

KNO-1002-4003

بررسی استراتژی استفاده از انرژی های تجدیدپذیر در مسیر تحول انرژی و توسعه پایدار

آزاد رحیمی A-rahimi@tvu.ac.ir

هیئت علمی، دپارتمان مهندسی برق دانشگاه فنی و حرفه ای کردستان، ایران

چکیده: در عصر کنونی که سهم مصرف برای آینده قابل پیش بینی است، برای مطالعه و بررسی بهره وری انرژی جهان و ظرفیت سازی کاهش انتشار گاز دی اکسیدکربن CO2 توسعه یافته است بر طبق سناریوی اولیه ای، انتشار گاز CO2 صنعتی در بین سال های 2003 و 2050 به 82 درصد افزایش می یابد. هدف آژانس انرژی IEA 3، توسعه مجموعه ای از داده های دقیق است که بتواند در خدمت تلاش های مدل سازی قرار گیرد این پژوهش، مشخصات فنی و اقتصادی انتقال سریع انرژی به سال 2050 را بر اساس اهداف توسعه پایدار بررسی می کند. نتایج بیانگر آنست. انرژی های تجدیدپذیر می توانند دو سوم کل تقاضای انرژی جهانی را تأمین کنند و به کاهش عمده گازهای گلخانه ای که از هم اکنون تا سال 2050 برای محدود کردن متوسط افزایش دمای سطح جهانی زیر 2 درجه سانتیگراد نیاز است، کمک کنند. برای فعال سازی شتاب رشد قابل قبول انرژی های تجدید پذیر مورد نیاز، بالاترین رشد تخمین زده شده برای فن آوری های PV، بادی و خورشیدی، همراه با سطح بالایی از بازده انرژی، باید چارچوب های فعال کننده سیاست و مقررات تنظیم شود. که لازمه آن، توجه به فناوریهای و نوآوریهای جدید در بخشهای حمل و نقل است.

کلمات کلیدی: انرژی های تجدیدپذیر، توسعه پایدار، IRENA, Remap

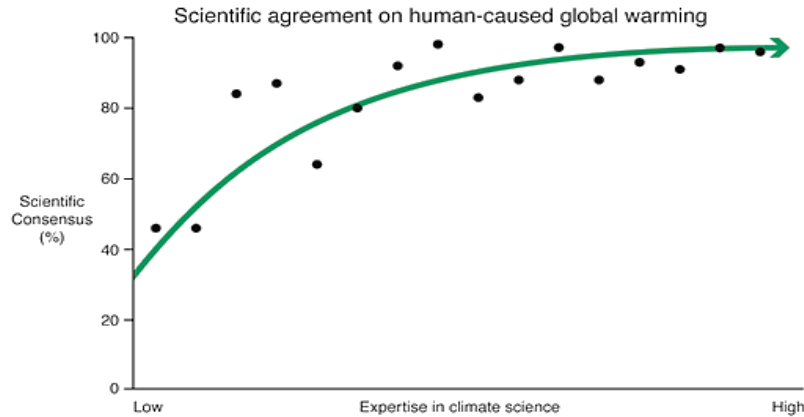
تجدیدپذیر 3/8 درصد در تولید الکتریسیته جهان سهم داشته اند. هم اکنون انرژی های تجدیدپذیر بیش از 14 درصد از انرژی اولیه جهان را تأمین می نمایند. اما متأسفانه در کشور ما سهم چندانی نداشته که این موضوع زنگ خطری در مصرف سوختهای فسیلی برای کشور محسوب می شود.

بررسی های موجود توسط موسسات و نهاد های بین المللی فعال در موضوعات مرتبط با تغییر اقلیم نشان می دهد در حال حاضر در دنیا تنها 3٪ از دانشمندان در خصوص نظریه ارتباط بین گرمایش جهانی و افزایش انتشار گازهای شک دارند و بیش از 97٪ جامعه علمی دنیا ان را پذیرفته است. شکل (1) روند این موضوع را نشان می دهد. چنان که از شکل پیداست با افزایش دانش کارشناسان میزان مقبولیت

1. مقدمه

با توجه به نیاز توسعه کشورها میزان به کارگیری انرژی های تجدیدپذیر نیز در کشورهای جهان رو به افزایش بوده بطوریکه یکی از شاخص های توسعه یافتگی، میزان استفاده متناسب و درست از انرژی های تجدیدپذیر محسوب می شود. برابر برنامه ریزیهای بعمل آمده این نوع انرژی روز به روز سهم بیشتری در سیستم تأمین انرژی ایجاد نموده در این زمینه در سال 2008 بیش از 120 میلیارد دلار در بخش افزایش ظرفیتها، احداث نیروگاهها و تحقیق و توسعه انرژی های نو سرمایه گذاری شده است. تا انتهای سال 2010، بدون در نظر گرفتن انرژی آبی که حدود 17 درصد در تولید الکتریسیته دنیا را در بر می گیرد، ظرفیت های موجود در انرژی های

نظریه ارتباط بین فعالیتهای بشری و گرمایش جهانی افزایش می یابد.



شکل 1: درصد موافقت جوامع علمی جهان به پدیده تغییر اقلیم (منبع: موسسه جهانی تغییر اقلیم، دانشگاه کوئینزلند، استرالیا) هدف آنها، در قالب "دستور کار 2030" راهی برای پایان دادن به فقر شدید، مبارزه با نابرابری و بی عدالتی و محافظت از محیط سیارات تعریف می کنند.

اهداف توسعه پایدار¹ (SDG) که در سال 2015 توسط مجمع عمومی سازمان ملل متحد (UNGA) تصویب شد، چارچوبی قدرتمند برای همکاری بین المللی برای دستیابی به آینده پایدار کره زمین فراهم می کند. 17 SDG و 169



شکل 2: آرمانهای سازمان ملل متحد (UNGA) برای رسیدن به توسعه پایدار موسوم به SDG 7

¹ Sustainable Development Goals

در کشو ایران، کمیته ملی توسعه پایدار وظیفه هماهنگی و نظارت بر چگونگی دستیابی به اهداف را بر عهده دارد. بر اساس تصمیمات کمیته ملی توسعه پایدار، متولیان اصلی اجرای اهداف توسعه پایدار در نمودار شماره 1 مشخص گردیده است.

انرژی پایدار در موفقیت برنامه 2030 نقش اساسی دارد. اهداف جهانی در حوزه انرژی شامل سه هدف اصلی: اطمینان از دسترسی مقرون به صرفه، دسترسی قابل اطمینان و جهانی به خدمات انرژی مدرن، به طور قابل توجهی سهم انرژی تجدید پذیر را در ترکیب انرژی جهانی افزایش می‌دهد و افزایش دو برابری نرخ جهانی بهبود در بهره‌وری انرژی را پیش بینی کرده است. [1-18].



این دستور کار در صدد تقویت صلح جهانی در قالب آزادیهای بیشتر است. اذعان داریم که ریشه‌کن سازی فقر در همه اشکال و ابعاد آن، از جمله فقر مفرط، بزرگترین چالش جهانی

شکل 3: اهداف توسعه پایدار بر اساس تصمیمات کمیته ملی توسعه پایدار (منبع: سند توسعه پایدار سازمان حفاظت محیط زیست-1395)

می شود. یک نگاه کلی به استراتژی های آب و هوا، کاربری زمین، انرژی و آب می تواند به رفع برخی از این کاستی ها کمک کند [3].

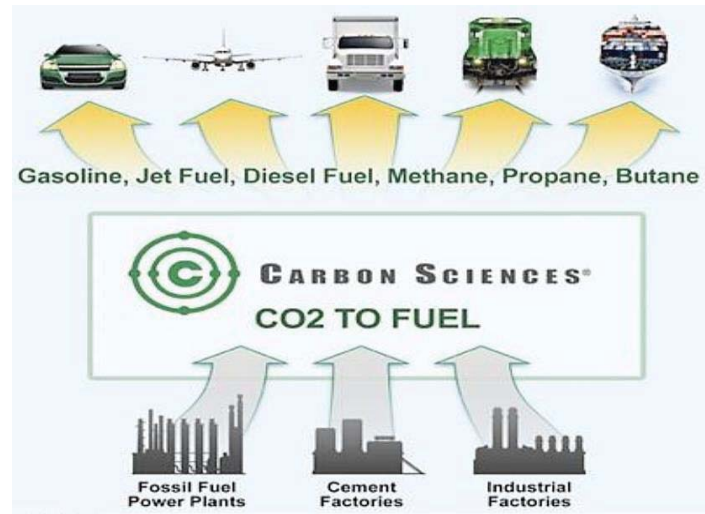
برای دستیابی به اهداف محدود کردن متوسط افزایش درجه حرارت سطح جهانی، یک انتقال انرژی جهانی ضروری است. پیامدهای توافق نامه پاریس برای بخش انرژی که بر اساس آن دولت ها برای الحاق به توافقنامه مذکور موظف به ارائه برنامه مشارکت ملی خود در خصوص کاهش انتشار و سازگاری با تغییرات اقلیمی شده اند و بنابراین تعهدات دولت ها بر مبنای مشارکت ایشان قابل ارزیابی است، تا حدی موثر خواهد بود. [4]. انتقال از سوخت های فسیلی به محلول های کم کربن نقش اساسی را ایفا خواهد کرد، زیرا انتشار دی اکسید کربن مربوط به انرژی (CO₂) نمایانگر دو سوم گازهای گلخانه ای (GHG) است [8]. این انتقال انرژی به روش سنتی بوسیله سوخت های کربن خنثی¹، سوخت های مصنوعی از جمله متان، بنزین، گازوئیل، سوخت جت و یا آمونیاک هستند که به وسیله هیدروژنه کردن دی اکسید کربن بازیافت شده از دودهای خروجی از دودکش نیروگاه، بازیافت شده از گاز اگزوز خودرو و یا مشتق شده از اسید کربنیک آب دریا به دست آمده است.

و نیازی ضروری جهت توسعه پایدار میباشد. تجزیه و تحلیلها از مسیرهای انرژی آینده نشان می دهد که دستیابی به انرژی بهتر، کیفیت هوا و امنیت انرژی به طور همزمان در حالی که از تغییر خطرناک آب و هوا جلوگیری می شود، امکان پذیر است. در واقع، تعدادی از ترکیبات جایگزین منابع، فناوری ها و سیاست ها برای دستیابی به این اهداف یافت و پیشنهاد شده است [2]. اگرچه تحول و تغییر موفقیت آمیز از نظر فنی امکان پذیر است، اما این امر مستلزم شناسایی راه حل های موفق مقرون به صرفه که بتواند همزمان چندین هدف را تحقق بخشد و معرفی سیاست ها و تغییرات اساسی سیاسی در جهت انجام تلاش های هماهنگ و سازمان یافته برای ادغام نگرانی های جهانی از تغییر اقلیم می باشد [20-19].

2. ضرورت انجام پژوهش:

اگر زمین، انرژی و آب از ارزشمندترین منابع ما هستند، و نحوه و میزان بهره برداری از آنها به تغییرات آب و هوایی کمک می کند. باید در نظر داشت که سیستم هایی که این منابع را فراهم می کنند، خود در برابر تغییرات آب و هوا بسیار آسیب پذیر هستند. بنابراین مدیریت کارآمد منابع، هم برای کاهش و هم برای اهداف سازگاری از اهمیت زیادی برخوردار است. عدم همپوشانی در ارزیابی منابع و سیاست گذاری، منجر به ایجاد استراتژی های متناقض و استفاده ناکارآمد از منابع

¹ carbon-neutral fuels



شکل 4: انتقال انرژی به روش سنتی بوسیله سوخت‌های کربن خنثی

می یافتند برای پاسخگویی به نیازهای طرفین عرضه و تقاضا استفاده می‌شدند. اما موفقیت طولانی مدت این بخش تحت تأثیر چرخه های اقتصادی و تغییر اولویت های دولت است [77]. در آلمان، Energiewende نتیجه یک اجماع ملی برای کنار گذاشتن انرژی هسته ای و کاهش انتشار گازهای گلخانه ای (GHG) به میزان 80٪ تا سال 2050 از طریق جذب سریع انرژی های تجدیدپذیر است [6]. با این حال، Energiewende همچنان به عنوان یک سیاست انتقال بخش برق با تأثیر اندک بر تولید سوخت زغال سنگ و برای سرعت بخشیدن به انتقال در بخش های گرمایش و حمل و نقل باقی مانده است [7]. در دانمارک نیز در مورد اهداف آب و هوایی در ترکیب با سیاست پشتیبانی ضمنی صنعت تأمین انرژی تجدیدپذیر اتفاق نظر وجود دارد [5].

3. اهداف پژوهش:

با توجه به نقش اصلی انتقال انرژی در کاهش تغییرات آب و هوایی که بر پایه دو راندمان انرژی و انرژی های تجدید پذیر بنا شده است، اهداف این پژوهش عبارتند از:

- مشخص کردن مشخصات فنی انتقال انرژی مداوم جهانی، با تمرکز بر مولفه انرژی تجدیدپذیر.

اما انتقال اساسی و کاملاً موثر انرژی به واسطه نوآوری در فناوری، به ویژه در زمینه انرژی های تجدید پذیر امکان پذیر خواهد شد. ثبت اضافات جدیدی از ظرفیت نصب شده انرژی تجدیدپذیر را می توان ناشی از کاهش سریع هزینه ها و رقابت، به ویژه برای فتوولتائیک خورشیدی (PV) و انرژی باد دانست. یک چهارم کل برق در سراسر جهان از طریق انرژی های تجدیدپذیر در سال 2017 تولید شده است. با این حال، انتقال به سرعت کافی اتفاق نمی افتد: به دنبال سه سال انتشار مداوم انرژی CO2 از 2014 تا 2016، آنها در سال 2017 به مقدار 1.4 درصد افزایش یافتند [9].

