶۰/۱
برزیل	۵۹	۳۳	-	۱۸±۲	۱۰±۳	UM	۳۴/۹۵
چین	۲۲	۵۵	دریای چین شرقی دریای زرد	۱۶±۲	۱۲±۱	UM	۴۷/۴۷
تایلند	۳۲	۴۲	دریای آندامان	۲۰±۲	۴۱±۱	UM	۳۸/۱
آلمان	۳۳	۴۸	دریای شمال	۱۲±۲	۶۱±۱	HI	۵۷/۰۵
ژاپن	۶۸	۱۲	دریای ژاپن دریای فیلیپین	۳۰±۵	۸۹±۶	HI	۵۳/۹۷
مالی	۳۴	۴	-	۲۸±۱۵	اطلاعات موجود نیست	LI	۲۸/۳۷
موزامبیک	۶۴	۴۹	-	۲۲±۶	-۳۸±۱۷	LI	۳۰/۰۷
نیجریه	۷۸	۹	-	۱۰±۸	-۹۰±۹	LM	۲۳/۷۲
سنگال	۴۷	۴۳	-	۲۹±۳	۴۷±۳	LM	۳۰/۹۵
اوگاندا	۷۲	۱۲	-	۲۲±۲	اطلاعات موجود نیست	LI	۲۷/۶۵

* میانگین داده‌های ۲۰۱۰-۲۰۱۵ مستخرج از داده‌های World bank.

+ مستخرج از نقشه‌نگاری منابع دریایی FAO.

** GII, 2015.

HI: بالا، UM: متوسط رو به بالا، LI: پایین، LM: متوسط رو به پایین.

طبق گزارش شبکه سیاستی انرژی‌های تجدیدپذیر قرن بیست‌ویکم (REN21)،[1] کشورهای آمریکا، برزیل، چین و تایلند از نظر میزان تولید سوخت‌های زیستی (اتانول) پیشرو هستند. در زمینه تولید زیست‌برق نیز آمریکا، آلمان، چین، برزیل و ژاپن پیشرو می‌باشد. (ساتبا، ۱۳۹۶) جدول ۳ نشان می‌دهد دسترسی به منابع اولیه پارامتری غیرقابل انکار در تولید سوخت و انرژی زیستی محسوب می‌شود و همه کشورهایی که فعالیت خود را معطوف به تولید سوخت و انرژی زیستی کرده‌اند، منابع جنگلی، دریایی و کشاورزی مناسبی در اختیار دارند. پیشران اصلی توسعه سوخت‌های زیستی در کشورهای پیشروی این حوزه، کاهش وابستگی به واردات سوخت و انرژی و تأمین استقلال در این زمینه به‌موازات توسعه پایدار است. برتری این کشورها در قابلیت‌های فناورانه، امکان دسترسی به فناوری‌های جدید و همچنین بالا بودن سطح درآمد و وجود بازار تقاضای سوخت پاک از مهمترین دلایل پیشتاز بودن آنها در تولید و در اختیار داشتن بازار جهانی است. (خردمندنیا، ۱۳۹۶)

با توجه به داده‌های جدول ۳، اگرچه کشورهای قاره آفریقا از نظر شاخص نوآوری و سطح درآمد، ضعیف هستند، اما از پتانسیل منابع طبیعی ازجمله جنگل و زمین‌های کشاورزی و نیز همکاری‌های منطقه‌ای و بین‌المللی در جهت تولید انرژی‌های زیستی بهره می‌جویند. قابل ذکر است که تقریباً همه کشورها در اسناد ملی خود به تولید یا تحقیق و توسعه در انرژی‌های تجدیدپذیر توجه ویژه‌ای دارند. حتی کشورهایی با منابع طبیعی کم، به دنبال استفاده از سایر منابع همچون پسماندهای شهری و کشاورزی و یا شرکت در طرح‌های منطقه‌ای و بین‌المللی که در آنها منابع طبیعی کشورها به اشتراک گذاشته می‌شود، هستند. در سال‌های اخیر

1. Renewable Energy Policy Network for the 21st Century

چالش‌هایی ازجمله کمبود آب، فرسایش خاک، افزایش جمعیت، تأمین غذا و قیمت نهایی آن باعث شده است ملاحظاتی درخصوص سطح استفاده از زمین‌های کشاورزی و منابع جنگلی برای تولید سوخت و انرژی زیستی وجود داشته باشد. به همین دلیل توسعه منابع اولیه جدید مثل پسماندها و زیست‌توده‌های دریایی در تولید سوخت از طرف دولت‌ها مورد حمایت قرار گرفته است. (Allen et al., 2015)

۲-۲. قدرت رقابت‌پذیری بین انرژی‌های تجدیدپذیر مختلف

با وجود اینکه قسمت عمده انرژی مصرفی جهان از ترکیبات فسیلی تولید می‌شود، اما استفاده از انرژی‌های تجدیدپذیر در جهان به‌سرعت و شدت درحال گسترش است. بیشترین سرمایه‌گذاری‌های جدید جهانی در کشورهای توسعه‌یافته و درحال توسعه بر روی استفاده از انرژی‌های خورشیدی و بادی که منابع در دسترس و فراوانی هستند، متمرکز شده است. این امر بازار رقابت برای دیگر انرژی‌های تجدیدپذیر ازجمله زیست‌سوخت‌ها و زیست‌توده را سخت کرده به‌طوری که میزان سرمایه‌گذاری در حوزه زیست‌سوخت‌ها در فاصله سال‌های ۲۰۱۳ و ۲۰۱۴ به میزان ۸ درصد کاهش یافته است (جدول ۴). بااین‌حال الزاماتی قانونی از قبیل امنیت سلامت و چارچوب‌های زیست‌محیطی ممکن است در آینده بتواند سرمایه‌گذاری بر روی زیست‌توده‌ها به‌خصوص در کشورهای درحال توسعه را تا حدی تحت تأثیر قرار دهد. (خردمندنیا، ۱۳۹۶)

