

بهینه‌سازی تولید و مصرف انرژی: راه‌های نوین تولید انرژی و صرفه‌جویی در مصرف انرژی به کمک بهینه‌سازی ساختمان‌ها

محمد رضا حاکم زاده^۱، مهدی مرادزاده^۲

^۱ استادیار و عضو هیئت علمی دانشگاه آزاد اسلامی واحد قم

^۲ دانشجوی دکتری حقوق عمومی دانشگاه آزاد اسلامی واحد قم

چکیده

مبحث انرژی امروزه به یکی از مهم‌ترین مباحث در سطح جهانی تبدیل شده است. زیرا با افزایش روزافزون رشد جمعیت جهان و نیز بالا رفتن میزان استفاده از فناوری‌های نوین وابسته به انرژی، میزان تقاضای انرژی‌های مختلف و به ویژه برق بالا رفته است. بنابراین لازم است تولید و مصرف انرژی به بهینه‌ترین حالت خود صورت گیرد. مهم‌ترین راه‌حل برای تولید بهینه انرژی آن است که از منابع تجدیدپذیر انرژی با کم‌ترین میزان آسیب‌رسانی به محیط‌زیست بهره‌گیریم. شناخت انواع منابع تجدیدپذیر و تجدیدنپذیر انرژی و اثرات آن‌ها نخستین گام در این راستا خواهد بود. همچنین خوب است با سیاست‌های گوناگون اتخاذ شده در نقاط مختلف جهان آشنایی پیدا کنیم. از آنجایی که ساختمان‌های اداری و مسکونی جز پرمصرف‌ترین متقاضیان برق در سرتاسر جهان هستند، طراحی آن‌ها همسو با اصول توسعه پایدار و به‌طور خاص عایق‌کاری بهینه ساختمان‌ها نیز جز مهم‌ترین مسائل برای مصرف بهینه انرژی است. در این مقاله موضوعات یادشده شرح داده شده و موردبررسی اجمالی قرار می‌گیرند.

واژه‌های کلیدی: انرژی، صرفه‌جویی، تولید برق، انرژی تجدید پذیر

معرفی روش‌های نوین و تجدیدپذیر تولید برق

در این قسمت برخی از روش‌های تولید برق، تاریخچه و روند کنونی آن‌ها معرفی می‌شود. از زمان اختراع سامانه‌های الکتریکی توسط توماس ادیسون در سال ۱۸۸۲، برق به یکی از اساسی‌ترین حالات تولید انرژی در زندگی روزمره ما تبدیل شده است. از همان سال تاکنون، فناوری‌های تولید برق بسیاری معرفی شده است که هر کدام برای تبدیل یک حالت از انرژی به انرژی الکتریکی متمرکز بوده‌اند. طبق گزارش IIEA [۱]، در حال حاضر سوخت‌های فسیلی ۶۴٪ درصد از کل انرژی برق جهان را تأمین می‌کنند (۳۸٪ زغال‌سنگ، ۳٪ نفت و ۲۳٪ گاز). همان‌طور که در شکل ۱ می‌بینید.

تولید برق هسته‌ای

در سال ۱۹۵۴، کشور روسیه نخستین نیروگاه برق هسته‌ای تاریخ بشر را به‌منظور تولید برق با ظرفیت مجموع ۵ مگاوات تأسیس کرد. سپس در سال ۱۹۵۶، یک نیروگاه هسته‌ای با ظرفیت ۵۰ مگاوات در کشور انگلیس با اهداف تجاری ساخته شد [۲]. در حال حاضر، ایالات متحده آمریکا دارای بیشترین ظرفیت تولید برق هسته‌ای است و از ۴۰۰ GW برق هسته‌ای تولید شده در جهان مقدار ۱۰۰ GW برق در این کشور تولید می‌شود، که در شکل ۲ نشان داده شده است [۳]. افزودنی است که انتظار می‌رود مجموع برق هسته‌ای تولیدشده در جهان تا سال ۲۰۳۰ به ۵۳۶ GW برسد.