روایت های انتقال انرژی ملی شامل هر دو موفقیت و شکست می باشد. داستان های موفقیت نشان می دهد که انتقال انرژی مبتنی بر توانمندسازی چهارچوب سیاست های انرژی طراحی شده توسط دولت ها است که می تواند انتقال انرژی را تسریع کرده و جهت آنها را تعیین کند. سیاست های گذار که به خوبی طراحی شده اند، ویژگی های سیستم های انرژی را در نظر می گیرند و عرضه و تقاضای انرژی را در بر می گیرند [5]. درسهایی از چندین کشور و منطقه نمونه ای از این موارد است. در برزیل، برنامه Proalcool در سال 1975 آغاز شد و ترکیبی از ابزارهای سیاست گذاری که با گذشت زمان تکامل

متحدہ از منابع انرژی تجدیدپذیر تأمین می شود. به عنوان مثال، هاوایی در ایالات متحده قصد دارد تا سال 2030 به 70٪ استقلال انرژی برسد، که 40٪ از آن با انرژی های تجدید پذیر ارائه می شود. مورد ایالات متحده همچنین اهمیت به روزرسانی مداوم و بهبود سیاست های انتقال انرژی را نشان می دهد، جایی که بخش های برق و حمل و نقل شباهت هایی را از این جهت نشان می دهند که دامنه سیاست های آنها به طور مکرر گسترش یافته و جدول زمانی آنها فراتر از اهداف اصلی است [8].

چین به عنوان بزرگترین تولید کننده و مصرف کننده انرژی، نقشی اساسی در انتقال انرژی جهانی دارد. چین برای تأمین تقاضای روزافزون انرژی و کاهش آلودگی هوا، به منابع تجدیدپذیر روی آورده است. چین همچنین اهدافی را در نظر گرفته است که میزان انتشار کربن خود را در هر واحد تولید ناخالص داخلی تا سال 2030 60 تا 65٪ نسبت به سطح 2005 که تجدیدپذیرها نقشی اساسی دارند، کاهش دهد. هدف برای سهم سوخت غیر فسیلی در کل تقاضای انرژی 20٪ تا سال 2030 است [14]. چین بیش از نیمی از کل ظرفیت PVP خورشیدی جهانی GW94 را در سال 2017 به خود اختصاص داده است. با این حال، در سال 2018، دولت چین سهمیه های استقرار PV خورشیدی را تعیین کرد و تصمیم گرفت تا تعرفه های خوراکی را که انتظار می رود تأسیسات ظرفیت را کاهش دهد، حذف کند.

چندین کاربر بزرگ انرژی دیگر نیز در انتقال انرژی جهانی شرکت می کنند. فدراسیون روسیه که یکی از بزرگترین منابع سوخت های فسیلی در جهان را در اختیار دارد، در حال تسریع در استفاده از انرژی خورشیدی و باد از طریق مزایده ها برای ایجاد منافع برای اشتغال، علوم، فناوری و امنیت انرژی برای ساکنان دورافتاده شده است [8]. بیش از 5 گیگاوات ظرفیت باد و خورشید از سال 2013 اعطا شده است، که نشان می دهد این کشور به احتمال زیاد از هدف 2024 خود

• طرح سناریوی انتقال انرژی برای توسعه پایدار از هم اکنون و در سال 2050، و نقشی که انرژی تجدیدپذیر می تواند در چنین انتقال انرژی جهانی با استفاده از آخرین مجموعه های داده برای انرژی های تجدید پذیر و مقایسه سناریوهای انتقال از منابع مختلف بازی کند

• ارزیابی هزینه و مزایای انتقال سریع انرژی

• طرح هم افزایی بین بهره وری سریع انرژی و استقرار انرژی تجدیدپذیر

4. سوابق انجام طرح در دنیا

بلند پروازیهای اهداف انرژی های تجدیدپذیر به دلایل دیگر به طور مداوم در بسیاری از کشورها مطرح می شود. به عنوان مثال، اتحادیه اروپا هدف الزام آور 2030 خود را از 27٪ که در سال 2014 تعیین شده بود، به 32٪ در ژوئن 2018 تنظیم کرده است. هدف جدید شامل پروژه ایست مبنی بر اینکه در سال 2023 کشورها مجدداً برای بحث در مورد به روزرسانی مجدداً تشکیل جلسه می دهند [71]. دولت هند هدف بلند پروازانه انرژی تجدیدپذیر 175 گیگاوات را تا سال 2022 تعیین کرد که شامل 60 گیگاوات باد و 100 گیگاوات انرژی خورشیدی است [76]. همانطور که این کشور پیشرفت خوبی داشته است، دولت هند این هدف را تا سال 2227 به 227 گیگاوات افزایش داده است. علیرغم ناهمگنی در بخش انرژی آمریکا و تفاوتها و اولویتهای مشخص هر عامل که بازارهای انرژی منفردی را تنظیم می کند که در هر 50 ایالت آمریکا تنظیم شده اند و با بیش از 3000 برنامه تأسیساتی، ایالات متحده روایتی موفق از انتقال انرژی را ارائه می دهد. تولید داخلی گاز طبیعی و تلاش برای تعیین سیاست در سطح فدرال و ایالت که توسط مکانیزمهایی مانند مشوق های مالیاتی برای انرژی های تجدیدپذیر انجام می شود، بخش انرژی کشور را متحول کرده است. بر اساس آخرین داده های سال 2017 اداره اطلاعات انرژی ایالات متحده 11 درصد از کل تقاضای انرژی و 17 درصد از کل تولید برق در ایالات

KNO-1002-4003

بررسی استراتژی استفاده از انرژی های تجدیدپذیر در مسیر تحول انرژی و توسعه پایدار

آزاد رحیمی A-rahimi@tvu.ac.ir

هیئت علمی، دپارتمان مهندسی برق دانشگاه فنی و حرفه ای کردستان، ایران

چکیده: در عصر کنونی که سهم مصرف برای آینده قابل پیش بینی است، برای مطالعه و بررسی بهره وری انرژی جهان و ظرفیت سازی کاهش انتشار گاز دی اکسیدکربن CO₂ توسعه یافته است بر طبق سناریوی اولیه ای، انتشار گاز CO₂ صنعتی در بین سال های 2003 و 2050 به 82 درصد افزایش می یابد. هدف آژانس انرژی IEA 3، توسعه مجموعه ای از داده های دقیق است که بتواند در خدمت تلاش های مدل سازی قرار گیرد این پژوهش، مشخصات فنی و اقتصادی انتقال سریع انرژی به سال 2050 را بر اساس اهداف توسعه پایدار بررسی می کند. نتایج بیانگر آنست. انرژی های تجدیدپذیر می توانند دو سوم کل تقاضای انرژی جهانی را تأمین کنند و به کاهش عمده گازهای گلخانه ای که از هم اکنون تا سال 2050 برای محدود کردن متوسط افزایش دمای سطح جهانی زیر 2 درجه سانتیگراد نیاز است، کمک کنند. برای فعال سازی شتاب رشد قابل قبول انرژی های تجدید پذیر مورد نیاز، بالاترین رشد تخمین زده شده برای فن آوری های PV، بادی و خورشیدی، همراه با سطح بالایی از بازده انرژی، باید چارچوب های فعال کننده سیاست و مقررات تنظیم شود. که لازمه آن، توجه به فناوریهای و نوآوریهای جدید در بخشهای حمل و نقل است.

کلمات کلیدی: انرژی های تجدیدپذیر، توسعه پایدار، IRENA, Remap

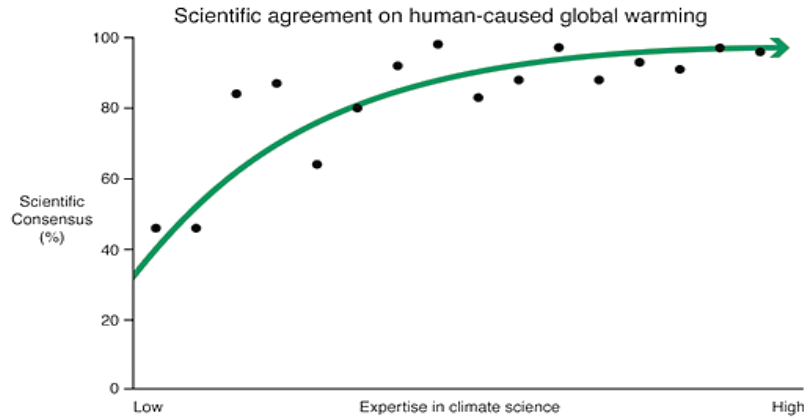
تجدیدپذیر 3/8 درصد در تولید الکتریسیته جهان سهم داشته اند. هم اکنون انرژی های تجدیدپذیر بیش از 14 درصد از انرژی اولیه جهان را تأمین می نمایند. اما متأسفانه در کشور ما سهم چندانی نداشته که این موضوع زنگ خطری در مصرف سوختهای فسیلی برای کشور محسوب می شود.

بررسی های موجود توسط موسسات و نهاد های بین المللی فعال در موضوعات مرتبط با تغییر اقلیم نشان می دهد در حال حاضر در دنیا تنها 3٪ از دانشمندان در خصوص نظریه ارتباط بین گرمایش جهانی و افزایش انتشار گازهای شک دارند و بیش از 97٪ جامعه علمی دنیا ان را پذیرفته است. شکل (1) روند این موضوع را نشان می دهد. چنان که از شکل پیداست با افزایش دانش کارشناسان میزان مقبولیت

1. مقدمه

با توجه به نیاز توسعه کشورها میزان به کارگیری انرژی های تجدیدپذیر نیز در کشورهای جهان رو به افزایش بوده بطوریکه یکی از شاخص های توسعه یافتگی، میزان استفاده متناسب و درست از انرژی های تجدیدپذیر محسوب می شود. برابر برنامه ریزیهای بعمل آمده این نوع انرژی روز به روز سهم بیشتری در سیستم تأمین انرژی ایجاد نموده در این زمینه در سال 2008 بیش از 120 میلیارد دلار در بخش افزایش ظرفیتها، احداث نیروگاهها و تحقیق و توسعه انرژی های نو سرمایه گذاری شده است. تا انتهای سال 2010، بدون در نظر گرفتن انرژی آبی که حدود 17 درصد در تولید الکتریسیته دنیا را در بر می گیرد، ظرفیت های موجود در انرژی های

نظریه ارتباط بین فعالیتهای بشری و گرمایش جهانی افزایش می یابد.



شکل 1: درصد موافقت جوامع علمی جهان به پدیده تغییر اقلیم (منبع: موسسه جهانی تغییر اقلیم، دانشگاه کوئینزلند، استرالیا) هدف توسعه پایدار¹ (SDG) که در سال 2015 توسط مجمع عمومی سازمان ملل متحد (UNGA) تصویب شد، چارچوبی قدرتمند برای همکاری بین المللی برای دستیابی به آینده پایدار کره زمین فراهم می کند. 17 SDG و 169



شکل 2: آرمانهای سازمان ملل متحد (UNGA) برای رسیدن به توسعه پایدار موسوم به SDG 7

¹ Sustainable Development Goals

در کشور ایران، کمیته ملی توسعه پایدار وظیفه هماهنگی و نظارت بر چگونگی دستیابی به اهداف را بر عهده دارد. بر اساس تصمیمات کمیته ملی توسعه پایدار، متولیان اصلی اجرای اهداف توسعه پایدار در نمودار شماره 1 مشخص گردیده است.

انرژی پایدار در موفقیت برنامه 2030 نقش اساسی دارد. اهداف جهانی در حوزه انرژی شامل سه هدف اصلی: اطمینان از دسترسی مقرون به صرفه، دسترسی قابل اطمینان و جهانی به خدمات انرژی مدرن، به طور قابل توجهی سهم انرژی تجدید پذیر را در ترکیب انرژی جهانی افزایش می‌دهد و افزایش دو برابری نرخ جهانی بهبود در بهره‌وری انرژی را پیش بینی کرده است. [1-18].



این دستور کار در صدد تقویت صلح جهانی در قالب آزادیهای بیشتر است. اذعان داریم که ریشه‌کن سازی فقر در همه اشکال و ابعاد آن، از جمله فقر مفرط، بزرگترین چالش جهانی

شکل 3: اهداف توسعه پایدار بر اساس تصمیمات کمیته ملی توسعه پایدار (منبع: سند توسعه پایدار سازمان حفاظت محیط زیست-1395)

می شود. یک نگاه کلی به استراتژی های آب و هوا، کاربری زمین، انرژی و آب می تواند به رفع برخی از این کاستی ها کمک کند [3].

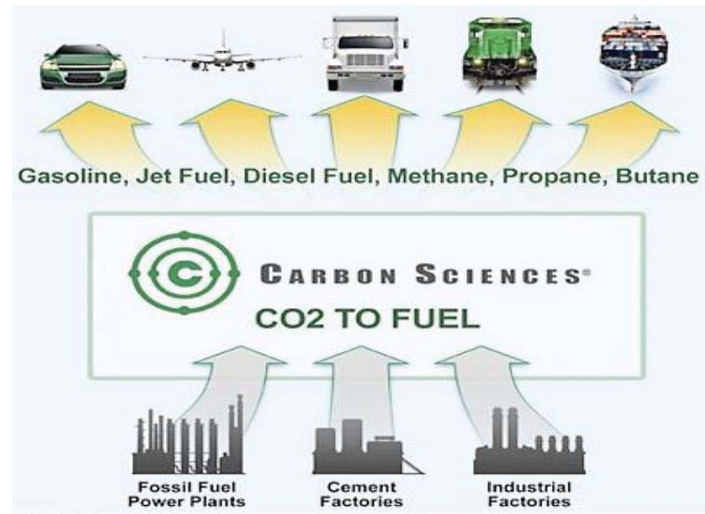
برای دستیابی به اهداف محدود کردن متوسط افزایش درجه حرارت سطح جهانی، یک انتقال انرژی جهانی ضروری است. پیامدهای توافق نامه پاریس برای بخش انرژی که بر اساس آن دولت ها برای الحاق به توافقنامه مذکور موظف به ارائه برنامه مشارکت ملی خود در خصوص کاهش انتشار و سازگاری با تغییرات اقلیمی شده اند و بنابراین تعهدات دولت ها بر مبنای مشارکت ایشان قابل ارزیابی است، تا حدی موثر خواهد بود. [4]. انتقال از سوخت های فسیلی به محلول های کم کربن نقش اساسی را ایفا خواهد کرد، زیرا انتشار دی اکسید کربن مربوط به انرژی (CO₂) نمایانگر دو سوم گازهای گلخانه ای (GHG) است [8]. این انتقال انرژی به روش سنتی بوسیله سوخت های کربن خنثی¹، سوخت های مصنوعی از جمله متان، بنزین، گازوئیل، سوخت جت و یا آمونیاک هستند که به وسیله هیدروژنه کردن دی اکسید کربن بازیافت شده از دودهای خروجی از دودکش نیروگاه، بازیافت شده از گاز اگزوز خودرو و یا مشتق شده از اسید کربنیک آب دریا به دست آمده است.