جدول ۴. میزان سرمایه‌گذاری کشورهای توسعه‌یافته و درحال توسعه بر انرژی‌های تجدیدپذیر مختلف

	کشورهای توسعه‌یافته	کشورهای درحال توسعه	تغییر نسبت به ۲۰۱۳ (درصد)
	میلیارد دلار		
انرژی اقیانوسی	۰/۴	۰/۰۴	+۱۱۰
برق زمین‌گرمایی	۰/۳	۲	+۲۳
برق‌آبی کوچک‌تر از ۵۰ مگاوات	۱/۰	۴/۰	-۱۷
زیست‌سوخت‌ها	۳/۰	۲/۰	-۸
زیست‌توده و انرژی از پسماند	۶/۰	۳/۰	-۱۰
بادی	۴۱/۰	۵۸/۰	+۱۱
برق خورشیدی	۸۷/۰	۶۳/۰	+۲۵

مأخذ: ساتبا، ۱۳۹۶.

۳. روند توسعه انرژی‌های زیستی در ایران

وجود سوخت‌های فسیلی کافی حاصل از منابع نفت و گاز و دسترسی ارزان به آنها (جعفری، ۱۳۹۴) باعث شده است تنوع‌بخشی به منابع انرژی به‌خصوص انرژی‌های تجدیدپذیر از لحاظ اقتصادی در اولویت تأمین انرژی قرار نگیرد، اما در کشور ما الزامات و سیاست‌هایی از قبیل تأمین سلامت و جلوگیری از انتشار آلاینده‌های خطرناک به محیط و نیز تعهد به اجرای کنوانسیون‌های بین‌المللی که ایران عضو آنهاست، ازجمله توافقنامه تغییرات آب و هوایی پاریس، می‌تواند پیشران مهمی در توسعه سوخت‌های زیستی قلمداد شود.

۱-۳. سیاست‌ها و قوانین

توسعه انرژی‌های پاک به‌ویژه برق و مواد سوختی سازگار با محیط زیست با هدف ارتقای سلامت و مدیریت پسماندها و پساب‌ها در سند سیاست‌های کلی محیط زیست ابلاغی مقام معظم رهبری (۱۳۹۴) مورد تأکید قرار گرفته است. در این سند همچنین بهره‌گیری از فرصت‌ها و مشوق‌های بین‌المللی را در حرکت به‌سوی اقتصاد کم‌کربن و تسهیل انتقال و توسعه فناوری‌ها و نوآوری‌های این حوزه، به‌عنوان یکی از سیاست‌های مهم زیست‌محیطی محسوب می‌شود. نگاهی به رویکرد دولت در برنامه ششم توسعه (۱۴۰۰-۱۳۹۶) نیز نشان می‌دهد که توسعه انرژی‌های تجدیدپذیر با تمرکز بر تولید انواع برق تجدیدپذیر در نظر گرفته شده است. در این میان، استفاده از پسماندها در تولید انرژی (بند «چ» ماده (۳۱)) را می‌توان مستقیماً در راستای توسعه فرآیند تولید برق زیستی دانست. در قانون برنامه پنجم توسعه نیز به بحث خرید تضمینی برق تولیدی از انرژی‌های نو و انرژی‌های پاک و توسعه زیرساخت‌های تولید انرژی‌های خورشیدی پرداخته شده بود.[۱] در جدول ۵ سیاست‌های کلی و احکامی از برنامه ششم توسعه را که مرتبط با توسعه

---

۱. **۱۳۳ ـ** به‌منظور تنوع در عرضه انرژي کشور، بهینه‌سازي تولید و افزایش راندمان نیروگاه‌ها، کاهش اتلاف و توسعه تولید همزمان برق و حرارت.
ب) به شرکت توانیر و شرکت‌هاي وابسته و تابعه وزارت نیرو اجازه داده می‌شود نسبت به انعقاد قراردادهاي بلندمدت خرید تضمینی برق تولیدي از منابع انرژی‌هاي نو و انرژی‌های پاك با اولویت خرید از بخش‌هاي خصوصی و تعاونی اقدام نمایند. قیمت خرید برق این نیروگاه‌ها علاوه‌بر هزینه‌هاي تبدیل انرژي در بازار رقابتی شبکه سراسري بازار برق، با لحاظ متوسط سالانه ارزش وارداتی یا صادراتی سوخت مصرف نشده، بازدهی، عدم انتشار آلاینده‌ها و سایر موارد به تصویب شوراي اقتصاد می‌رسد.
۱۳۹ ـ به‌منظور ایجاد زیرساخت‌هاي تولید تجهیزات نیروگاه‌هاي بادي و خورشیدي و توسعه کاربرد انرژی‌هاي پاك و افزایش سهم تولید این نوع انرژی‌ها در سبد تولید انرژي کشور، دولت مجاز است با حمایت از بخش‌هاي خصوصی و تعاونی از طریق وجوه اداره شده و یارانه سود تسهیلات، زمینه تولید تا پنج هزار مگاوات انرژي بادي و خورشیدي در طول برنامه متناسب با تحقق تولید را فراهم سازد.
۱۴۸ ـ دولت مکلف است جهت اصلاح الگوي بهره‌برداري از جنگل‌ها، مراتع و آب و خاك اقدامات زیر را انجام دهد:
الف) جایگزینی سوخت فسیلی و انرژي‌هاي تجدیدپذیر به‌جاي سوخت هیزمی

انرژی‌های تجدیدپذیر هستند، نشان می‌دهد. (خردمندنیا، ۱۳۹۶)