نیروگاه‌های هسته‌ای فعلی در جهان را از نظر فناوری می‌توان به دو دسته عمده تقسیم نمود: دارای رآکتور آب فشاری (PHWR) و دارای رآکتور آب جوش (BWR). رآکتور آب فشاری نسبت به آب جوش کاربرد بیشتری دارد و حدود ۷۵٪ از نیروگاه‌ها دارای این فناوری هستند. اصول کارکرد PWR در شکل ۲ آورده شده است. در این رآکتور، آب اولیه تحت فشار بالا قرار می‌گیرد تا تحت دمای بالای ناشی از سوخت (رآکتور هسته‌ای) به جوش نیاید. سپس، آب اولیه تحت فشار از طریق یک تبادل گرما (که به آن بخار ساز نیز می‌گویند) به آب ثانویه گرما وارد می‌کند. آنگاه بخار حاصل می‌تواند توربین بخار را به حرکت درآورده و برق تولید کند. بخار حاصل در این فرایند با عناصر رادیواکتیو مخلوط نمی‌شود، زیرا کاملاً از آن‌ها جدا است. در شکل ۲ فناوری BWR نیز نشان داده شده است که در آن آب به‌طور مستقیم طی واکنش هسته‌ای به جوش می‌آید. در این حالت، بخار حاصل با مواد رادیواکتیو مخلوط می‌شود [۴].

برق خورشیدی

از دیدگاه تاریخی می‌توان گفت که انرژی خورشیدی از قرن هفتم پیش از میلاد مسیح مورد استفاده قرار می‌گرفته است. البته در آن زمان افراد از نور خورشید برای روشن کردن آتش و با استفاده از شیشه و ذره‌بین استفاده می‌کرده‌اند. در سال ۱۸۷۳ بود که کشف شد می‌توان انرژی خورشیدی را با استفاده از سلنیوم به برق تبدیل کرد [۵]. سپس صنعت پنل‌های خورشیدی در دهه‌های ۱۹ و ۲۰ میلادی به آرامی رشد کرد. در آغاز قرن بیست و یکم میلادی و به دلیل رشد صنعت PV، مجموع ظرفیت برق تولیدی خورشیدی تا سال ۲۰۱۸ به 500 GW رسیده بود که در شکل ۳ نشان داده شده است. با نگاه کردن به این شکل همچنین می‌توان متوجه شد که ظرفیت تولید برق خورشیدی در جهان تا سال ۲۰۲۳ دست‌کم به 1 TW خواهد رسید [۶].

دو نوع فناوری عمده هست که به کمک آن‌ها می‌توان انرژی خورشیدی را به برق تولید نمود؛ فتوولتاییک خورشیدی (PV) و برق خورشیدی متمرکز (CSP). PV خورشیدی اکنون در صنعت انرژی خورشیدی پرکاربردتر است و فناوری پیشرفته‌تری

دارد. ایده اصلی این فناوری آن است که نور خورشید با استفاده از مواد نیمه‌رسانا چون سیلیکون به برق تبدیل شود. امروزه PV خورشیدی در حوزه انرژی‌های تجدیدپذیر رشد بسیار چشمگیری دارد. از سوی دیگر، در فناوری برق خورشیدی متمرکز (CSP) از انرژی خورشید به‌عنوان منبع گرما استفاده می‌شود؛ یعنی نور خورشید با آینه‌هایی در یک نقطه متمرکز و داغ شده و بدین ترتیب بخار داغی از آب تولید می‌شود و توربین بخار را می‌چرخاند. روند رشد ظرفیت تولید برق هر یک از این دو فناوری در سطح جهان در شکل ۳ آمده است. می‌توان پی برد که روند رشد PV خورشیدی به دلیل بلوغ این فناوری و امکان‌پذیری بیشترش بسیار بالاتر بوده است [۷].