و نیازی ضروری جهت توسعه پایدار میباشد. تجزیه و تحلیلها از مسیرهای انرژی آینده نشان می دهد که دستیابی به انرژی بهتر، کیفیت هوا و امنیت انرژی به طور همزمان در حالی که از تغییر خطرناک آب و هوا جلوگیری می شود، امکان پذیر است. در واقع، تعدادی از ترکیبات جایگزین منابع، فناوری ها و سیاست ها برای دستیابی به این اهداف یافت و پیشنهاد شده است [2]. اگرچه تحول و تغییر موفقیت آمیز از نظر فنی امکان پذیر است، اما این امر مستلزم شناسایی راه حل های موفق مقرون به صرفه که بتواند همزمان چندین هدف را تحقق بخشد و معرفی سیاست ها و تغییرات اساسی سیاسی در جهت انجام تلاش های هماهنگ و سازمان یافته برای ادغام نگرانی های جهانی از تغییر اقلیم می باشد [20-19].

2. ضرورت انجام پژوهش:

اگر زمین، انرژی و آب از ارزشمندترین منابع ما هستند، و نحوه و میزان بهره برداری از آنها به تغییرات آب و هوایی کمک می کند. باید در نظر داشت که سیستم هایی که این منابع را فراهم می کنند، خود در برابر تغییرات آب و هوا بسیار آسیب پذیر هستند. بنابراین مدیریت کارآمد منابع، هم برای کاهش و هم برای اهداف سازگاری از اهمیت زیادی برخوردار است. عدم همپوشانی در ارزیابی منابع و سیاست گذاری، منجر به ایجاد استراتژی های متناقض و استفاده ناکارآمد از منابع

¹ carbon-neutral fuels



شکل 4: انتقال انرژی به روش سنتی بوسیله سوختهای کربن خنثی

می یافتند برای پاسخگویی به نیازهای طرفین عرضه و تقاضا استفاده می‌شدند. اما موفقیت طولانی مدت این بخش تحت تأثیر چرخه های اقتصادی و تغییر اولویت های دولت است [77]. در آلمان، Energiewende نتیجه یک اجماع ملی برای کنار گذاشتن انرژی هسته ای و کاهش انتشار گازهای گلخانه ای (GHG) به میزان 80٪ تا سال 2050 از طریق جذب سریع انرژی های تجدیدپذیر است [6]. با این حال، Energiewende همچنان به عنوان یک سیاست انتقال بخش برق با تأثیر اندک بر تولید سوخت زغال سنگ و برای سرعت بخشیدن به انتقال در بخش های گرمایش و حمل و نقل باقی مانده است [7]. در دانمارک نیز در مورد اهداف آب و هوایی در ترکیب با سیاست پشتیبانی ضمنی صنعت تأمین انرژی تجدیدپذیر اتفاق نظر وجود دارد [5].

3. اهداف پژوهش:

با توجه به نقش اصلی انتقال انرژی در کاهش تغییرات آب و هوایی که بر پایه دو راندمان انرژی و انرژی های تجدید پذیر بنا شده است، اهداف این پژوهش عبارتند از:

- مشخص کردن مشخصات فنی انتقال انرژی مداوم جهانی، با تمرکز بر مولفه انرژی تجدیدپذیر.

اما انتقال اساسی و کاملاً موثر انرژی به واسطه نوآوری در فناوری، به ویژه در زمینه انرژی های تجدید پذیر امکان پذیر خواهد شد. ثبت اضافات جدیدی از ظرفیت نصب شده انرژی تجدیدپذیر را می توان ناشی از کاهش سریع هزینه ها و رقابت، به ویژه برای فتوولتائیک خورشیدی (PV) و انرژی باد دانست. یک چهارم کل برق در سراسر جهان از طریق انرژی های تجدیدپذیر در سال 2017 تولید شده است. با این حال، انتقال به سرعت کافی اتفاق نمی افتد: به دنبال سه سال انتشار مداوم انرژی CO2 از 2014 تا 2016، آنها در سال 2017 به مقدار 1.4 درصد افزایش یافتند [9].

روایت های انتقال انرژی ملی شامل هر دو موفقیت و شکست می باشد. داستان های موفقیت نشان می دهد که انتقال انرژی مبتنی بر توانمندسازی چهارچوب سیاست های انرژی طراحی شده توسط دولت ها است که می تواند انتقال انرژی را تسریع کرده و جهت آنها را تعیین کند. سیاست های گذار که به خوبی طراحی شده اند، ویژگی های سیستم های انرژی را در نظر می گیرند و عرضه و تقاضای انرژی را در بر می گیرند [5]. درسهایی از چندین کشور و منطقه نمونه ای از این موارد است. در برزیل، برنامه Proalcool در سال 1975 آغاز شد و ترکیبی از ابزارهای سیاست گذاری که با گذشت زمان تکامل

متحدہ از منابع انرژی تجدیدپذیر تأمین می شود. به عنوان مثال، هاوایی در ایالات متحده قصد دارد تا سال 2030 به 70٪ استقلال انرژی برسد، که 40٪ از آن با انرژی های تجدید پذیر ارائه می شود. مورد ایالات متحده همچنین اهمیت به روزرسانی مداوم و بهبود سیاست های انتقال انرژی را نشان می دهد، جایی که بخش های برق و حمل و نقل شباهت هایی را از این جهت نشان می دهند که دامنه سیاست های آنها به طور مکرر گسترش یافته و جدول زمانی آنها فراتر از اهداف اصلی است [8].

چین به عنوان بزرگترین تولید کننده و مصرف کننده انرژی، نقشی اساسی در انتقال انرژی جهانی دارد. چین برای تأمین تقاضای روزافزون انرژی و کاهش آلودگی هوا، به منابع تجدیدپذیر روی آورده است. چین همچنین اهدافی را در نظر گرفته است که میزان انتشار کربن خود را در هر واحد تولید ناخالص داخلی تا سال 2030 60 تا 65٪ نسبت به سطح 2005 که تجدیدپذیرها نقشی اساسی دارند، کاهش دهد. هدف برای سهم سوخت غیر فسیلی در کل تقاضای انرژی 20٪ تا سال 2030 است [14]. چین بیش از نیمی از کل ظرفیت PVP خورشیدی جهانی GW94 را در سال 2017 به خود اختصاص داده است. با این حال، در سال 2018، دولت چین سهمیه های استقرار PV خورشیدی را تعیین کرد و تصمیم گرفت تا تعرفه های خوراکی را که انتظار می رود تأسیسات ظرفیت را کاهش دهد، حذف کند.

چندین کاربر بزرگ انرژی دیگر نیز در انتقال انرژی جهانی شرکت می کنند. فدراسیون روسیه که یکی از بزرگترین منابع سوخت های فسیلی در جهان را در اختیار دارد، در حال تسریع در استفاده از انرژی خورشیدی و باد از طریق مزایده ها برای ایجاد منافع برای اشتغال، علوم، فناوری و امنیت انرژی برای ساکنان دورافتاده شده است [8]. بیش از 5 گیگاوات ظرفیت باد و خورشید از سال 2013 اعطا شده است، که نشان می دهد این کشور به احتمال زیاد از هدف 2024 خود

• طرح سناریوی انتقال انرژی برای توسعه پایدار از هم اکنون و در سال 2050، و نقشی که انرژی تجدیدپذیر می تواند در چنین انتقال انرژی جهانی با استفاده از آخرین مجموعه های داده برای انرژی های تجدید پذیر و مقایسه سناریوهای انتقال از منابع مختلف بازی کند

• ارزیابی هزینه و مزایای انتقال سریع انرژی

• طرح هم افزایی بین بهره وری سریع انرژی و استقرار انرژی تجدیدپذیر

4. سوابق انجام طرح در دنیا

بلند پروازیهای اهداف انرژی های تجدیدپذیر به دلایل دیگر به طور مداوم در بسیاری از کشورها مطرح می شود. به عنوان مثال، اتحادیه اروپا هدف الزام آور 2030 خود را از 27٪ که در سال 2014 تعیین شده بود، به 32٪ در ژوئن 2018 تنظیم کرده است. هدف جدید شامل پروژه ایست مبنی بر اینکه در سال 2023 کشورها مجدداً برای بحث در مورد به روزرسانی مجدداً تشکیل جلسه می دهند [71]. دولت هند هدف بلند پروازانه انرژی تجدیدپذیر 175 گیگاوات را تا سال 2022 تعیین کرد که شامل 60 گیگاوات باد و 100 گیگاوات انرژی خورشیدی است [76]. همانطور که این کشور پیشرفت خوبی داشته است، دولت هند این هدف را تا سال 2227 به 227 گیگاوات افزایش داده است. علیرغم ناهمگنی در بخش انرژی آمریکا و تفاوتها و اولویتهای مشخص هر عامل که بازارهای انرژی منفردی را تنظیم می کند که در هر 50 ایالت آمریکا تنظیم شده اند و با بیش از 3000 برنامه تأسیساتی، ایالات متحده روایتی موفق از انتقال انرژی را ارائه می دهد. تولید داخلی گاز طبیعی و تلاش برای تعیین سیاست در سطح فدرال و ایالت که توسط مکانیزمهایی مانند مشوق های مالیاتی برای انرژی های تجدیدپذیر انجام می شود، بخش انرژی کشور را متحول کرده است. بر اساس آخرین داده های سال 2017 اداره اطلاعات انرژی ایالات متحده 11 درصد از کل تقاضای انرژی و 17 درصد از کل تولید برق در ایالات

اساس آن ظرفیت تولید انرژی از منابع تجدید پذیر و پاک در 139 کشور جهان شناسایی شده است. بر اساس گفته های این محققین، اگر این کشورها به جای بهره گیری از سوخت های فسیلی و انرژی هسته ای به تولید انرژی های پاک از منابع آب، باد، خورشید، زمین گرمایی و جزر و مد دریا روی بیاورند می توانند تا سال 2050 میلادی همه صد درصد انرژی مصرفی شان را از انرژی های نو تأمین کنند. این نقشه و جزئیات مربوط به آن در اجلاس تغییرات آب و هوایی پاریس و در حضور رهبران 195 کشور جهان نیز ارائه شد تا شاید جایگزینی سوخت های فسیلی با انرژی های نو به عنوان یکی از برنامه های جدی دولت های جهان برای مقابله با گرمایش زمین مورد توجه جدی قرار گیرد.

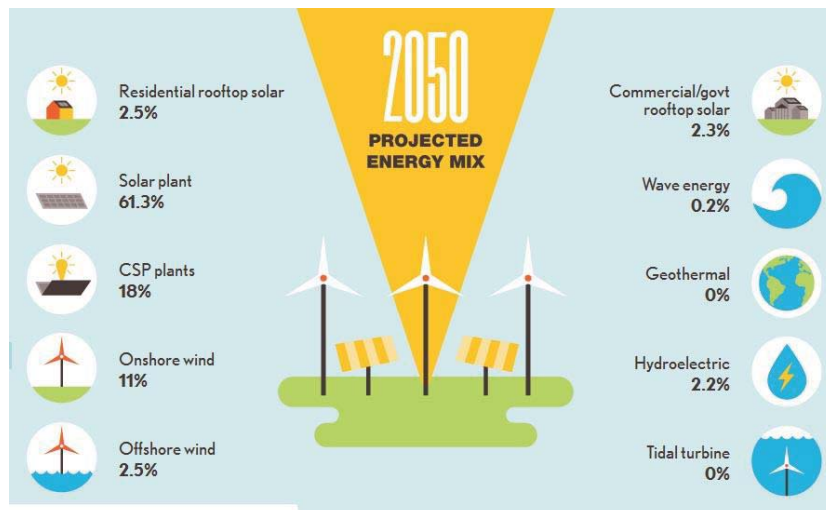
این نقشه دقیقاً به ما می گوید که چه تعداد توربین بادی، مزرعه خورشیدی و نیروگاه های برق آبی که بخشی از آنها نیروگاه های پمپ ذخیره ای هستند، لازم است تا انرژی مورد نیاز این کشورها برای حمل و نقل، کشاورزی، صنعت و تجارت تأمین شود و در عین حال تأکید می کند تأمین این میزان انرژی چقدر هزینه در بر خواهد داشت و چه تعداد شغل ایجاد می کند. شکل 5 طرح دانشگاه استنفورد برای تأمین انرژی به صورت پاک در ایران تا سال 2050 را نشان می دهد.