جدول ۵. سیاست‌ها و برنامه‌های توسعه انرژی‌های تجدیدپذیر در برنامه ششم توسعه

عنوان	شرح
سیاست‌های کلی برنامه ششم توسعه در ۱۴۰۰-۱۳۹۶	افزایش سهم انرژی‌های تجدیدپذیر و نوین و گسترش نیروگاه‌های پراکنده و کوچک‌مقیاس
قانون برنامه ششم توسعه (۱۴۰۰-۱۳۹۶)	۳۱-چ) حمایت از تبدیل پسماند به کود یا انرژی به کمک بخش خصوصی و فراهم کردن منابع ارزی و ریالی لازم ۳۸-ص) توسعه انرژی‌های تجدیدپذیر و به‌کارگیری آنها با تخصیص ۱ درصد از اعتبارات طرح‌های توسعه‌ای سالانه شرکت‌های تابعه وزارت نفت ۵۰. افزایش سهم نیروگاه‌های تجدیدپذیر و پاک در تولید برق به ۵ درصد ظرفیت برق کشور تا پایان برنامه

۲-۳. منابع و وضعیت بازار

وضعیت بازار در حوزه انرژی‌های زیستی را می‌توان در دو بخش سوخت‌های زیستی و برق زیستی مورد مطالعه قرار داد.

الف) وضعیت سوخت زیستی

توسعه سوخت‌های زیستی کشور تاکنون بیشتر بر مرحله تحقیق و توسعه و بهره‌برداری‌های پایلوت متمرکز شده است. عوامل مختلفی باعث شده بازار تقاضا و مصرف

---

۱۹۰ ـ کلیه دستگاه‌هاي اجرایی و مؤسسات و نهادهاي عمومی غیردولتی موظفند جهت کاهش اعتبارات هزینه‌اي دولت، اعمال سیاست‌هاي مصرف بهینه منابع پایه و محیط زیست براي اجراي برنامه مدیریت سبز و شامل مدیریت مصرف انرژي، آب، مواد اولیه و تجهیزات) شامل کاغذ (کاهش مواد زائد جامد و بازیافت آنها) در ساختمان‌ها و وسایط نقلیه (طبق آیین‌نامه‌اي که توسط سازمان حفاظت محیط زیست و معاونت با همکاري دستگاه‌هاي ذي‌ربط تهیه و به تصویب هیئت وزیران خواهد رسید) اقدام نمایند.

این نوع سوخت هنوز در کشور ایجاد نشود و به‌همین دلیل در سطوح عالی سیاستگذاری، سیاست‌های حمایت از توسعه و مصرف این نوع سوخت در اولویت قرار نگرفته است. چالش‌های توسعه و کاربست فناوری‌های تولید و مصرف سوخت زیستی در ایران را می‌توان از چند نظر به‌شرح زیر بررسی کرد:

- **میزان تأثیر سوخت زیستی در ایجاد هوای پاک**

منابع مختلفی در انتشار آلاینده های هوا نقش دارند که ازجمله آنها می‌توان به کارخانجات و صنایع، نیروگاه‌ها، سیستم‌های حمل‌ونقل و کیفیت سوخت مصرفی اشاره کرد. بااین‌حال، تاکنون گزارش‌های رسمی کشور به‌طور دقیق سهم این عوامل را در آلودگی هوا مشخص نکرده است. هرچند برخی از گزارش‌های سازمان محیط زیست وابستگی بیش از حد حمل‌ونقل شهری به خودروهای سواری و سن بالای خودروهای درحال تردد و استهلاک آنها را از عوامل مهم ایجاد و انتشار آلودگی هوا معرفی می‌کند، اما میزان تأثیر راهکارهای اجرایی از قبیل بهره‌گیری از تکنولوژی‌های جدید در موتور خودرو، تغییر نوع سوخت و استفاده از سوخت‌های گازی، استانداردهای یورو و بهبود کیفیت سوخت نیز بر کاهش آلاینده‌ها روشن نیست. از همین رو، اگرچه از نظر علمی اثبات شده است که افزودن بیواتانول و بیودیزل به سوخت بنزین می‌تواند کیفیت احتراق آن را بهتر سازد، اما میزان تأثیر این راهکار و هزینه‌های اقتصادی آن در مقیاس بالا نسبت به دیگر راهکارهای موجود باید ارزیابی شود. (خردمندنیا، ۱۳۹۶)

- **تأمین خوراک اولیه**

همان‌گونه که گفته شد، در اختیار داشتن منابع طبیعی به‌عنوان خوراک اولیه، جزء

جدایی‌ناپذیر تولید انرژی زیستی به‌حساب می‌آید.[1] براساس داده‌های بانک جهانی، ۲۸ درصد از کل زمین‌های کشور ایران را زمین‌های‌کشاورزی و ۷ درصد را پوشش جنگلی به‌خود اختصاص می‌دهند. این در حالی است که در سال‌های اخیر، به‌دلیل خشکسالی و کم‌آبی از سطح زمین‌های قابل کشت کاسته شده است. علاوه‌بر این، پوشش جنگلی کشور نیز در معرض آسیب بوده و سازمان خواربار و کشاورزی ملل متحد یا فائو[2] در گزارش‌های خود نسبت به وضعیت بحرانی جنگل‌های بلوط و شمشاد هشدار داده است (FAO, 2016). این امر نشان می‌دهد برای توسعه محصولات زیست‌فناورانه که منابع اولیه آن متکی بر ذخایر طبیعی کشاورزی یا جنگلی است باید از یک‌سو قیمت تمام شده محصول و ازسوی‌دیگر اهمیت ذخایر موجود در کشور را جهت تأمین نیازهای دیگری مثل غذا، حفاظت از محیط زیست و حفظ تنوع زیستی مدنظر قرار داد. به همین دلیل راهکارهای دیگری برای تأمین خوراک اولیه مورد نیاز است. اگرچه یکی از راهکارهای پیشنهادی طرفداران توسعه سوخت زیستی، استفاده از پسماندهای کشاورزی است، اما نگاهی به اولویت بازار مصرف پسماندهای کشاورزی کشور نشان می‌دهد که پسماندهای کشاورزی در تأمین غذای دام و طیور و استفاده در صنایع دیگری ازجمله صنعت کاغذ مورد مصرف قرار می‌گیرند و حتی در صورت استفاده برای تولید بیواتانول نسل دوم، به‌دلیل گران بودن فرآیند تولید و آنزیم‌های مصرفی، غیراقتصادی هستند. مقدار پسماندهای روغنی صنایع غذایی کشور نیز علاوه‌بر اینکه در صنایع دیگری از قبیل شمع‌سازی و صابون‌سازی مورد