انرژی باد

بشر از دیرباز از انرژی باد برای حمل‌ونقل دریایی خود استفاده می‌کرده و برای مثال، ۵۰۰۰ سال پیش از میلاد قایق‌های خود را با این انرژی روی رود نیل جابجا می‌کرده است. ۲۰۰ سال پیش از میلاد مسیح، نخستین بار این چینی‌ها بودند که پمپ‌های آبی ساده‌شان را با منابع انرژی باد کار انداختند [۸]. اوایل قرن بیستم، بشر آموخت تا با استفاده از توربین‌های بادی برق را در مقیاس کوچک تولید کند. البته در دهه‌های اخیر، فناوری توربین بادی به‌شدت رشد یافته و کارآمدی‌اش بالا رفته است؛ همچنین هزینه و سرمایه ساخت آن پایین آمده است. تا سال ۲۰۱۸، مجموع ظرفیت تولید برق از انرژی بادی در جهان برابر با 560 GW بود که در این میان چین با رقم 185 GW بالاترین میزان تولید برق بادی را به خود اختصاص داد [۹]. ضمناً، انتظار می‌رود که صنعت برق بادی در آینده نزدیک به یکی از منابع اصلی برق در سرتاسر جهان تبدیل شود. طبق پیش‌بینی‌ها، میزان تولید برق بادی در جهان تا سال ۲۰۵۰ به 9 TW خواهد رسید، که در شکل ۴ نشان داده شده است [۱۰]. توربین بادی به کمک پره‌های توربین انرژی باد را به دام می‌اندازد و این انرژی جنبشی را با چرخاندن یک مولد به برق تبدیل می‌کند. توربین‌های بادی در دو حالت عمودی یا افقی دسته‌بندی می‌شوند که در شکل ۵ آمده است [۱۱].

برق آبی

نخستین بار در سال ۱۸۸۲ از انرژی برق آبی برای تولید برق استفاده شد. این کار توسط نیروگاه برق هیدروالکتریک فاکس ریور در ایالات‌متحده آمریکا صورت گرفت [۱۲]. این فناوری از قدیمی‌ترین فناوری‌ها برای تولید برق است و طی دو قرن گذشته رشد چشمگیری داشته است. اکنون ظرفیت مجموعی جهانی تولید برق از راه برق آبی برابر با 1200 GW است. به دلیل پیشرفته بودن این نوع فناوری، ساخت آن در جهان ادامه خواهد یافت و مقدار تولیدش برای سال ۲۰۲۳ برابر با 1325 GW برآورد شده است [۱۳].

نیروگاه‌های برق آبی انرژی جنبشی آب را به کمک توربین‌های آبی به برق تبدیل می‌کنند. فناوری‌های نیروگاه برق آبی سه نوع اصلی دارند [۱۴]:

- نیروگاه برق آبی جریان رود: ایده اصلی پشت کارکرد این نوع نیروگاه‌های آن است که کانالی در مسیر یک رود زده شود و توربین‌هایی در آن برای جذب انرژی آب گذاشته شود. در این نوع نیروگاه از هیچ سد یا تجهیزات ذخیره‌سازی آب استفاده نمی‌شود و توان برق خروجی تنها به جریان طبیعی آب بستگی خواهد داشت. بنابراین این نوع تولید برق را متناوب می‌نامند.

- نیروگاه برق آبی با قابلیت ذخیره‌سازی: رایج‌ترین نوع تولید برق آبی است که در آن از سد برای ذخیره‌سازی و کنترل جریان آب استفاده می‌شود. این نوع تولید برق را تولید برق کنترل‌پذیر می‌گویند زیرا می‌توان به‌وسیله آن برقی خروجی را کنترل نمود.
- نیروگاه تولید برق آبی با ذخیره‌سازی پمپی: این نوع شبیه به نوع تولید برق سدی است؛ با این تفاوت که توربین آبی آن وارون‌پذیر است و می‌تواند در زمان تقاضای پایین آب را به مخزن سد بازگرداند تا آب پشت سد دوباره جمع شود.