یعنی 5.9 گیگاوات ظرفیت انرژی تجدید پذیر نصب شده (از جمله زمین گرمایی) پیشی خواهد گرفت [8,9]. ترکیه به عنوان یک اقتصاد در حال ظهور، همچنین در حال بررسی راه های افزایش سهم خورشیدی و بادی با نیاز فوری به منظور کاهش واردات انرژی خود است که سه چهارم کسری حساب جاری کشور را به خطر می اندازد. برای تحقق اهداف کوتاه مدت انرژی های تجدیدپذیر آن تا سال 2023، تعرفه های تغذیه ای برق را بود که برای PV خورشیدی تا در سال 2018 به هدف ظرفیت نصب شده 5 GW برسد موفقیت آمیز بود. با این وجود، عدم وضوح در برنامه ریزی پس از سال 2023 و افزایش وزن حراج های بزرگ در مقیاس بزرگ که هدف اصلی آنها ایجاد صنعت تجهیزات انرژی های تجدیدپذیر محلی است، عواملان مقیاس کوچک را از بازار خارج کرده و از کمبود بودجه رنج می برند [10].

5. طرح دانشگاه استنفورد برای تأمین کل انرژی به صورت پاک در

ایران تا 2050

اخیراً دو پژوهشگر در دانشکده محیط زیست دانشگاه استنفورد در گروه مهندسی عمران محیط زیست موفق شدند نقشه ای تهیه و به کنفرانس جهانی آب و هوا ارائه کنند که بر



شکل 5: طرح دانشگاه استنفورد برای تأمین کل انرژی به صورت پاک در ایران تا 2050

به روزرسانی نتایج منتشر شده در مطالعه مشترک IRENA و آژانس بین المللی انرژی (IEA) است. [4].

6. مروری بر روش شناسی

REmap براساس یک فناوری منحصر به فرد و مجموعه داده هزینه پروژه ساخته شده است. هزینه های فناوری و پیش بینی هزینه ها از یک پایگاه داده ای جامع و در دسترس عموم هزینه های فناوری انرژی های تجدید پذیر بدست آمده است [30, 29]. همچنین در سالهای اخیر تعدادی مجموعه داده IRENA در سطوح مختلف تفکیک فضایی ایجاد شده است که جزئیات پتانسیل های اقتصادی و فنی انواع منابع تجدید پذیر و استراتژی های نحوه افزایش و استقرار این پتانسیلها را در آینده به روشی مقرون به صرفه ارائه می دهد.

در مورد پتانسیل های استفاده از فناوری در بازه زمانی 2030 و 2050، مشاوره های گسترده ای با متخصصان کشور انجام شده است و این اطلاعات با تجزیه و تحلیل مدل برای تحول بخش برق ترکیب می شود. این شامل پتانسیل ها و اطلاعات مربوط به بازار از 150 کشور و همچنین جدیدترین برنامه های انرژی ملی 70 کشور است که مستقیماً از دولت ها جمع آوری شده است [9, 17]. با مقایسه کاربرد آن با یافته های مدل های ملی IEA-ETSAP و همچنین سایر سناریوهای مورد تأیید جامعه جهانی انرژی و آب و هوا، بینش بیشتری در مورد روش، نقاط قوت و محدودیت های چارچوب مدل سازی جهانی انرژی REmap ارائه دهید.

ابزارها و مدل های جهانی، منطقه ای و ملی بی شماری برای ارزیابی مسیرهای انتقال کم کربن و انرژی وجود دارد [11-13]. یافته های REmap برای سال 2030 قابل مقایسه با سایر تجزیه و تحلیل سناریوها است که از تکنیک های مختلف اما فرضیه های مشابه در مورد فن آوری ها، هزینه ها و غیره استفاده می کند [8, 9]. نقطه قوت رویکرد REmap این است که به متخصصان ملی IRENA اجازه می دهد سناریوهای خود را بسازند و داده ها و فرضیات تجزیه و تحلیل را مرور کنند.

این پژوهشگران در گزارش خود در بخش تولید 100 درصدی انرژی های تجدید پذیر، ایران را یکی از مهمترین کشورهای جهان در بهره گیری از انرژی های نو عنوان کرده اند. این در حالی است که عملاً کشورمان حتی در مقایسه با بسیاری از کشورهای همسایه همچون عربستان، ترکیه، اردن، امارات و... هنوز هم سهم چشمگیری در تولید انرژی های پاک ندارد و تمامی سرمایه گذاری های انرژی کشور به نیروگاه های با سوخت فسیلی و نهایتاً نیروگاه های برقی ختم شده است.

بر اساس این گزارش در حال حاضر تولید هر کیلو وات ساعت برق از سوخت های فسیلی و نیروگاه های هسته ای در ایران حدود 11/8 سنت هزینه دارد حال آنکه تولید برق از منابع آب و باد و خورشید به ازای هر کیلووات ساعت تنها 6/6 سنت هزینه خواهد داشت. بر اساس برنامه ریزی که این دو پژوهشگر انجام داده اند دولت ها می توانند مصرف سوخت های فسیلی همچون زغال سنگ و حتی گاز طبیعی و نیروگاه های هسته ای را تا سال 2050 متوقف کنند. آنها برآورد کرده اند که جهان تا سال 2050 می تواند 100 درصد انرژی مورد نیاز خود را از منابع تجدید پذیر با ایجاد 1/7 میلیارد پشت بام خورشیدی، 40 هزار نیروگاه فتوولتائیک، 3/8 میلیون توربین بادی و 900 هزار نیروگاه برقی و پمپ ذخیره ای و 490 هزار توربین جزر و مدی در دریا تأمین کند. در حال حاضر در ایالات متحده 6 شرکت بزرگ از جمله گوگل، استارباکس و المارت 100 درصد انرژی خود را از منابع تجدید پذیر تأمین می کنند.

نتایج با شناسایی زمینه های اقدام و شکاف های نوآوری در سطح فناوری و بخش ها، بینش جدیدی را در بحث علمی در مورد انتقال انرژی در حال انجام جهانی اضافه می کند. در حالی که این پژوهش نشان می دهد که در چه مواردی به توجه بیشتری به سیاست نیاز است. نتایج ارائه شده در این مقاله از چارچوب مدل سازی جهانی انرژی آژانس بین المللی انرژی های تجدید پذیر REmap - (IRENA) [7] نشأت می گیرد و

در این بخش، مروری بر آخرین روند اصلی انرژی‌های تجدیدپذیر و فن‌آوری‌های بهینه‌سازی انرژی که برای انتقال انرژی جهانی مورد نیاز است، ارائه شده است. پیشرفت در کاهش شدت انرژی اقتصاد جهانی با سرعت 2.1٪ متوسط رشد سالانه بین سال‌های 2010 و 2016 بهبود می‌یابد [41]. در سال 2015، سهم انرژی تجدیدپذیر در کل مصرف نهایی انرژی افزایش یافت و به تقریباً 19 درصد رسید و شتاب ناچیز در روند آشکار از سال 2010 را ادامه داد [4].

از منظر تولید برق، انرژی‌های تجدیدپذیر بیش از نیمی از کل ظرفیت جهانی را از سال 2012 به خود اختصاص داده اند. در سال 2017، ظرفیت تازه تجدیدپذیر تازه نصب شده در جهان به رکورد جدید 167 GW دست یافت. این یک سال رکورد دیگری بود که بیش از 60٪ از کل ظرفیت برق جدید از طریق منابع تجدیدپذیر بود. ظرفیت PV خورشیدی بیش از سایر منابع تولید برق رشد کرده است [10]. سرمایه‌گذاری جدید جهانی در انرژی‌های تجدیدپذیر در سال 2016 به 241.6 میلیارد دلار رسیده است. سال 2017 پنجمین سال متوالی بود که سرمایه‌گذاری جدید در ظرفیت تولید انرژی تجدیدپذیر تقریباً دو برابر ظرفیت تولید انرژی فسیلی بود. ریشه این شتاب کاهش چشمگیر هزینه‌های فن‌آوری تجدیدپذیر است [9].

هزینه همسان برق از فتوولتائیک خورشیدی بین سال‌های 2010 و 2017 به میزان حیرت‌انگیزی 73 درصد کاهش یافته است و برای برق ناشی از هزینه‌های بادی 23٪ کاهش یافته است. تجزیه و تحلیل IRENA تخمین می‌زند که تا سال 2020، تمام فن‌آوری‌های تجدیدپذیر که در حال حاضر از نظر تجاری استفاده می‌شوند، در بسیاری از مناطق جهان با مصرف سوخت‌های فسیلی قابل رقابت بوده و حتی در بسیاری از موارد به طور قابل توجهی از آنها استفاده می‌کنند. سازوکارهای سیاستی مانند حراج‌ها در کاهش قیمت‌ها نقش داشته‌اند. مناقصات اخیر در سطح جهانی منجر به

Remap با استفاده از یک چارچوب حسابداری ساده‌تر از مدل‌های پیچیده ارزیابی یکپارچه، باعث تعامل و گفتگو در کشور می‌شود و قادر است بازخورد مستقیم را در مورد مسیرهای فناوری، سرمایه‌گذاری‌ها و سیاست‌گذاری به کشورها ارائه دهد. هدف این نیست که تجویز یک ترکیب فناوری باشد بلکه نتایج را با گروه متنوعی از مخاطبان برقرار کند. این دارایی‌های مهمی است که Remap در بحث سناریوی انرژی به ارمغان می‌آورد در حالی که به طور کلی برای ارتقا توانایی‌های فنی Remap، مانند تجزیه و تحلیل شبکه‌ها، زیرساخت‌ها و تأمین زیست‌توده، پشتیبانی از مدل‌های پیچیده‌ای که وظایف خاصی را اختصاص داده‌اند، مورد نیاز است. [11].

دی‌کربناسیون می‌تواند اشتغال و رشد اقتصادی را تحریک کند. اگر هم‌افزایی بین انرژی، آب و هوا و سایر سیاست‌های اقتصادی استفاده شود، می‌تواند به تولید ناخالص داخلی بالاتری منجر شود و تأثیرات خالص اشتغال مثبت داشته باشد. برای این تجزیه و تحلیل، از مدل جهانی اقتصاد کلان E3ME که سیستم انرژی (مبتنی بر مخلوط انرژی Remap) و اقتصاد جهان را در نظر گرفته است، استفاده شده است. برای برآورد تأثیرات انتقال انرژی بر اشتغال، تولید ناخالص داخلی و تغییرات ساختاری در اقتصاد از این مدل استفاده شده است. E3ME بر اساس اصول فرا‌کینزی، که در آن پارامترهای رفتاری از یک سری داده‌های زمانهای تاریخی تخمین زده می‌شود، اقتصاد را تحریک می‌کند. تعاملات بین بخشها براساس روابط ورودی / خروجی حاصل از آمار اقتصادی ملی است. این مدل شامل 24 فناوری مورد استفاده برای تولید برق و 43 بخش اقتصادی است. در مجموع، 59 کشور و منطقه تحت پوشش هستند اما کشورهای بیشتری می‌توانند به مدل اضافه شوند [4].

7. روند فناوری انرژی کم‌کربن

های مسافربری تقریباً نیمی از انرژی مصرفی حمل و نقل را تشکیل می دهند، بنابراین برق می تواند باعث کاهش عمده انتشار گازهای گلخانه‌ای شود [9]. در حالی که کامیون های تحویل الکتریکی در حال ورود هستند، در تمامی بخش های حمل و نقل هوایی، حمل و نقل دریایی یا حمل و نقل طولانی مدت جاده ای چنین راه حلی وجود ندارد. این موارد به راه-حل های موفقیت در ذخیره سازی برق نیاز دارند. با این وجود، روند مشخصی به سمت پیل های سوختی با درایو های الکتریکی برای کامیون ها و کشتی ها وجود دارد [16].

8. مسیرهای انتقال انرژی

حدود دو سوم انتشار گازهای گلخانه ای جهانی به تأمین و استفاده از انرژی سوخت های فسیلی نسبت داده می شود [8]. هدف مورد توافق آب و هوای پاریس که کاملاً کمتر از 2 درجه باشد، بیانگر انتشار صفر انرژی CO₂ در پنجاه سال آینده است. هدف بلند پروازانه تر فقط 1.5 درجه، نشان دهنده کاهش سریعتر است. انتقال انرژی باید تولید گازهای گلخانه ای را به میزان قابل توجهی کاهش دهد، در حالی که اطمینان حاصل کند که انرژی کافی برای رشد اقتصادی در دسترس است. تجزیه و تحلیل نشان می دهد که شدت انتشار CO₂ فعالیت اقتصادی جهانی باید بین سالهای 2015 و 2050 تا 85 درصد کاهش یابد و انتشار CO₂ در مقایسه با مورد مرجع در سال 2050 بیش از 70 درصد کاهش یابد. این سناریو در مقایسه با پرونده مرجع نشان دهنده تحولات استفاده از انرژی و ترکیب آن است اگر جهان سیاست های فعلی را در دست اجرا و در دست بررسی داشته باشد. با توجه به خط پایه ، یا به اصطلاح مورد مرجع IRENA ، انرژی انتشار CO₂ 6٪ از 33 Gt در 2015 به 35 Gt در 2050 افزایش می یابد (شکل 6).

بهره وری بالاتر از انرژی و سهم بسیار بیشتری از انرژی های تجدیدپذیر دو ستون انتقال انرژی در REmap Case هستند. شکل 6 نشان می دهد که اقدامات تجدید پذیر انرژی

رکوردشکنی قیمت‌ها شده است: در سالهای اخیر پروژه های PV و خورشیدی در مقیاس مطلوب در بهترین شرایط با سنتهای 2-3 آمریکا در هر کیلووات ساعت ارائه میشوند. این قیمت‌ها زیر برخی از تولیدات فسیلی و هسته‌ای مرسوم است، حتی در برخی موارد حتی کمتر از هزینه عملیاتی نیروگاههای متداول موجود است.