---

۱. به گفته متخصصان، در حال حاضر مهمترین خوراك ورودي براي توليد اتانول در كشور ملاس (چغندرقند) است كه در صورت استفاده از آن براي توليد سوخت زيستي و براي تأمين ۳/۵ ميليون ليتر بيواتانول در روز (۵ درصد افزودني به بنزين مصرفي كشور)، تنها ۱۰ درصد ماده اوليه در كشور وجود داشته و مابقي نياز به واردات دارد.

2. Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO)

استفاده قرار می‌گیرد برای تهیه بیودیزل به‌عنوان افزودنی گازوئیل کافی نیست.

اتخاذ سیاست‌هایی مبنی‌بر وارد کردن خوراک اولیه برای تولید سوخت زیستی نیز ممکن است چالش‌هایی به‌همراه داشته باشد. گزارش‌های سالانه وزارت جهاد کشاورزی نشان می‌دهد گندم، جو، ذرت و کنجاله جزء بیشترین محصولات وارداتی مورد نیاز کشور در تأمین غذا و خوراک دام است (وزارت جهاد کشاورزی، معاونت برنامه‌ریزی و اقتصادی، ۱۳۹۵). به همین دلیل تا زمانی که در دیگر صنایع اصلی کشور نیاز به واردات این نوع زیست‌توده‌ها وجود دارد، وارد کردن این مواد برای تولید سوخت زیستی اولویت چندانی نخواهد داشت. (خردمندنیا، ۱۳۹۶)

- **قیمت نهایی محصول**

به گفته متخصصان، قیمت نهایی تولید هر لیتر بیواتانول و بیودیزل بین سه تا چهار هزار تومان تخمین زده می‌شود (نیک‌پور و پازوکی، ۱۳۹۵). این در حالی است که درحال حاضر قیمت فروش بنزین و گازوئیل در ایران به‌ترتیب ۱۰۰۰ و ۳۰۰ تومان است. از سویی دیگر با توجه به پایین بودن نرخ دستمزدها[1] در کشور، نه‌تنها در برابر افزایش قیمت سوخت معمولی همیشه مقاومت‌هایی وجود داشته است، بلکه تمایل اکثریت مردم به استفاده از سوخت‌های جایگزین و گران‌تر ازجمله سوخت زیستی کمتر نیز می‌شود. این بدان معناست که دولت در صورت سیاستگذاری به‌منظور توسعه سوخت‌های زیستی باید سیاست‌های انگیزشی برای مصرف آن ایجاد کند و یا برای کاهش قیمت فروش، اعتباراتی را مازاد بر یارانه پیش‌بینی شده برای تأمین سوخت در بودجه‌های سالانه خود منظورکند. (خردمندنیا، ۱۳۹۶)

---

۱. حداقل دستمزد روزانه براساس مصوبه وزارت تعاون، کار و رفاه اجتماعي در سال ۱۳۹٦ (مصوبه شماره ۲٥۳۹۹٤) مبلغ ۳۰۹۹۷۷ ریال در نظر گرفته شده که معادل با حدود ۲۸۷۵۰ ریال در ساعت است.

- **قدرت رقابت با سوخت‌ها و انرژی‌های جایگزین**

عوامل متعددی ازجمله تأمین سوخت ارزان و مقابله با تغییرات آب‌وهوایی ناشی از مصرف سوخت‌های فسیلی به توسعه انواع سوخت‌های جایگزین منجر شده است. ازجمله سوخت‌های جایگزینی که درحال حاضر با سوخت‌های زیستی رقابت می‌کند، انرژی الکتریسیته است. بر این اساس خودروهای الکتریکی، پیل سوختی و هیبریدی به‌سرعت درحال توسعه هستند و جایگزین جدی خودروهایی با سوخت فسیلی به‌شمار می‌روند. در خودروهای الکتریکی از باتری‌هایی استفاده می‌شود که انرژی مورد نیاز آنها توسط انرژی‌های تجدیدپذیری همچون انرژی خورشیدی تأمین می‌شود. در خودروهایی با پیل سوختی نیازی به باتری نیست و یک منبع سوختی مثل هیدروژن انرژی مورد نیاز برای حرکت خودرو را فراهم می‌سازد و در خودروهای هیبریدی از ترکیب دو یا چند منبع متفاوت انرژی نظیر سوخت‌های فسیلی و پاک استفاده شده و با صرفه‌جویی در مصرف سوخت فسیلی باعث کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای به محیط می‌شود.