زمین‌گرمایی

- نیروگاه‌های برق زمین‌گرمایی از انرژی هیدروترمال متشکل از آب و گرما برای تولید برق استفاده می‌کنند؛ که در این فرایند از توربین‌های بخار کمک گرفته می‌شود. سه نوع اصلی نیروگاه‌های زمین‌گرمایی عبارت‌اند از [۱۵]:
- نیروگاه برق بخار خشک (DSPP) که ساده‌ترین طرح برای ساخت یک نیروگاه زمین‌گرمایی به شمار می‌رود. در این نوع بخار داغ به‌طور مستقیم از درون زمین برای چرخاندن توربین بخار حرکت می‌کند.
 - نیروگاه برق بخار سریع که رایج‌ترین نوع است و در آن بخار داغ مخلوط با آب وارد یک مخزن می‌شوند و آنگاه خروجی مخزن تمام به‌صورت بخار پرفشار خارج می‌شود و توربین بخار را حرکت می‌دهد.
 - نیروگاه برق چرخ دوتایی که در آن آب داغ حاصل از گرمای زمین وارد یک تبادله گرما می‌شود تا یک منبع آب دیگر را گرم کند و آن را به بخار تبدیل کند. در این نوع فناوری از تماس مستقیم آب زمین با توربین جلوگیری می‌شود تا از ورود آلودگی به توربین پیش‌گیری گردد.

روش‌های سنتی، مرسوم و تجدیدنظرپذیر تولید برق

زغال‌سنگ - تولید برق با زغال‌سنگ از حدود سال ۱۸۸۰ میلادی انجام می‌شده است [۱۶]. در حال حاضر مجموع ظرفیت برق تولیدی با زغال‌سنگ در جهان برابر با 2000 GW است که نیمی از این مقدار را چین تولید می‌کند [۱۷]. پیش‌بینی می‌شود که تا سال ۲۰۴۰ تولید برق توسط زغال‌سنگ در جهان ۱۰ درصد کاهش یابد [۱۸].

گاز طبیعی - از دهه ۹۰ میلادی به بعد، گاز طبیعی به یکی از مهم‌ترین منابع تولید برق در جهان تبدیل شد [۱۹]. در حال حاضر ظرفیت برق تولیدی توسط گاز طبیعی در جهان برابر با 1600 GW است که انتظار می‌رود تا سال ۲۰۵۰ به 3000 GW افزایش پیدا کند [۲۰].

سیاست‌های انرژی پایدار در اروپا

چندی است میزان تقاضا برای برق در بیشتر کشورهای اروپایی افزایش یافته است. بنابراین بیشتر دولت‌های اروپا اکنون مجبورند به دنبال منابع برق جایگزین برای توسعه انرژی پایدار باشند. لازم به ذکر است که بیشتر کشورهای توسعه یافته مانند بریتانیا و آلمان رشد چشمگیر و سریعی از نظر سیاست‌گذاری در بخش انرژی داشته‌اند [۲۱]. کشورهای آلمان، نروژ، بریتانیا و فنلاند جز کشورهای پیشروی اروپایی از نظر توسعه انرژی پایدار هستند و از این میان کشور آلمان نسبت به دیگران پیشرفته‌تر محسوب می‌شود.

چالش‌هایی چون گرمایش جهانی، امنیت در تأمین انرژی و استفاده پایدار و کارآمد از منابع طبیعی و روابط بین‌ان‌ها موضوعاتی هستند که باید به شیوه‌ای تاکتیکی به آن‌ها پرداخته شود تا از پایداری جهانی در بخش انرژی اطمینان حاصل گردد [۲۲]. افزودنی است که انرژی تجدیدپذیر به چهار کشور مذکور یعنی آلمان، بریتانیا، نروژ و فنلاند کمک کرده است تا از انتشار ۱۱۰ میلیون تن گاز گلخانه‌جوگیری به عمل آورند. طبق گزارشات، در کل قاره اروپا در سال ۲۰۰۷ از انتشار چیزی حدود ۲۲۰ میلیون تن گاز گلخانه‌ای جلوگیری شده است [۲۳].