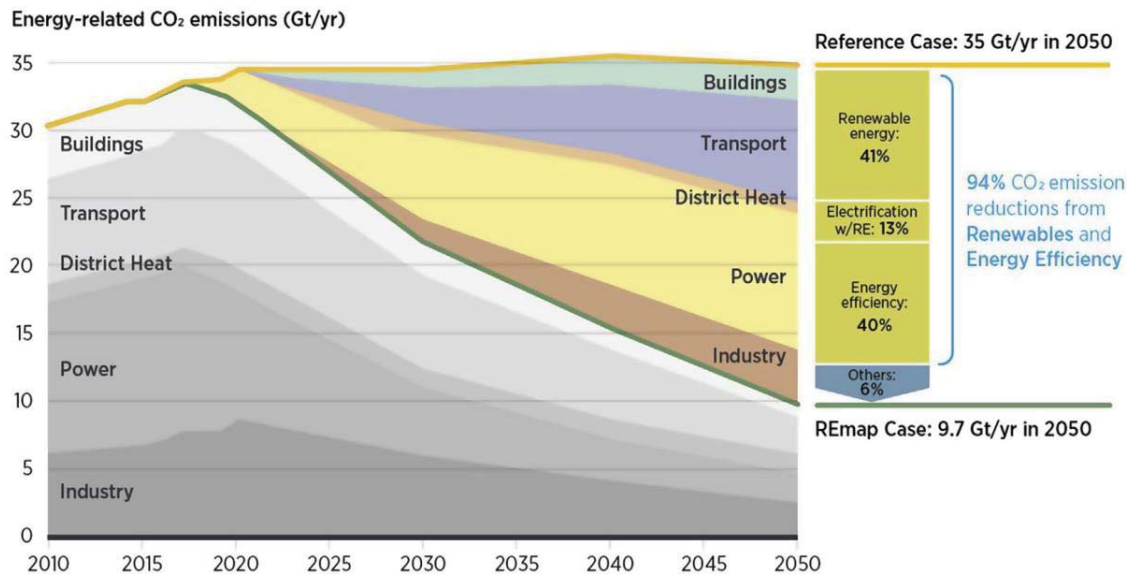
طبق تجزیه و تحلیل REmap، سهم انرژی های تجدیدپذیر در تولید برق باید از حدود یک چهارم در سال 2015 به حدود 60 درصد در سال 2030 و 85 درصد در سال 2050 برای کربن زدایی بخش انرژی افزایش یابد. برای تحقق این امر، نرخ رشد قابل توجه سالانه 0.7٪ تجدیدپذیرها در کل تولید طی پنج سال گذشته به بیش از دو برابر نیاز دارد [7].

کشورها در سراسر جهان در بحبوحه انتقال انرژی قرار دارند که به نظر می رسد از برق به عنوان حامل نهایی انرژی ارجح برخوردار هستند. این از نظر انرژی های تجدید پذیر و بهره-وری انرژی مطلوب است. برق یک حامل انرژی کارآمد است و هنگامی که از منابع تجدیدپذیر تأمین می شود به یک منبع پاک انرژی تبدیل می شود. سهم برق در کل مصرف نهایی انرژی جهانی (TFEC) تقریباً یک پنجم است، اما در کشورهای با درآمد بالا بسیار بیشتر است و در کشورهای در حال توسعه به سرعت در حال افزایش است [9]. به ویژه در بخش مسکونی، تبدیل به راه حل های کاملاً الکتریکی قابل تصور است [14].

زمانی در حمل و نقل، رشد قابل توجهی در استفاده از برق خیلی بعید به نظر می رسد. اما طی دو سال گذشته پیشرفت سریعی در خودروهای الکتریکی دیده شده است. در سال 2016، حدود 1٪ از کل فروش اتومبیل EV بوده است. میزان رشد فروش EV زیاد است و امروز تقریباً حدود 4 میلیون EV در جاده ها هستند [15]. همچنین تعداد موتورهای دو و سه چرخ الکتریکی به سرعت در حال افزایش است و حدود 500 میلیون دستگاه در جهان در حال فعالیت است [15]. اتومبیل

CO₂ مربوط به انرژی، یعنی سوئیچینگ سوخت فسیلی، استفاده مداوم از انرژی هسته ای و جذب و ذخیره کربن (CCS) حاصل می شود [4] (شکل 6).

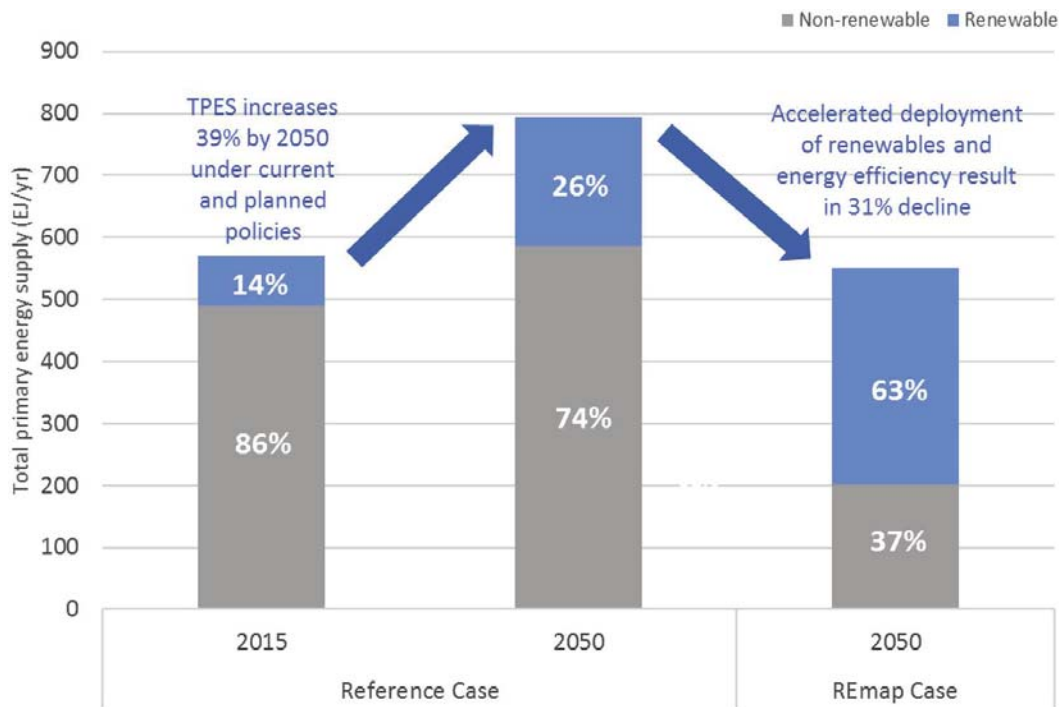
و بهره وری انرژی می تواند به طور بالقوه 94٪ از کاهش انتشار مورد نیاز تا سال 2050 را در مقایسه با مورد مرجع به دست آورد. 6٪ باقیمانده توسط گزینه های دیگر برای کاهش انتشار



شکل 6: پتانسیل کاهش انتشار CO₂ توسط فناوری در Reference Case و REmap، 2010-2050، منبع: بر اساس [7]

چشم انداز انرژی های تجدیدپذیر در سطح کشورها بسیار متفاوت است [7,4]. این نتیجه وقف منابع انرژی، پیش بینی تقاضای انرژی، سهم تجدیدپذیرهای فعلی و سایر عوامل است. با این حال، برای همه اقتصادها سهم انرژی های تجدیدپذیر به طور قابل توجهی رشد کند. تسریع در تأمین انرژی اولیه با تسریع در بهبود شدت انرژی از سطح فعلی 1.8٪ تا 2.8٪ در هر سال تا 2030 امکان پذیر است. این با هدف بازده انرژی SDG 7 سازگار است. این تلاش باید بیشتر تا سال 2050 ادامه یابد. بهبود در شدت انرژی از طریق ارائه اقدامات بهینه سازی انرژی (از جمله برقی سازی) و همچنین صرفه جویی در انرژی ناشی از کارآمدتر بودن فن آوری های انرژی تجدیدپذیر حاصل خواهد شد. چندین مطالعه مستقل اخیر با اختلافات جزئی به همان نتایج رسیده اند [4,11].

بخش برق بیش از 10 Gt به کاهش انتشار 25 Gt در سال 2050 کمک خواهد کرد. باقیمانده با کاهش انتشار مستقیم در ساختمان ها، صنعت و حمل و نقل و به میزان کمتری گرمایش منطقه ای محاسبه می شود (شکل 6). کشورهای G20 85٪ استقرار انرژی های تجدیدپذیر را شامل می شوند از جمله چین 26٪، ایالات متحده 15٪، هند 12٪، اتحادیه اروپا 9٪. این تعداد محدود عوامل برای انتقال انرژی نقشی اساسی دارند. سهم انرژی های تجدیدپذیر از کل تأمین انرژی اولیه از 14٪ در سال 2015 به 63٪ در سال 2050 افزایش می یابد. این معادل متوسط نرخ رشد سالانه 1.4٪ است که نسبت به سالهای اخیرش برابر افزایش یافته است. در همان زمان سهم سوخت فسیلی از 86٪ به 37٪ کاهش می یابد. استفاده از انرژی بین سالهای 2015 و 2050 تقریباً ثابت خواهد بود در حالی که فعالیت اقتصادی تقریباً سه برابر می شود (شکل 7).



شکل 7: تامین کل انرژی اولیه جهانی در Reference Case و REmap بین سالهای 2015 و 2050. منبع: بر اساس [7].

انرژی قابل توجه است، نیازهای سرمایه‌گذاری افزایشی مرتبط با انتقال به بخش انرژی کم کربن به 0.4٪ تولید ناخالص داخلی جهانی در سال 2050 می‌رسد. سرمایه‌گذاری‌های اضافی تجمعی در طول دوره 2050-2015 می‌تواند 27 تریلیون دلار باشد.

این علاوه بر 93 تریلیون دلار سرمایه‌گذاری تجمعی در پرونده مرجع، یا 2.66 تریلیون دلار در سال به طور متوسط (29٪+) است. سرمایه‌گذاری‌های اضافی که برای کربن زدایی بخش انرژی مورد نیاز است عمدتاً در بخش‌های استفاده نهایی برای بهبود بهره‌وری انرژی (به ویژه ساختمانها و بخش‌های حمل و نقل) متمرکز شده است [7]، اما همچنین شامل سرمایه‌گذاری برای زیرساخت‌ها می‌شود (مانند خطوط

یافته‌های ارائه شده در اینجا بر اساس تجزیه و تحلیل REMap IRENA با سناریوهای انرژی سایر مطالعات مهم مانند چشم‌انداز انرژی جهانی IEA قابل مقایسه است. جدول 1 سناریوهای IRENA و IEA را برای انتقال انرژی مقایسه می‌کند که به طور مستقل توسعه یافته‌اند. هر دو مطالعه به اهمیت کلیدی بهره‌وری انرژی و انرژی‌های تجدیدپذیر برای انتقال انرژی جهانی اشاره دارند، در حالی که IEA نسبت به چشم‌انداز سوخت‌های فسیلی با CCS و انرژی هسته‌ای تا حدودی خوش بین است. این واقعیت که نتایج بسیار نزدیک است.

9. هزینه و مزایای انتقال انرژی

تجزیه و تحلیل ما نشان می‌دهد که کربن‌زدایی سیستم انرژی مقرون به صرفه است. در حالی که نیازهای سرمایه‌گذاری کلی

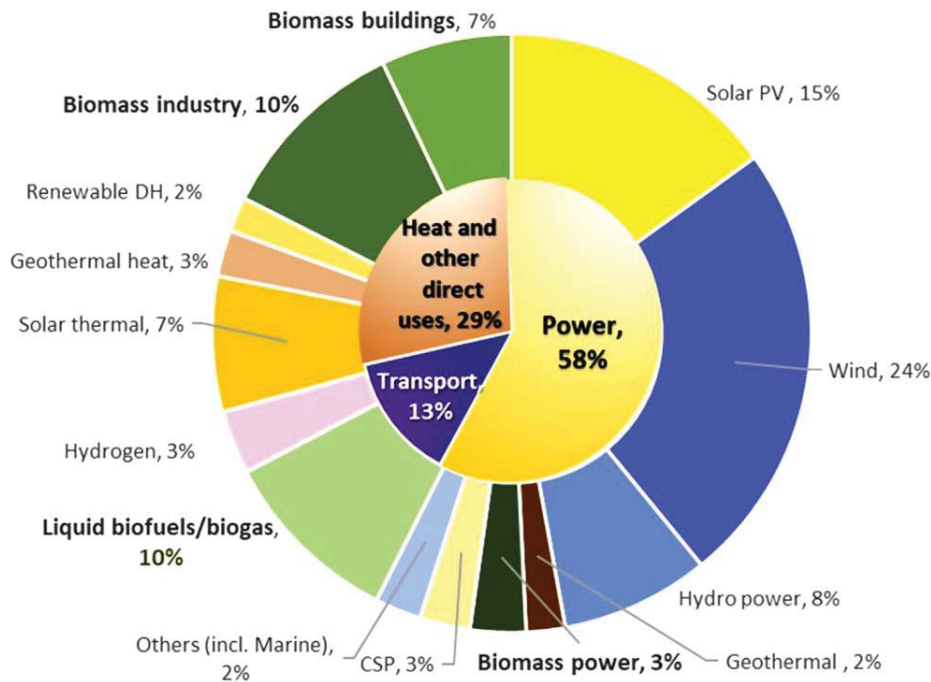
های بهره‌وری انرژی ایجاد می‌شود. بنابراین، انتقال انرژی جهانی منجر به 11.6 میلیون شغل مستقیم و غیرمستقیم اضافی در بخش انرژی می‌شود [7]. تأثیرات مثبت انتقال انرژی با انرژی‌های تجدیدپذیر بیشتر و بهره‌وری انرژی بر اشتغال خالص و رشد اقتصادی توسط سایر مطالعات نیز برجسته شده است، اما نتیجه‌گیری نسبت به پارامترهای مدل و مفروضات حساس است (شکل 8).