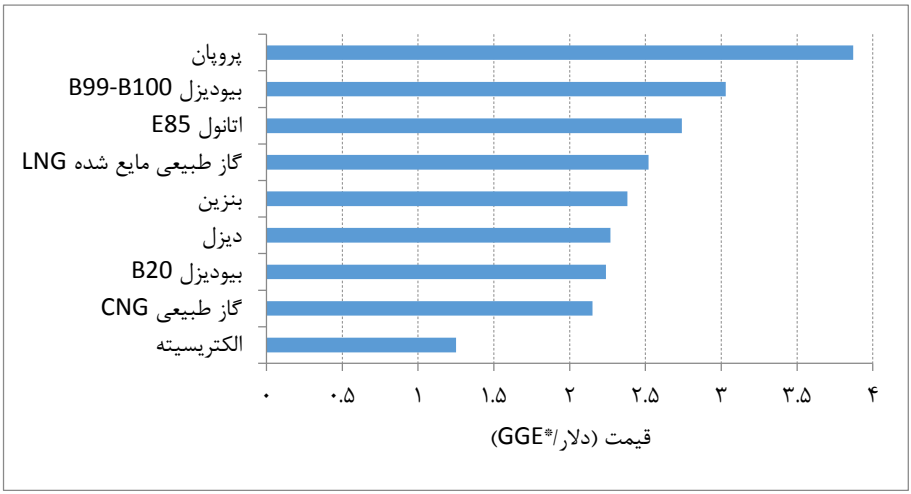
درحال حاضر کشورهای توسعه‌یافته تلاش می‌کنند تا با کاهش قیمت سوخت‌های پاک، زمینه‌های لازم را برای ترویج مصرف این نوع سوخت‌ها فراهم کنند. نمودار ۸ قیمت انواع سوخت‌های مصرفی کشور آمریکا را در ابتدای سال ۲۰۱۷ نشان می‌دهد.[1] قیمت سوخت‌های زیستی با درجه خلوص بالا (بیودیزل B99-100، اتانول E85) نسبت به بنزین و دیزل بالاتر است. بااین‌حال، سوخت‌های ترکیبی زیستی مثل B20 قیمتی نزدیک به بنزین و دیزل دارند که به مصرف‌کننده حق انتخاب خواهد داد. قیمت انرژی الکتریسیته

1. https://www.afdc.energy.gov/fuels/prices.html

مصرفی خودروهای برقی نسبت به خودروهایی که از سوخت‌های فسیلی و زیستی استفاده می‌کنند به‌مراتب کمتر است و با توسعه فناوری‌های این حوزه در آینده می‌تواند جایگزین سایر انرژی‌های موجود شود.

بنابراین برای کشورهای درحال توسعه که تمایل دارند بر روی سوخت‌های پاک سرمایه‌گذاری کنند توجه به این مسئله و انتخاب سوخت و فناوری‌هایی که پس از صرف هزینه توسعه و تولید، همچنان در بازار رقابت حضور داشته و جای خود را به محصولات و فناوری‌های جدیدتر نداده باشد بسیار ضروری است. (خردمندنیا، ۱۳۹۶)

نمودار ۸. قیمت انواع سوخت‌های مصرفی آمریکا در ابتدای سال ۲۰۱۷، (مرکز اطلاعات سوخت‌های جایگزین آمریکا، afdc.energy.gov)[1]



*GGE : (Gasoline Gallon Equivalent) معادل محتوی انرژی یک بشکه بنزین مایع که واحد پایه بوده و برای مقایسه سایر سوخت‌ها به‌کار می‌رود.

عدم رغبت کافی پالایشگاه‌ها به راه‌اندازی خطوط تولید سوخت زیستی، دسترسی به سوخت فسیلی ارزان‌تر و مشکلات و چالش‌های فنی که در مسیر تولید و ترکیب سوخت زیستی با بنزین دارد و همچنین نحوه نگهداری و انتقال آن به جایگاه‌های پخش و عرضه سوخت باعث شده است تمایل زیادی به بهره‌گیری از این نوع انرژی وجود نداشته باشد.

1. Alternative Fuels Data Center

ب) وضعیت برق زیستی

حمایت از تولید برق زیستی ازجمله سیاست‌های وزارت نیرو است و استفاده از روش‌هایی که پسماندها و زباله‌های شهری به‌عنوان خوراک ورودی استفاده می‌شود، در اولویت حمایت قرار دارند. با وجود بالاتر بودن هزینه تولید برق زیستی نسبت به روش‌های رایج، پیشران‌هایی از قبیل کمک به سلامت و بهداشت عمومی و ایجاد ارزش‌افزوده از این منابع (رفع معضلات زیست‌محیطی ناشی از تجمع زباله و تبدیل آنها به انرژی‌های پاک)، زمینه‌های لازم را برای توسعه کارخانه‌های مرتبط با این فرآیند فراهم کرده است. ازجمله کارخانه‌های احداث شده در این حوزه می‌توان به موارد زیر اشاره کرد:

ـ کارخانه هاضم شرق تهران با تولید برق ۳ مگاواتی از پساب و پسماند جامد شهری،

ـ کارخانه بیوگاز آبعلی با تولید برق ۲ مگاواتی به کمک هاضم با استفاده از زباله‌های جامد شهری،[۱]

ـ تصفیه‌خانه فاضلاب جنوب تهران با تولید برق ۵ مگاواتی به کمک هاضم با استفاده از پساب شهری،

ـ تصفیه‌خانه فاضلاب شمال اصفهان با تولید برق ۱/۲ مگاواتی،

ـ کارخانه بیوگاز زباله‌سوز مشهد با تولید برق ۶۰۰ کیلوواتی به کمک لندفیل با استفاده از زباله‌های شهری،

ـ کارخانه بیوگاز زباله‌سوز شیراز با تولید برق ۱۲۰۰ کیلوواتی به کمک لندفیل با استفاده از زباله‌های شهری.

---

۱. احداث این مجموعه از سال ۱۳۹۱ آغاز و در سال ۱۳۹۵ به اتمام رسید و به‌صورت آزمایشی چندماهی به بهره‌برداری رسید، اما به‌علت برخی نواقص و اشکال‌ها فعالیت آن متوقف شد.

وجود منابع اولیه، نیروی انسانی، تجهیزات فنی و زیرساخت‌های دانشی و نیز تنوع مشتریان و ذی‌نفعان بر گسترش تولید و استفاده از برق زیستی بسیار مؤثر بوده است. در جدول ۶ خلاصه‌ای از منابع موجود یا مورد نیاز برای توسعه برق زیستی آمده است.