سیاست توسعه انرژی پایدار در آلمان

آلمان از جمله کشورهای پیشروی اروپایی از نظر امنیت انرژی و توسعه پایدار است. این کشور دارای مخازن سوخت فسیلی بالا و مصرف بهینه‌ای در این زمینه است. دولت آلمان در سال ۲۰۰۱ ۳۵ میلیون تن مخازن نفت و 320 Gm^3 مخازن گاز داشت که رقم بالایی است و توجه فراوانی را به سوی خود جلب کرده است. آلمان از نظر پتانسیل تأمین انرژی تجدیدپذیر نیز از منابع طبیعی فراوان برخوردار است. طبق گزارشات سال ۲۰۰۲ چیزی حدود ۶۶ میلیارد تن (66 Gt) مخازن انرژی تجدیدپذیر در آلمان یافت شده است که معادل ۶/۷٪ از کل مخازن انرژی تجدیدپذیر جهانی می‌باشد [۲۴].

در حال حاضر در کشور آلمان تغییر استوار و مثبتی از تأمین انرژی از منابع مرسوم به تأمین انرژی به صورت تجدیدپذیر و غیرمرسوم وجود دارد. رشد تولید برق این کشور بین سال‌های ۱۹۹۸ تا ۲۰۰۹ از ۴/۷٪ به ۱۶/۱٪ رسیده است. در مورد سوخت‌های زیستی نیز آلمان پیشرو است. چراکه اکنون ۷/۰٪ سوخت حمل‌ونقل عمومی آن از سوخت‌های زیستی از جمله بیواتانول و بیودیزل تأمین می‌شود؛ رقمی که پیش از این برابر با ۰/۲٪ بود [۲۵].

سناریوی توسعه پایدار در کشور آلمان بر اهداف خاصی متمرکز است. یکی از این اهداف بخصوص عبارت است از کاهش تولید گازهای گلخانه‌ای به میزان ۸۰٪ تا سال ۲۰۵۰. جهت دستیابی بدین هدف لازم است سیاست‌گذاری مناسبی صورت گیرد که به بهره‌برداری حداکثری از تمام منابع انرژی تجدیدپذیر از هر دو نظر تقاضا و عرضه کمک کند. به دلیل افزایش میزان نوسان در استفاده از منابع انرژی تجدیدپذیر مانند باد، برق آبی و فتو ولتائیک خورشیدی، آلمان قصد دارد سامانه تأمین انرژی کشور خود را بسیار انعطاف‌پذیر سازد تا از تولید انرژی پایدار و مطمئن اطمینان حاصل کند [۲۶].

مدل FiT آلمان در سال ۲۰۰۰ به قانون منابع انرژی پایدار این کشور انجامید. این مدل را بسیاری از دیگر کشورهای اروپا نیز اتخاذ کرده‌اند. هدف کلی از تصویب قانون یادشده آن بود که تعیین شود در هر کیلووات ساعت چه قدر برق باید تولید شود. در سال ۲۰۱۲ حدود ۱۲٪ کل منابع انرژی و ۲۳٪ منابع برق آلمان از انرژی‌های تجدید پذیر تأمین شده است [۲۷].

سیاست انرژی و توسعه پایدار در نروژ

مدیریت پایدار و پیوسته سیاست‌های دولتی همیشه برای رویارویی با تغییرات پویای حوزه تولید و مصرف انرژی امری ضروری بوده است [۲۸]. در حال حاضر، نگران‌کننده‌ترین مسائل زیست‌محیطی عبارت‌اند از آلودگی، گرمایش جهانی و امنیت انرژی [۲۹]. بنابراین مهم است که بخش‌های دولتی و نهادهای تجاری به حالات سبتر تولید انرژی روی آورند و دینفعان صنعتی نیز در این جنبش نقش ایفا کنند و مسئولیت‌پذیر باشند. در نروژ، این تحول با دادن اولویت به نوآوری‌ها و سرمایه‌گذاری‌های نو با هدف دستیابی به انرژی پایدار و امن صورت گرفت.

عمده سامانه برق نروژ را هیدروبرق تجدیدپذیر تأمین می‌کند؛ زیرا نسبت به دیگر منابع انرژی غیرمرسوم ارزان تر و پاک تر است [۳۰]. CCS از دیگر راه‌ها برای کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای و تقلیل اثر تغییرات اقلیمی است. کشور نروژ از جمله کشورهای اروپایی دارای انرژی پاک است که CCS را هم در سطوح ملی و هم بین‌المللی ترویج داده است [۳۱].