مقایسه هزینه و منافع نتایج مطلوبی را برای انتقال انرژی نشان می‌دهد. در حالی که هزینه‌های سیستم بیشتر است، تأثیرات بهداشتی کاهش می‌یابد و تغییرات آب و هوایی کاهش می‌یابد. چنین برون‌سازمانی معمولاً در ارزیابی‌های اقتصادی به حساب نمی‌آید. یافته‌ها حاکی از آن است که اثرات خارجی کاهش یافته به دو تا شش برابر هزینه اضافی می‌رسد. حدود دو سوم مزایا می‌تواند به کاهش تأثیرات سلامتی نسبت داده شود. این یک استدلال قوی به نفع انتقال انرژی ایجاد می‌کند [7]. این یافته‌ها با سایر مطالعات مدل-سازی مطابقت دارد که نشان می‌دهد مزایای مشترک سلامت بسیار بیشتر از هزینه سیاست دستیابی به اهداف توافق‌نامه پاریس است [9].

انتقال و توزیع، ذخیره انرژی، شارژ مجدد، زیرساخت برای وسایل نقلیه الکتریکی، هیدروژن و خط لوله CO₂.

با توجه به مدل اقتصادسنجی E3ME که برای این تجزیه و تحلیل استفاده شده، Remap Case می‌تواند تولید ناخالص داخلی جهانی را در سال 2050 حدود 1٪ در مقایسه با Reference Case افزایش دهد. سود انباشته از طریق افزایش تولید ناخالص داخلی بین سالهای 2015 و 2050 می‌تواند حدود 52 تریلیون دلار باشد. افزایش رشد اقتصادی تحت تأثیر محرک‌های سرمایه‌گذاری بیشتر در انرژی‌های تجدیدپذیر و بهره‌وری انرژی صورت می‌گیرد و از طریق سیاست‌های حامی رشد، استفاده از قیمت‌گذاری کربن و بازیافت عواید آن برای کاهش مالیات بر درآمد، افزایش می‌یابد.

انتقال انرژی جهانی و رشد کلی کلی اقتصادی طبق Case REmap می‌تواند در سال 2050 حدود 19 میلیون شغل مستقیم و غیرمستقیم اضافی در بخش‌های انرژی تجدیدپذیر، بهره‌وری انرژی و تقویت شبکه و انعطاف‌پذیری ایجاد کند. از دست دادن شغل در بخش سوخت‌های فسیلی (7.4 میلیون نفر) با مشاغل جدید فقط در انرژی‌های تجدیدپذیر کاملاً جبران می‌شود، در حالی که مشاغل بیشتری توسط فعالیت

REmap 2050: 222 EJ


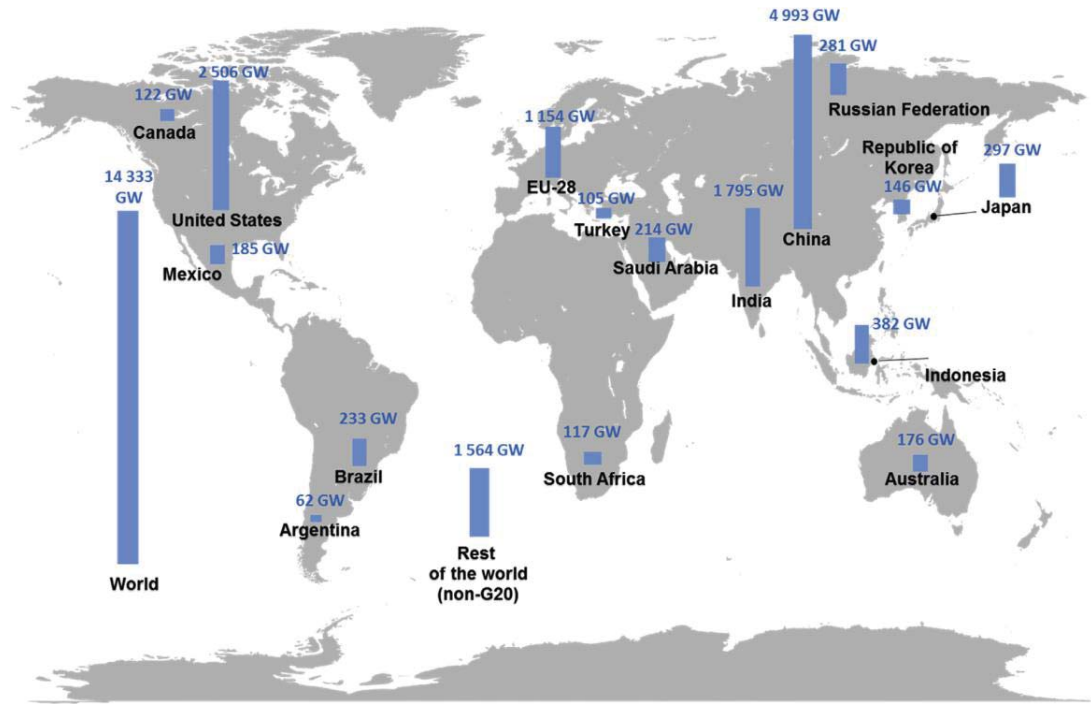
شکل 8: تجزیه مصرف تجدیدپذیر در کل مصرف نهایی انرژی، REmap 2050. (استفاده غیر انرژی را شامل نمی شود). منبع: بر اساس [7].

حال، برای سایر راه‌حل‌های فن‌آوری، نرخ رشد استقرار باید به چندین مرتبه از قبیل سوخت‌های بیوژت (بیوکروزن)، سوخت‌های زیستی برای حمل و نقل جاده‌ای و حرارت خورشیدی برای فرآیندهای صنعتی افزایش یابد [11]. فناوری‌های انرژی تجدیدپذیر که از پایه کم شروع می‌شوند به بالاترین نرخ رشد سالانه نیاز دارند. همین مورد را می‌توان برای برخی از فن‌آوری‌های تجدیدپذیر بخش نهایی، مانند گرمایش خورشیدی و هیدروژن بیان کرد. سوخت‌های زیستی به نرخ‌های کمی پایین‌تری احتیاج دارند، زیرا استفاده از آنها در برخی از بخش‌ها مانند ساختمانها معمول است. نرخ رشد سالانه نشان داده شده است که نشان دهنده کاهش سرعت رشد بازارها است. این ارقام نشان می‌دهد که دستیابی به میزان مورد نیاز رشد انرژی‌های تجدیدپذیر برای دفع کربن در بخش انرژی چالش‌برانگیز اما قابل تصور است.

10. استراتژی‌های استفاده سریع از انرژی‌های تجدید پذیر و بهره‌وری انرژی

انرژی تجدیدپذیر در حال حاضر 19٪ تقاضای جهانی انرژی نهایی در سال 2015 را تشکیل می‌دهد، که از سال 2010، 0.17٪ در سال افزایش یافته است [454]. این نرخ رشد برای دستیابی به سهم دو سوم انرژی تجدیدپذیر در کل تقاضای انرژی جهانی تا سال 2050 که برای انتقال انرژی جهانی طبق تجزیه و تحلیل REmap مورد نیاز است، باید هفت برابر سرعت یابد.

میزان استقرار برخی از فن‌آوری‌های کلیدی در مسیر درست است، مانند فناوری‌های PV خورشیدی، انرژی باد. با این



شکل 9: تجزیه جغرافیایی افزودنیهای ظرفیت تولید انرژی تجدید پذیر 2018-2050. منبع: بر اساس [7].

واقعی مصرف کننده ارائه می‌دهند. در سال 2017، اپراتور شبکه 50 هرتز در شرق آلمان به طور متوسط سالانه 53.4٪ انرژی تجدیدپذیر متغیر را ثبت کرده است. این نشان می‌دهد که می‌توان شبکه‌هایی با سهمی بزرگ از تجدیدپذیرهای متغیر را اداره کرد.

رشد استفاده مستقیم از تجدیدپذیرها در بخشهای استفاده نهایی (ساختمانها، صنعت و حمل و نقل) به رشد سالانه 0.3٪ واحد تجدیدپذیر کمک می‌کند. زیست توده به تنهایی دو سوم استفاده مستقیم از انرژی‌های تجدید پذیر در سال 2050 را به خود اختصاص می‌دهد. این شامل برنامه‌های مدرن گرمایش زیست توده و سوخت‌های زیستی مایع است.

سرانجام هم‌افزایی قابل توجهی بین بهره‌وری انرژی و انرژی‌های تجدیدپذیر وجود دارد. در واقع بهره‌وری انرژی 0.35٪ امتیاز به رشد کلی انرژی‌های تجدیدپذیر کمک می‌کند. دلیل

سرمایه‌گذاری در ظرفیت‌های جدید انرژی تجدیدپذیر باید طی سالهای 2050 به 500 میلیارد دلار در سال افزایش یابد. در کل، سرمایه‌گذاری در کربن‌زدایی سیستم نیرو باید به طور متوسط تقریباً سالانه 1 تریلیون دلار تا سال 2050 برسد. بیش از یک سوم چین و پس از آن ایالات متحده، هند و اتحادیه اروپا قرار دارند.

حدود 85٪ تجدیدپذیر در بخشهای برق با سهم زیادی از PV خورشیدی متناوب و باد بدون ترکیبی قوی از قدرت قابل انعطاف، اتصال انتقال، ذخیره‌سازی، شبکه‌های هوشمند و مدیریت سمت تقاضا امکان پذیر نیست. فن‌آوری‌های نوآورانه، اقدامات عملیاتی، طراحی بازار و مدل‌های تجاری مورد نیاز است. فناوری‌های دیجیتال فرصت‌های جدیدی را ایجاد می‌کنند که اشکال جدیدی از انعطاف‌پذیری را فراهم می‌کنند مانند جمع‌کننده‌هایی که خدمات را از سیستم‌های کوچک به بسته‌های قابل فروش یا سیگنال‌های قیمت در زمان

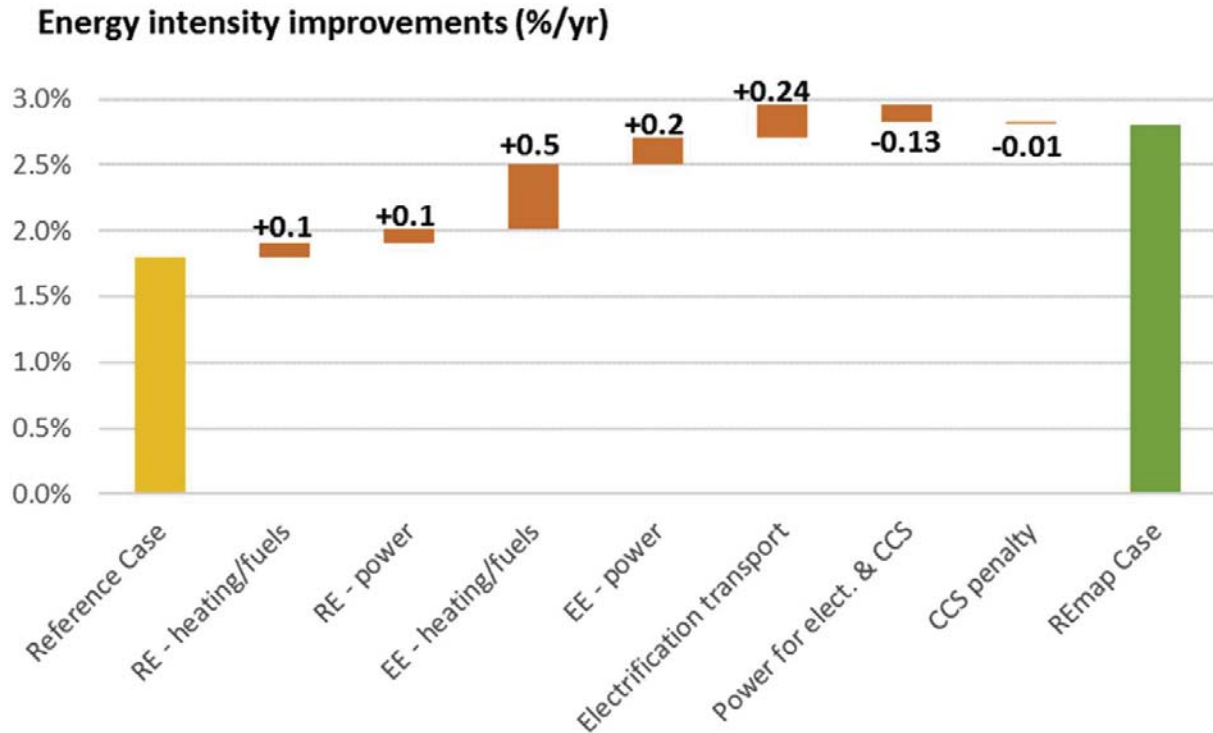
های اتصال را فراهم می کند. آخرین مورد به ویژه برای ادغام منابع انرژی تجدیدپذیر متغیر در سیستم قدرت از اهمیت ویژه ای برخوردار است. در هر بخش استفاده نهایی، برنامه هایی وجود دارد که در آن برق تجدیدپذیر می تواند جایگزین استفاده مستقیم از سوخت های فسیلی شود، که اغلب با بهره - وری قابل توجهی همراه است. یک وسیله نقلیه الکتریکی معمولاً سه برابر ICE قابل مقایسه کارآمد است. در Case REmap، سهم برق در کل مصرف نهایی انرژی از حدود 20٪ در سال 2015 به 40٪ در 2050 افزایش می یابد. فن آوری های فعال مانند EVS موفقیت بسیاری را در کارخانه های تولید باتری در مقیاس GW در چین، ایالات متحده و جاهای دیگر دیده اند. [55]. برای تسهیل ادغام VRE و اطمینان از انعطاف پذیری کافی در عملکرد سیستم برق، این نوع اتصال بخش به شارژ هوشمند و شبکه های هوشمند نیاز دارد. پمپ های حرارتی می توانند نقش مشابهی برای ساختمان ها داشته باشند. در نهایت، برق به دلیل سهم بیشتری از انرژی تجدیدپذیر در تولید برق (که با بازده 100٪ محاسبه می شود) و راندمان بالاتر مصرف نهایی انرژی، رشد تقاضای انرژی نهایی و اولیه را کند می کند.