جدول ۶. وضعیت منابع موجود و مورد نیاز در حوزه برق زیستی در کشور

منابع انسانی	وجود نیروی انسانی متخصص و کارشناس در کشور
مشتریان و ذینفعان	شرکت توانیر، شرکت ملی گاز، شهرداری، بخش خصوصی (نیروگاه‌ها)، کشاورزان و دامداران
منابع اولیه، تجهیزات و تکنیک‌ها	ـ وجود پتانسیل بالا در وجود پسماندها به‌خصوص زباله‌های شهری به‌عنوان ماده اولیه تولید برق و گاز (سرانه تولید زباله در ایران: ۷۰۰ گرم به‌ازای هر نفر در روز). ـ فضولات دامی کافی «کل فضولات دامی قابل جمع‌آوری در کشور (حدود ۹۷/۵ میلیون تن در سال)، برای تولید برق و گاز و گرمای زیستی (قائمی و صادقی، ۱۳۹۲). ـ آشنایی با تکنیک‌های تولید گاز و برق از انواع زیست‌توده‌ها (زیست‌توده‌های کشاورزی، پسماندهای شهری جامد و تر، فضولات دامی، پسماندهای کشاورزی، پسماندهای صنعتی). ـ امکان درآمدزایی از همه تولیدات نیروگاه‌های بیوگاز از قبیل گاز و برق، کود کمپوست غنی شده، آب گرم (براساس محل احداث این نیروگاه‌ها و نیز زیرساخت‌های موجود در نزدیکی نیروگاه‌ها ممکن است برخی از تولیدات قابل فروش به بازار نباشد). ـ صادرات کود کمپوست حاصل از سایت بیوگاز می‌تواند ارزش اقتصادی زیادی ایجاد کند. ـ امکان طراحی و ساخت هاضم‌ها و بیوراکتورهای هوازی ـ بی‌هوازی در کشور برای تصفیه و تبدیل پساب. ـ وجود ۷۰ درصد تجهیزات بخش بالادستی و بیش از ۵۰ درصد تجهیزات میانی

	در کشور. ـ لزوم واردات تجهیزاتی از قبیل همزن‌ها، ژنراتور و تجهیزات بخش تولید انرژی (CHP)، تجهیزات کنترلی.
زیرساخت‌های دانشی و فناوری‌های مادر	ـ قابلیت انجام فرآیندهای تخمیری در مقیاس بالا. ـ وجود دانش فنی راه‌اندازی واحدهای تولیدی لندفیل و هاضم با توجه به تجربیات قبلی.

مأخذ: قاضی‌نوری و همکاران، گزارش نهایی طرح پژوهشی «نقشه راه و برنامه توسعه تولید دانش‌بنیان زیست‌فناوری»، ستاد توسعه زیست‌فناوری، تهران، ایران.

با وجود حمایت‌های دولت و اقدامات انجام شده درخصوص تولید برق زیستی، فعالان و متخصصان این حوزه به برخی چالش‌ها در مسیر تولید این نوع انرژی در کشور اشاره دارند که مهمترین آنها به‌طور خلاصه در زیر آمده است:[۱]

ـ با وجودی که امکان ساخت تجهیزاتی همچون مبدل‌ها و هاضم‌های این حوزه در کشور وجود دارد، ولی به‌دلیل کاربرد انحصاری آنها در این بخش و کوچک بودن بازار تولید برق زیستی، سوددهی نداشته و اقتصادی نیستند.

ـ هزینه‌های راه‌اندازی نیروگاه‌ها و کارخانجاتی که تولید برق و گاز زیستی را برعهده دارند، در مقایسه با بازگشت سرمایه از طریق خرید برق پاک خریداری شده توسط وزارت نیرو بسیار بالاتر است و دولت باید با اتخاذ سیاست‌های حمایتی درخصوص تعیین قیمت مناسب خرید برق پاک از نیروگاه‌ها و امکان فروش محصولات جانبی همچون کود زیستی و یا آب گرم، انگیزه‌های بیشتری برای فعالیت بخش خصوصی در این حوزه فراهم سازد.

۱. قاضي‌نوري و همکاران، گزارش نهايي طرح پژوهشي «نقشه راه و برنامه توسعه توليد دانش‌بنيان زيست‌فناوري»، ستاد توسعه زيست‌فناوري، تهران، ايران.

ـ درحالی‌که قیمت تمام‌شده تولید گاز و برق زیستی با استفاده از فضولات دامی، ارزان‌تر از زباله‌های شهری است، اما به‌دلیل عدم رغبت کافی به تولید برق پاک و دسترسی آسان نیروگاه‌ها به سوخت‌های فسیلی ارزان، فرآوری فضولات و ایجاد ارزش‌افزوده از آن مغفول مانده است.

ـ بخش خصوصی علاوه‌بر نحوه تعامل با وزارت نیرو در بحث خرید برق پاک، در تأمین سرمایه و اخذ مجوزهای لازم از شهرداری به‌عنوان نهاد متولی ساماندهی زباله‌ها و پسماندها و سازمان محیط زیست در زمینه فضای مناسب احداث سایت‌ها و کارخانجات بیوگاز و برق زیستی نیز با چالش‌هایی مواجه است و تدوین دستورالعمل‌ها و الزامات و مقرراتی در این حوزه می‌تواند این تعامل را تسهیل سازد.

جمع‌بندی و پیشنهادهای سیاستی

انرژی‌های زیستی به‌عنوان انرژی‌های تجدیدپذیر شامل سوخت، گرما، گاز و برق زیستی به دلایلی از قبیل سیاست‌های دولت‌ها در راستای توسعه پایدار و افزایش قیمت انرژی سبب شده تا ظرفیت تولید این نوع انرژی در سطح جهان درحال افزایش باشد. درخصوص سوخت‌های زیستی نیز پیشران‌هایی از قبیل افزایش قیمت سوخت‌های فسیلی، تأمین اقتصادی انرژی مصرفی و فشار بین‌المللی بر کشورها برای کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای، منجر به توسعه تولید و مصرف این نوع سوخت‌ها به‌ویژه بیواتانول و بیودیزل شده است.