سیاست توسعه انرژی پایدار در کشور بریتانیا

طبق مطالعه حافظ [۲۰۱۴]، دولت بریتانیا سیاست‌های انرژی خود را با تمرکز بر انرژی پایداری بنا نهاده است که بتواند هم‌زمان از انتشار گازهای گلخانه‌ای نیز جلوگیری به عمل آورد [۳۲]. هدف آن بوده است که سیاست یادشده بتواند انرژی پاک، کارآمد و ارزانی (انرژی پایدار) در اختیار شهروندان بریتانیایی گذاشته شوند. دولت بریتانیا چندین سیاست دارد که با هم یکپارچه‌سازی شده‌اند؛ از جمله: قیمت کف کربن (CFP)، وظیفه مالیاتی وسایل نقلیه (VED)، مالیات انرژی صنعت (IET)، مالیات زمین و وضع مالیات تغییرات اقلیمی (CCL). همه این سیاست‌ها به‌منظور کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای و بالا بردن میزان توسعه پایدار در کشور بریتانیا توسعه داده شده‌اند.

تحولات پایدار کشور بریتانیا عبارت‌اند از اقتصاد سبز و آینده کم‌کربن. البته رشد و توسعه اقتصادی پایدار به دسترسی گسترده به اعتبارات و لغو مالیات نیاز دارد. هر یک از این موارد در موضع‌گیری و حوزه سیاسی جداگانه‌ای از کشور بریتانیا قرار دارد. اما هر دو با سیاست انرژی‌یابی این کشور همخوانی دارند [۳۳].

سیاست توسعه انرژی پایدار در فنلاند

ایده حرکت به سوی تولید انرژی‌های تجدیدپذیر بر اساس سیاست‌های اتحادیه اروپا و همچنین سیاست‌های ملی فنلاند در این کشور مطرح شده است [۳۴]. در فنلاند هدف آن بوده است که منابع انرژی مرسوم (سوخت‌های فسیلی) با منابع انرژی غیرمرسوم جایگزین شوند؛ منابعی که برای تقلیل اثرات تغییرات اقلیمی کارآمد باشند [۳۵]. راهبرد اقلیم و انرژی درازمدت این کشور که در سال ۲۰۰۸ تکمیل شد، جنبشی بود که رویه‌های جامعی را برای اهداف ۲۰۳۰ و برنامه‌هایی را تا سال ۲۰۵۰ در نظر گرفته بود [۳۶]. گرمایش جهانی را می‌توان بزرگ‌ترین نگرانی تصمیم‌گیران امور شهروندی کشور فنلاند تلقی نمود. ساختار انرژی این کشور بر اساس کنترل دولتی قوی بنا شده است. به دلیل نیاز مبرم به انرژی پایدار در فنلاند، مسئولان این کشور رویکرد نوینی را برای حفظ امنیت انرژی از طریق بهره‌وری از تمام منابع انرژی تجدیدپذیر درون کشور اتخاذ کرده‌اند [۳۷].

سیاست‌های توسعه پایدار مطرح شده برای آفریقا

طبق گزارشات صورت گرفته در نقشه راه دولت نیجریه برای اصلاح صنعت برق این کشور که در سال ۲۰۱۳ تدوین شد، مجموع ظرفیت تولید برق دولت نیجریه در سال ۲۰۱۲ برابر با 6000 MW بوده است. از این مقدار ظرفیت 4730MW معادل با ۷۹٪ از کل از سوخت‌های فسیلی حاصل می‌شود و تنها ۲۱٪ باقی‌مانده یعنی 1270 MW از انرژی برق‌آبی تأمین می‌شود که تنها منبع انرژی تجدیدپذیر مورد استفاده در حال حاضر در کشور نیجریه است [۳۸].