در تجزیه و تحلیل IRENA، کاهش کربن بلند پروازانه می تواند سهم الکتریسیته در کل بخش حمل و نقل را از کمی بیش از 1٪ در سال 2015 به 33٪ در سال 2050 افزایش دهد، که 85٪ آن قابل تجدید است، با بیش از یک میلیارد وسیله نقلیه الکتریکی در جاده، که معادل کل ناوگان وسایل نقلیه مسافری امروز است. با افزایش 10 برابری واحدهای پمپ حرارتی برقی (به بیش از 250 میلیون) و فن آوری های پخت و پز الکتریکی، سهم ساخت برق می تواند تا سال 2050 به حدود 56 درصد برسد. با افزایش 80 برابری واحدهای پمپ حرارتی الکتریکی به بیش از 80 میلیون واحد، که حدود 7٪ تقاضای جهانی گرما را تأمین می کند، سهم صنعت برق می تواند در سال 2050 تحت IRENA Case REmap به حدود 42٪ برسد. تا 20٪ از بهبودهای شدت انرژی را می

این امر این است که همان مقدار مطلق انرژی تجدیدپذیر سهم بالاتری از انرژی تجدیدپذیر را تولید می کند. اگر تقاضای انرژی کاهش یابد به دلیل بهره‌وری انرژی است که کاهش می‌یابد. در مورد شدت انرژی، سود سالانه به طور متوسط از 1.3٪ بین سالهای 1990 و 2010 به 2.2٪ برای دوره 2014-2016 رسیده است، که در سال 2017 به 1.7٪ رسیده است [12]. سود کارایی فنی می تواند حدود 70٪ از پیشرفت تدریجی از 1.8٪ در سال در Reference Case به حدود 2.8٪ به طور متوسط برای دوره تا سال 2050 باشد [4,12]. تجدیدپذیرها می توانند در 30٪ باقی مانده از بهبود شدت انرژی بین سالهای فعلی و 2050 نقش داشته باشند، به عنوان مثال از طریق الکتریکی مبتنی بر تجدید پذیر برای گرم کردن و پخت و پز یا 100٪ انرژی خورشیدی و بادی کارآمد در مقایسه با 30-40٪ تولید انرژی زغال سنگ کارآمد (شکل 10). شکل 10 بهبود در تغییرات ساختاری را شامل نمی شود، به عنوان مثال تغییر حالت حمل و نقل از اتومبیل های شخصی به حمل و نقل عمومی یا دوچرخه. بنابراین پتانسیل کربن زدایی با بهره وری انرژی حتی می تواند بیشتر باشد. به عنوان مثال می توان به اتصالات قطار سریع السیر در فرانسه و جاهای دیگر اشاره کرد که به طور قابل توجهی در ترافیک هوایی مسافت کوتاه و متوسط کاهش یافته است. توسعه سیستم های مترو در مراکز شهری، به عنوان مثال در چین، نمونه دیگری از تغییر جهت حمل و نقل عمومی است. هم افزایی بین بهره‌وری انرژی و انرژی‌های تجدیدپذیر زمانی آشکار می‌شود که بخش‌های انرژی به هم پیوسته باشند، زیرا این امر در مورد انرژی‌های تجدیدپذیر و حمل و نقل وجود دارد، زیرا الکتریکی سازی حمل و نقل نشان دهنده نزدیک به یک چهارم پیشرفت در شدت انرژی بین Reference Case و REmap Case در سال 2050 است.

برق به عنوان یک منطقه کلیدی ظاهر میشود که هم افزایی بین بهره‌وری و انرژی‌های تجدیدپذیر و همچنین برای بخش

توان به افزایش استفاده از انرژی های تجدیدپذیر نسبت داد (شکل 10).



شکل 10: شدت انرژی بر اساس فاکتور Reference Case and Remap، در سال 2050.

این گروه قرار می گیرند مزایایی برای هر دو طرف دارند. به عنوان مثال پمپ حرارتی یا وسیله نقلیه الکتریکی بسیار کارآمدتر از دستگاه انرژی است که برای ارائه خدمات مشابه از سوخت های فسیلی استفاده می کند. به شرطی که این فن آوری های مبتنی بر برق از طریق انرژی تجدیدپذیر تأمین شوند، سهم انرژی تجدیدپذیر را هم در بخش برق و هم در بخشهایی که به آنها تعلق دارند، گرمایش یا حمل و نقل افزایش می دهند.

11. نوآوری و تحقیق و توسعه برای امکان انتقال انرژی

طبق تجزیه و تحلیل REmap، حدود یک سوم کل انرژی اولیه هنوز در سال 2050 از منابع غیر تجدیدپذیر انرژی

نیروگاه های آبی، PV خورشیدی و باد با کارایی 100٪ تولید می شوند. وقتی این انرژی های تجدیدپذیر با 25 درصد بازده 60 درصد جایگزین تولید انرژی سوخت فسیلی می شوند، بازده بهبود می یابد. همچنین سود خالص بهره وری از طریق سیستم های گرمایش خورشیدی با بهره وری 100٪ و برخی از دیگهای بخار و کوره های سوخت زیستی ایجاد می شود که کارایی بیشتری نسبت به معادل های سوخت فسیلی دارند. سرانجام، برق رسانی با انرژی تجدیدپذیر 24٪ دیگر از بهره وری انرژی را به خود اختصاص می دهد. در کل 20-44٪ از بهبود شدت انرژی را می توان به تجدیدپذیرها نسبت داد. با این حال، می توان بحث کرد که آیا این باید به بهره وری یا تجدیدپذیر نسبت داده شود، زیرا فن آوری هایی که در

برای تلفیق فناوری‌ها به زیرساخت‌ها نیاز است. این زیرساخت‌ها شامل شبکه‌های شارژ هوشمند برای وسایل نقلیه الکتریکی است؛ مانند اتصالات برق مرزی با تلفات کم خطوط انتقال ولتاژ فوق العاده بالا برای ارسال مقادیر عظیم انرژی از مناطقی که باد یا خورشید زیادی دارند به مراکز تقاضا؛ شبکه‌های گرمایش منطقه‌ای؛ و استراتژی‌های مدیریت مواد اولیه زیست توده. بدون این زیرساخت‌ها، تجاری‌سازی و استقرار گسترده فناوری‌های کم‌کربن برای انتقال انرژی به موقع اتفاق نمی‌افتد. اتصال کاربردهای مختلف انرژی همچنین فرصت‌هایی را برای ادغام فناوری‌های پاک ایجاد می‌کند. به عنوان مثال بخشهای نیرو و حمل و نقل از طریق وسایل نقلیه الکتریکی است. امروزه، خصوصاً فرصتهای جالب در تقاطع ICT و فناوری انرژی و همچنین در زمینه مواد جدید با کارایی بالا، فرمولاسیون جدید باتری و سایر چالشهای علم مواد وجود دارد [14]. مدل‌های جدید تجاری در حال ظهور هستند، به ویژه در بازارهای برق. این شامل نیروگاه‌های برق مجازی، جمع‌کننده‌های خدمات ذخیره برق است. آنها باید با طراحی‌های جدید بازار با زمان دقیق تر و مکان استفاده از قیمت گذاری دقیق تر برای مصرف-کنندگان، روش‌های عملیاتی جدید و فن‌آوری‌های جدید شبکه هوشمند ترکیب شوند (شکل 6). حدود سی نوع نوآوری شناسایی شده است که چندین صد مورد گسسته را پوشش می‌دهد. موفق‌ترین موارد معمولاً چندین نوآوری را به طور هم زمان به کار می‌گیرند.

در نهایت مزایای انتقال انرژی بسیار بیشتر از هزینه خواهد بود، اما بازارهای امروزی به نفع دولتهای فعلی به شدت تحریف شده‌اند. این انتقال به ایجاد سیگنالهای سیاستی مناسب بستگی دارد. این شامل حذف تحریفات بازار است اما همچنین پشتیبانی از نوآوری و فناوری را تقویت می‌کند. برای آن دسته از بخشهای استفاده‌نهایی که از نظر تجاری هیچ راه حل مشخصی برای فناوری وجود ندارد، تلاش برای تحقیقات و مهندسی علوم پایه ضروری است. نوآوری به بودجه

تأمین می‌شود. برای این برنامه‌ها، راه حل‌ها یا هنوز در مقیاس در دسترس نیستند یا هزینه‌های آنها بسیار زیاد است. بنابراین، هنوز چالش‌های عمده فناوری برای تکمیل انتقال به یک منبع انرژی وجود دارد که بر اساس انرژی‌های تجدیدپذیر تا اواسط قرن ساخته شده است. نوآوری در طول تاریخ در صندلی محرک این انتقال بوده و خواهد بود. دو گام مهم بعدی برای فعال کردن این امر وجود دارد:

الف: برای آن دسته از برنامه‌هایی که راه‌حل‌های فناوری وجود دارد، گام مهم بعدی این است که چارچوب‌هایی را برای افزایش کارایی آنها مورد نیاز است.

ب: برای برنامه‌هایی که امروزه راه حل‌ها یا در مراحل اولیه تجاری‌سازی هستند یا وجود ندارند، گام بعدی پرورش نوآوری در فناوری، همراه با امکان سیاست‌گذاری، اقدامات اجتماعی و مالی است تا بتواند به سرعت فن‌آوری‌های نوظهور پاک را به بازار بیاورد [15، 16].

پیشرفت‌های فناوری می‌تواند در پرونده‌های ثبت اختراع منعکس شود، بنابراین IRENA برای ردیابی آنها پایگاه داده-ای از استانداردها و اختراع ثبت شده بین‌المللی در انرژی‌های تجدیدپذیر (INSPIRE) ایجاد کرده است. الگوهای ثبت اختراع با گذشت زمان، دیدگاه‌های جالبی راجع به اینکه فناوری‌های انرژی تجدیدپذیر به کجا هدایت می‌شوند، ارائه می‌دهند. داده‌ها به عنوان مثال تغییر تدریجی فعالیت اختراع ثبت شده طی سالهای اخیر، به دور از سمت عرضه به اتصال بخش را نشان می‌دهد. بخشهایی که مهمترین چالشها را دارند بخشهای صنعت پر انرژی از جمله ساخت آهن و فولاد، مواد شیمیایی و پتروشیمی و سیمان هستند. همچنین شامل حمل و نقل باری جاده‌ای، حمل و نقل هوایی و هواپیمایی می‌شود. اینها همه بخشهای استفاده‌نهایی هستند که رسیدگی به چالش نوآوری برای بهبود فن‌آوری‌های موجود، توسعه موفقیت‌ها و تغییرات عمده ضروری است.

کمترین پیشرفت را در زمینه کربن‌زدایی نوآوری دارند، مانند صنایع سنگین و همچنین حمل و نقل کالا و حمل و نقل هوایی، بخشهایی هستند که مشوق‌های سیاسی مناسب و چشم اندازهای بلند مدت ندارند. این چالش تنها با افزایش سرمایه‌گذاری تحقیق و توسعه قابل حل نیست. نوآوری همچنین بازنگری اساسی در فرآیندهای تولید و فن‌آوری‌های انرژی مورد نیاز برای انتقال انرژی را در پی دارد. در حالی که راه‌حل‌های اضافی مانند استفاده از CCS برای انتشار الایندهای دودزا وجود دارد، این روش‌ها در زمینه کاربرد محدود هستند و در آینده قابل پیش‌بینی هزینه‌های انتقال انرژی را افزایش می‌دهند.

12. بررسی نتایج

تعداد فزاینده‌ای از شاخص‌ها به یک انتقال سریع انرژی اشاره دارد که می‌تواند پیامدهای عمیقی در عرضه و تقاضای انرژی در دهه‌های آینده داشته باشد. همانطور که تجزیه و تحلیل نشان می‌دهد، نوآوری سریعی در حال انجام است که انتقال مداوم از طریق کاهش هزینه‌های فن‌آوری‌های تجدیدپذیر و همچنین امکان استفاده از فن‌آوری‌هایی مانند باتری را تسهیل می‌کند. همراه با الزامات سیاست جدید، نوآوری حرکت انتقال انرژی را تقویت می‌کند. از آنجا که پیشرفت‌های فناوری دائمی هستند، خطر بی‌ثباتی سیاست‌ها را کاهش می‌دهند. پیشرفت برای فناوری خورشیدی و بادی نمونه بارزی است که می‌تواند از طریق سیاست‌گذاری فناوری در آینده به یک سمت خاص هدایت شود.