در کشور ما با توجه به در اختیار داشتن منابع فسیلی و تحویل سوخت فسیلی ارزان به نیروگاه‌ها و سیستم حمل‌ونقل، به‌نظر می‌رسد حمایت از تولید سوخت زیستی جزء

اولویت‌های کشور درخصوص تأمین انرژی قرار ندارد. همچنین توسعه و کاربست فناوری‌های سوخت زیستی و تولید و مصرف آن در کشور با چالش‌هایی روبه‌رو است که مهمترین آنها عبارتند از:

- **کمبود منابع طبیعی به‌عنوان خوراک اولیه،**
- **هزینه‌های بالای تولید، بالا بودن قیمت نهایی محصول و پایین بودن درآمد سرانه،**
- **عدم رغبت کافی پالایشگاه‌ها به راه‌اندازی خط تولید سوخت‌های زیستی،**
- **قدرت رقابت کم در مقابل انرژی‌های جایگزین درحال توسعه.**

شایان ذکر است در سال‌های اخیر، به‌دلیل خشکسالی و کم‌آبی از سطح زمین‌های قابل کشت کاسته شده و پوشش جنگلی کشور نیز در معرض آسیب قرار دارد.

همچنین مشکلات فنی ازجمله چالش در نحوه ترکیب این سوخت با سوخت فسیلی و نگهداری و انتقال آن به پمپ بنزین‌ها وجود دارد. از طرف دیگر، قیمت انرژی الکتریسیته مصرفی خودروهای برقی نسبت به خودروهایی که از سوخت‌های فسیلی و زیستی استفاده می‌کنند به‌مراتب کمتر است.

درخصوص برق زیستی، شرایط کشور در مقایسه با سوخت زیستی تفاوت دارد، زیرا طبق اسناد بالادستی، توسعه انرژی‌های پاک به‌ویژه برق زیستی با هدف ارتقای سلامت و مدیریت پسماندها و پساب‌ها مورد تأکید قرار گرفته است. در این راستا، چندین کارخانه و سایت تولید برق زیستی در برخی شهرهای کشور از قبیل تهران، اصفهان، مشهد و شیراز احداث شده و درحال کار یا بهره‌برداری است. با وجود این، در این حوزه نیز

چالش‌هایی در زمینه قیمت خرید برق تولیدی توسط وزارت نیرو، اخذ مجوزهای لازم از نهادهای مرتبطی مانند شهرداری‌ها و سازمان حفاظت از محیط زیست و ایجاد انگیزه‌های لازم در بخش خصوصی برای تولید وجود دارد.

با توجه به آنچه گفته شد پیشنهاد می‌شود:

ـ هر سیاستی درخصوص توسعه فناوری‌های تولید انرژی‌های تجدیدپذیر زیستی و کاربست و استفاده از آنها باید با در نظر گرفتن وضعیت بازار (مشتریان و ذی‌نفعان این نوع فناوری)، منابع انسانی (وجود نیروی انسانی متخصص کافی)، منابع اولیه، تجهیزات و سایر زیرساخت‌های دانشی و فناوری‌های مادر اتخاذ شود.

ـ برای توسعه محصولات زیست‌فناورانه ازجمله سوخت زیستی که منابع اولیه آن متکی بر ذخایر طبیعی کشاورزی یا جنگلی است باید از یک‌سو قیمت تمام شده محصول و ازسوی‌دیگر اهمیت ذخایر موجود در کشور را جهت تأمین نیازهای دیگری مثل غذا، حفاظت از محیط زیست و حفظ تنوع زیستی مدنظر قرار داد.

ـ با توجه به عدم تمایل اکثریت مردم به استفاده از سوخت‌های جایگزین و گران‌تر ازجمله سوخت زیستی، دولت در صورت سیاستگذاری به‌منظور توسعه این نوع سوخت‌ها باید سیاست‌های انگیزشی برای مصرف آن ایجاد کند و یا برای کاهش قیمت فروش، اعتباراتی را مازاد بر یارانه پیش‌بینی شده برای تأمین سوخت در بودجه‌های سالانه خود منظور کند.

ـ بهره‌گیری مؤثر از فرصت‌ها و مشوق‌های بین‌المللی و تسهیل انتقال و توسعه فناوری‌ها و نوآوری‌ها جهت تنوع‌بخشی منابع انرژی و توسعه انرژی‌های تجدیدپذیر در کشور مورد توجه قرار گیرد.

منابع و مآخذ

۱. جعفری، زهرا. بررسی بازار نفت در سال‌های آینده و قیمت آن در بودجه برخی کشورها، مرکز پژوهش‌های مجلس شورای اسلامی، دفتر مطالعات انرژی، صنعت و معدن (گروه انرژی)، شماره مسلسل ۱۴۶۰۹، ۱۳۹۴.

۲. خردمندنیا، سهیلا. بررسی سیاست‌های اقتصاد زیستی در دنیا و ایران، مرکز پژوهش‌های مجلس شورای اسلامی، دفتر فناوری‌های نوین (گروه فناوری‌های نو)، شماره مسلسل ۱۵۴۸۳، ۱۳۹۶.

۳. سازمان انرژی‌های تجدیدپذیر و بهره‌وری انرژی برق (ساتبا)، گزارش وضعیت جهانی انرژی‌های تجدیدپذیر (۲۰۱۵)، آخرین دسترسی در ۲۳ خرداد ۱۳۹۶، تارنما:
http://www.satba.gov.ir/fa/news/622

۴. نیک‌پور. مژده و پازوکی، محمد. تولید صنعتی بیودیزل از زیست‌توده به‌عنوان یک منبع تجدیدپذیر، فصلنامه تخصصی علمی ترویجی فرآیند نو، شماره ۵۳، ۱۳۹۵.

۵. وزارت جهاد کشاورزی، ۱۳۹۵، معاونت برنامه‌ریزی و اقتصادی، مرکز فناوری اطلاعات و ارتباطات، صادرات و واردات محصولات مرتبط با کشاورزی، آخرین دسترسی در ۲۳ خرداد ۱۳۹۶، تارنما:
http://dpe.agri-jahad.ir/portal/Home/Default.aspx?CategoryID=14fa8e 8a-484f-4085-a4dd-243e45abc0c2

6. Allen, B., Nanni, S., Schweitzer, J.P., Baldock, D., Watkins, E., Withana, S., Bowyer, C., 2015, “International review of

7. Bio-economy Strategies with a focus on waste resources”, Report prepared for the UK Government Department for - Business, Innovation and Skills. Institute for European Environmental Policy, London.

8. Banja M., (2013) “Renewable Energy Progress in EU 27 (2005–2020)”, Joint Research Centre, 2013, Ispra, Italy.

9. Ecofys, (2012) “Renewable energy progress and biofuels sustainability”, Report for the European Commission, ENER/C1/463-2011- Lot2, 2012.

10. EurObservER, (2014) "The State of Renewable Energies in Europe", 14th EurObservER Report, last accessed on: August 3, 2016 at www.energies-renouvelables.org/observ-er/stat_baro/barobilan/ barobilan 14-gb.pdf.
11. European Council, (2014) "Conclusions on 2030 Climate and Energy Policy Framework, EUCO 169/14", last accessed on: August 3, 2016 at http://www.consilium.europa.eu/uedocs/ cms_data/docs/ pressdata/en/ec/145397.pdf.
12. FAO, 2016, "Food Chain Crisis Early Warning Bulletin", last accessed on: March 08, 2017 at http://www.fao.org/3/a-bc540e.pdf
13. Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO), 2017, Fisheries & Aquaculture Department, Fishery and Aquaculture Country Profiles, last accessed on: Feb 20, 2017 at: http://www.fao.org/fishery/countryprofiles/search/en.
14. Global Innovation Index (GII 2015): Effective Innovation Policies for Development, Cornell University, INSEAD and WIPO, last accessed on: Feb 20, 2017 at: https://www.globalinnovationindex.org/ userfiles/file/reportpdf/GII-2015-v5.pdf.
15. IEA, (2011), "Technology roadmap biofuels for transport", last accessed on: August 3, 2016 at http://www.iea.org/publications/freepublications/publication/technolo gy-roadmap-biofuels-for-transport.html
16. Matzenberger,J., (2015) "Future perspectives of international bioenergy trade", Renewable and Sustainable Energy Reviews, Vol. 43, pp. 926-941.
17. Mengistu, M.G., (2015) "A review on biogas technology and its contributions to sustainable rural livelihood in Ethiopia", Renewable and Sustainable Energy Reviews, Vol. 48, pp. 306-316.
18. Navigantresearch, (2014) last accessed on: July 23, 2016 at http://www.navigantresearch.com/
19. OECD, (2009) The Bioeconomy to 2030: Designing a Policy Agenda, OECD Publishing http://dx.doi.org/10.1787/9789264056886-9-en.

20. OECD, (2011) “Future Prospects for Industrial Biotechnology”, OECD Publishing, last accessed on: August 3, 2016 at http://dx.doi.org/10.1787/9789264126633-en
21. Scarlat, N., (2015) “The role of biomass and bioenergy in a future bioeconomy, Policies and facts”, Environmental Development, 15, 5-34.
22. Shahab, M., “Technology Achievement Index (TAI) 2015: Mapping the Global Patterns of Technological Capacity in the Network Age”, manuscript, 2016.
23. Shen, Y., (2015) “An overview of biogas production and utilization at full-scale wastewater treatment plants (WWTPs) in the United States: Challenges and opportunities towards energy-neutral WWTPs”, Renewable and Sustainable Energy Reviews, Vol. 50, pp. 346-362.
24. Statista, (2018). http://www.statista.com
25. Su, Y. (2015) “An overview of biofuels policies and industrialization in the major biofuel producing countries”, Renewable and Sustainable Energy Reviews, Vol. 50, pp. 991-1003.
26. Vermerris, W. and Abril, A., (2015) “Enhancing cellulose utilization for fuels and chemicals by genetic modification of plant cell wall architecture”, Current Opinion in Biotechnology, Vol. 32, pp. 104-112.
27. World bank data bank, Agricultural land, last accessed on Feb 20, 2017 at: http://databank.worldbank.org/data/reports.aspx?source=2&series=AG.LND.AGRI.ZS&country.
28. World bank data bank, Energy imports, last accessed on Feb 20, 2017 at: http://databank.worldbank.org/data/reports.aspx?source=2&series=EG.IMP.CONS.ZS&country=#
29. World bank data bank, Forest aera, last accessed on Feb 20, 2017 at: http://databank.worldbank.org/data/reports.aspx?source=2&series=AG.LND.FRST.ZS&country.
30. World bank data bank, Fuel imports, last accessed on Feb 20, 2017 at: http://databank.worldbank.org/data/reports.aspx? Source=2&series=TM.VAL.FUEL.ZS.UN&country=#

مرکز پژوهش‌های مجلس شورای اسلامی

شناسنامه گزارش	شماره مسلسل: ۱۵۷۹۶

عنوان گزارش: بررسی وضعیت انرژی‌های تجدیدپذیر زیستی در ایران و جهان

نام دفتر: مطالعات فناوری‌های نوین (گروه فناوری‌های نو)

تهیه و تدوین‌کنندگان: سهیلا خردمندنیا، مرتضی براتی

مدیر مطالعه: پریسا علیزاده

ناظران علمی: حسین افشین، مهدی فقیهی

متقاضی: معاونت پژوهش‌های زیربنایی و امور تولیدی

واژه‌های کلیدی:

۱. انرژی تجدیدپذیر
۲. برق زیستی
۳. بیواتانول
۴. بیودیزل
۵. سوخت زیستی

تاریخ انتشار: ۱۳۹۶/۱۲/۲۰