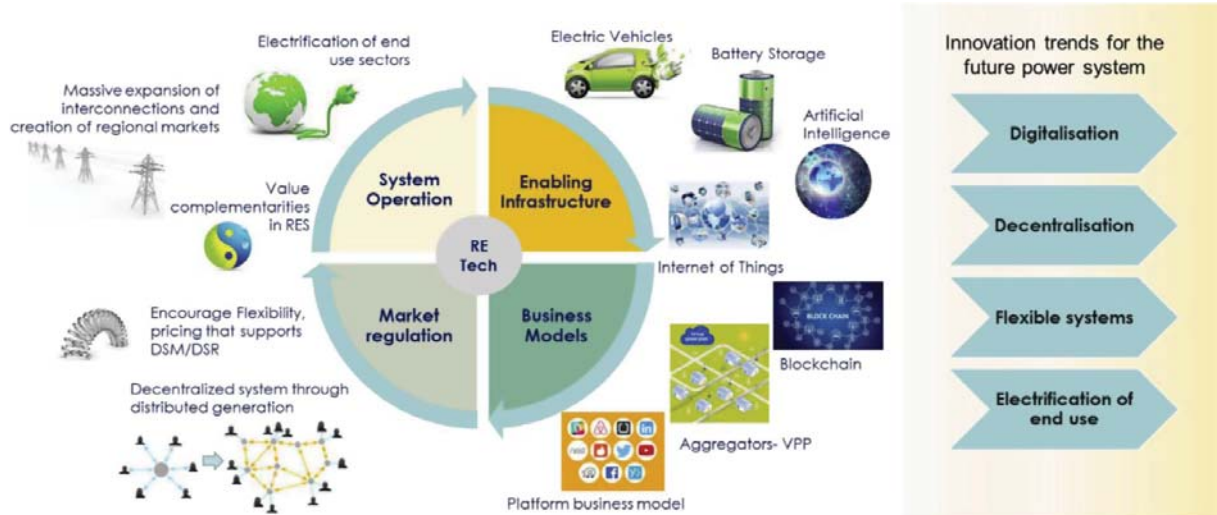
همانطور که این مقاله نشان می‌دهد، سهم انرژی‌های تجدیدپذیر می‌تواند از 15 درصد در سال 2015 به 63 درصد از کل انرژی اولیه در سال 2050 برسد. چنین رشد انرژی‌های تجدیدپذیر همراه با بهره‌وری بیشتر انرژی می‌تواند 94 درصد از میزان انتشار را که برای ماندن در محدوده توافق نامه آب و هوای پاریس لازم است، تأمین کند. در حالی که تعداد مطلق متفاوت است، در مطالعات سناریو اخیر اتفاق

نیاز دارد. و طی هفت سال گذشته، سرمایه‌گذاری دولت و شرکتها در تحقیق و توسعه فناوری انرژی پاک (تحقیق و توسعه) راکد بوده است. در حالی که حجم سرمایه‌گذاری برای انرژی‌های تجدیدپذیر به حدود 300 میلیارد دلار در سال رسیده است، هزینه‌های تحقیق و توسعه برای انرژی پاک به 10 میلیارد دلار در سال می‌رسد. سهم سرمایه‌گذاری تحقیق و توسعه 3٪ بسیار کمتر از سایر بخشهای نوآورانه مانند ICT و تولید وسایل نقلیه است. تلاش‌های R&D اضافی منجر به راه‌حل‌های اضافی فن‌آوری کم‌کربن می‌شود، باعث کاهش بیشتر فناوری‌های هزینه‌ها و در نتیجه کاهش هزینه‌های کلی انتقال انرژی می‌شود. امروزه بیشتر سرمایه‌گذاریهای تحقیق و توسعه به بخشهای انرژی (مانند خورشیدی و بادی) وارد می‌شود تا فناوریهای استفاده‌نهایی مانند انرژی زیستی و حرارتی خورشیدی، که فوریت آنها بیشتر است.

انتقال انرژی نیاز به یک رویکرد نوآوری جامع متناسب با نیازهای هر یک از انرژی‌های تجدیدپذیر و فناوری بهره‌وری انرژی دارد، زیرا طیف گسترده‌ای از رویکردها در تمام بخشهای سیستم انرژی مورد نیاز خواهد بود. در حالی که هدف از افزایش سرمایه‌گذاری در تحقیق و توسعه برای فناوری‌های کم‌کربن از مزایای انتقال انرژی است، می‌توان به نظارت و بررسی اینکه این سرمایه‌گذاری‌ها تأثیر مطلوبی دارند و بودجه‌ها و اولویت‌های تحقیق و توسعه تحت تأثیر قرار می‌گیرند، توجه بیشتری کرد.

در حالی که بسیاری از راه‌حل‌های نوآورانه در مقیاس آزمایشگاهی یا آزمایشی وجود دارد، ارتقا سطح عالی از راه‌حل‌های مناسب اقتصادی اغلب هنوز یک چالش است. دولت‌ها در مراحل اولیه این انتقال نقش مهمی دارند زیرا این راه‌حل‌ها برای رسیدن به مقیاس و کاهش منحنی هزینه یادگیری تلاش می‌کنند. علاوه بر این، چالش نوآوری فراتر از تحقیق و توسعه انرژی سنتی دولت است. بخشهایی که

نظر وجود دارد که انرژی تجدیدپذیر و بهره‌وری انرژی عملی‌ترین جهت برای دستیابی به اهداف آب و هوا است.



شکل 11: نوآوری‌های سیستم قدرت. منبع: بر اساس [12].

در مقایسه با تجارت به طور معمول، شتاب شش برابر برای رشد انرژی‌های تجدیدپذیر لازم است. باد، PV خورشیدی، انرژی زیستی مدرن و حرارت خورشیدی می‌توانند بخش عمده‌ای از رشد انرژی‌های تجدیدپذیر را در سمت تأمین داشته باشند. راندمان انرژی بیشتر موجب تقاضای رشد می‌شود و بنابراین حدود یک چهارم به رشد کلی سهم تجدیدپذیر در کل مصرف نهایی انرژی کمک می‌کند. در همان زمان 20-44٪ از بهبود شدت انرژی را می‌توان به رشد انرژی‌های تجدیدپذیر نسبت داد. این اعداد نشان می‌دهد که هم‌افزایی مهمی بین بهره‌وری بیشتر انرژی و سهم بیشتری از انرژی‌های تجدیدپذیر وجود دارد، بنابراین هر دو راه حل باید به طور مشترک دنبال شوند.

نیروی تجدیدپذیر 58٪ کل استقرار تجدیدپذیرها را در سال 2050 تشکیل می‌دهد. انرژی تجدیدپذیر متغیر 60٪ کل تولید برق را تشکیل می‌دهد، در حالی که امروز حدود 10٪ است. چنین سهم بالایی از تولید متغیر تولید انرژی

تصمیمات سیاستی برای تسریع در انتقال انرژی باید با توسعه زیرساخت‌های توانمند سازگار باشد. برنامه‌ریزی زیرساختی در اوایل سال به دلیل تأثیر قفل شدن کربن در اثر طول عمر و اینرسی از اهمیت فوق‌العاده‌ای برخوردار خواهد بود. برای مسائل زیرساختی نوظهور مانند شارژ هوشمند ماشین‌های الکتریکی، تقویت کننده‌های شبکه توزیع و نقش تغییر تقاضا و شبکه‌های هوشمند، توجه بیشتری لازم است. بودجه هم برای ظرفیت تولید انرژی و هم برای زیرساخت‌ها از طریق سیاست‌های تهیه شده با دقت که یک فضای سرمایه‌گذاری معتبر، قابل پیش‌بینی و شفاف ایجاد می‌کند، بسیار مهم خواهد بود. نیاز به بسیج منابع بخش دولتی و خصوصی و ایجاد مدل‌های نوین تأمین مالی است که می‌تواند خطرات سرمایه‌گذاری را کاهش دهد.

با این حال، سرعت انتقال انرژی با اهداف توسعه پایدار مورد توافق متناسب نیست. مطالعات سناریو نشان می‌دهد که به ویژه برای انرژی‌های تجدیدپذیر تلاش بیشتری لازم است.



پتانسیل این انتقال انرژی هنوز توسط بسیاری از تصمیم‌گیرندگان و تحلیل‌گران کاملاً ارزیابی نشده است. با این وجود برای دستیابی به بسیاری از اهداف توسعه پایدار حیاتی است و چشم‌انداز رشد عادلانه و منصفانه‌ای را ارائه می‌دهد که منجر به 27 تریلیون دلار سرمایه‌گذاری اضافی تا سال 2050، 1٪ تولید ناخالص داخلی بیشتر، 0.15٪ شغل بیشتر و مزایای زیست محیطی که باعث جلوگیری از افزایش هزینه می‌شود. هزینه افزایش یافته مزایای اقتصادی - اجتماعی قابل توجه است و منطقی قوی برای سیاست ارائه می‌دهد.

[5] G. Dolf, B. Francisco, "The role of renewable energy in the global energy transformation", Energy Strategy", Energy Strategy Reviews, Volume 24, April 2019, Pages 38-50.

IRENA, 30 Years of Policies for Wind Energy: Lessons from 12 Wind Energy Markets, IRENA, Abu Dhabi, 2013 <http://www.irena.org/menu/index.aspx?mnu=Subcat&PriMenuID=36&CatID=141&SubcatID=281>

[6] C. Allen, G. Metternicht, T. Wiedmann, National pathways to the Sustainable Development Goals (SDGs): a comparative review of scenario modelling tools, Environ. Sci. Policy 66 (2016) 129–207, <https://doi.org/10.1016/j.envsci.2016.09>.

[7] IRENA, Global Energy Transformation. A Roadmap to 2050, IRENA, Abu Dhabi, 2018.

[8] IRENA, Renewable Energy Prospects for the Russian Federation, IRENA, Abu Dhabi, 2017 https://www.irena.org/-/media/Files/IRENA/Agency/Publication/2017/Apr/IRENA_REmap_Russia_paper_2017.pdf.

[9] Power Technology, Is Russia Finally Ready to Embrace Renewable Energy? (5 December 2018) <https://www.power-technology.com/features/russia-renewableenergy/>.

[10] D. Saygin, M. Hoffman, P. Godron, How Turkey Can Ensure A Successful Energy Transition, Center for American Progress, Washington, DC, 2018

[11] D.L. McCollum, et al., Connecting the Sustainable Development Goals by Their Energy

تجدیدپذیر نیاز به تغییر پارادایم در بخش برق دارد. بهترین روش در کشورهای پیشرو نشان می‌دهد که چنین سیستم‌هایی می‌توانند با موفقیت کار کنند، اگرچه تغییراتی لازم است. انعطاف‌پذیری سیستم مورد نیاز تنها از طریق یک رویکرد سیستمی قابل تحرک است که انواع نوآوری‌ها را بسیج می‌کند. نوآوری در فناوری باید با طراحی‌های جدید بازار و مدل‌های تجاری که بر اساس ویژگی‌های فن آوری جدید ساخته شده‌اند، ترکیب شود.

13. مراجع

[1] United Nations Department of Economic and Social Affairs (UN DESA), Sustainable Development Goal 7: Ensure Access to Affordable, Reliable, Sustainable and Modern Energy for All, UN DESA, New York, NY, 2017 <https://sustainabledevelopment.un.org/sdg7>.

[2] K. Riahi, F. Dentener, D. Gielen, A. Grubler, J. Jewell, Z. Klimont, V. Krey, D. McCollum, S. Pachauri, S. Rao, B. van Ruijven, D. van Vuuren, C. Wilson, Global Energy Assessment Chapter 17: Energy Pathways for Sustainable Development, Cambridge University press, 2012, <http://pure.iiasa.ac.at/id/eprint/10065/1/GEA%20Chapter%2017%20Energy%20Pathways%20for%20Sustainable%20Development.pdf>.

[3] M. Howells, S. Hermann, M. Welsch, M. Bazilian, R. Segerström, T. Alfstad, D. Gielen, H. Rogner, G. Fischer, H. Velthuisen, D. Wiberg, C. Young, A. Roehrl, A. Mueller, P. Steduto, I. Ramma, Integrated analysis of climate change, land-use, energy and water strategies, Nat. Clim. Change 3 (July) (2013) 622–626.

[4] IRENA and International Energy Agency (IEA), Perspectives for the Energy Transition – Investment Needs for a Low-Carbon Energy System, IRENA & Paris: IEA, Abu Dhabi, 2017 http://www.irena.org/DocumentDownloads/Publications/Perspectives_for_the_Energy_Transition_2017.pdf.



Inter-linkages, International Institute for Applied System Analysis (IIASA), Laxenburg, 2017 <http://pure.iiasa.ac.at/14567/1/WP-17-006.pdf>.

[12] F.F. Nerini, et al., Mapping synergies and trade-offs between energy and the sustainable development goals, *Nat. Energy* 1 (2017) 2058–7546, <https://doi.org/10.1038/s41560-017-0036-5>.

[13] M. Nilsson, D. Griggs, M. Visbeck, Map the interactions between sustainable development goals, *Nature* 534 (2016) 320–322, <https://doi.org/10.1038/534320a>.

[14] K.J. Bowen, et al., Implementing the “Sustainable Development Goals”: towards addressing three key governance challenges – collective action, trade-offs, and accountability, *Curr. Opin. Environ. Sustain.* 26–27 (2016) 90–96, <https://doi.org/10.1016/j.cosust.2017.05.002>.

[15] Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC), *Climate Change 2014: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*, IPCC, Geneva, 2014 [Core Writing Team, Pachauri P.K. and Meyer, L.A.] <https://www.ipcc.ch/report/ar5/syr/>.

[16] IRENA, *The Power to Change: Solar and Wind Cost Reduction Potential to 2025*, IRENA, Abu Dhabi, 2016 <http://www.irena.org/menu/?mnu=Subcat&PriMenuID=36&CatID=141&SubcatID=2733>.

[10] IRENA, *Renewable Capacity Statistics*, IRENA, Abu Dhabi, 2017 <http://www.irena.org/menu/index.aspx?mnu=Subcat&PriMenuID=36&CatID=141&SubcatID=3831>.

[17] IEA, *IEA Finds CO2 Emissions Flat for Third Straight Year Even as Global Economy Grew in 2016*, 17 March, OECD/IEA, Paris, 2017 <https://www.iea.org/newsroom/news/2017/march/iea-finds-co2-emissions-flat-for-third-straight-year-even-as-global-economy-grew.html>.

[18] سند توسعه پایدار سازمان حفاظت محیط زیست، 1395.

[19] شماره روزنامه 5819، پنجشنبه 16 شهریور 1402.

<https://donya-e-eqtasad.com>

[20] رحیمی، آزاد، "تولید و نیروگاه"، 1399، صفحه 3