کشورهای بنین، سنگال و سیرا لئون از نظر مصرف سوخت‌های فسیلی دو برابر مقدار اعلام شده برای کشور نیجریه مصرف دارند. البته همه این کشورها دارای نوعی از انرژی تجدیدپذیر نیز هستند. کشور آفریقای جنوبی را می‌توان صنعتی‌ترین کشور

در آفریقای جنوب صحرای بزرگ دانست؛ نسبت مصرف سوخت‌های فسیلی به منابع انرژی تجدیدپذیر در این کشور ۳ به ۱ است. همچنین بوتسوانا را می‌توان موفق‌ترین کشور آفریقایی از نظر بهره‌گیری از انرژی پایدار دانست که نسبت بهره‌گیری از انرژی‌های تجدیدپذیر در آن به سوخت‌های فسیلی برابر با ۲۲ به ۴ است. در حال حاضر شبکه برق این کشور به آفریقای جنوبی نیز متصل شده است؛ چراکه انرژی تولیدی بوتسوانا فراتر از مصرف شهروندان این کشور است [۳۹].

گزارش اثر تغییرات اقلیمی بر سطح آب دریا در نقاط مختلف جهان

تغییرات اقلیمی جهانی از مهم‌ترین پیامدهای انتشار گازهای گلخانه‌ای ناشی از سوزاندن سوخت‌های فسیلی و تجدیدنپذیر و دیگر فعالیت‌های انسانی مخرب است. بالا رفتن سطح آب دریاها و اقیانوس‌ها یکی از مهم‌ترین اثرات ناشی از تغییرات اقلیمی و در نتیجه آب شدن یخ‌های قطبی در دو قطب شمال و جنوب است. تاکنون پژوهشگران بسیاری این مسئله را در نقاط مختلف جهان مورد بررسی قرار داده‌اند. بالا رفتن سطح آب دریاها می‌تواند هم برای فعالیت‌های انسانی و اقتصادی کنار ساحلی و هم توازن طبیعی محیط‌زیست خطرآفرین باشد.

پاتانکار و همکاران در گزارشی از شهر بمبئی بیان کرده‌اند که ساحلی بودن این شهر آن را در برابر ریسک بزرگ‌تری از نظر بالا رفتن سطح آب قرار می‌دهد [۴۰] که این می‌تواند به سیل‌های بیشتر، بادهای تندتر، گردبادهای شدید و فرسایش ساحلی بینجامد. پیش‌بینی شده است که شهر بمبئی بسیار در برابر تغییرات اقلیمی آسیب‌پذیر است؛ چراکه بیشتر جمعیت آن در زمین‌های پرخطر سیلی زندگی می‌کنند. این شهر ساحلی دارای یک اقلیم گرمسیری جلگه‌ای و بارش باران‌های موسمی در جنوب غربی آن از 2100 mm در سال تجاوز می‌کند. برنامه ریسک و آسیب‌پذیری که بخش مهمی از برنامه بزرگ‌تر اقدامات مدیریتی فجاج طبیعی شهر بمبئی (DMAP) است، به‌طور خاص‌تر و روشن‌تر اقدامات تقلیلی و کاهش‌ی شهر بمبئی را پیرامون بهبودهای زیرساختی، برنامه‌های همسویی با محیط‌زیست، سیاست‌های استفاده از زمین و برنامه‌ریزی‌های مربوطه مشخص می‌کند.

رنجر و همکاران بیان کرده‌اند که وقایعی چون حادثه سال ۲۰۰۵ تا سال ۲۰۸۰ به میزان دو برابر خواهد رسید و ریسک‌های مرتبط با موج‌های گرما، گردبادهای گرمسیری و طوفان‌های موسمی به دلیل بالا رفتن سطح دریا (SLR) تا حدودی افزایش خواهد یافت. به همین دلیل لازم است اقدامات مرتبط با توسعه شهری به‌شدت بهبود یابند و سازگاری با تغییرات اقلیمی تسهیل گردد [۴۱].

نیکولز و همکاران نگرانی خود را درباره اثر SLR بر شهرهایی چون لندن، نیویورک، توکیو، شانگهای، بمبئی و لاگوس بیان کرده‌اند [۴۲].

کازناوه و همکاران علل بالا رفتن سطح دریاها را با استفاده از داده‌های ماهواره‌ای و محیطی بررسی کرده و توصیه کرده‌اند که لازم است با تهدید مذکور مقابله شود. نکته‌ای که با اصول IPCC AR4 هم‌راستا است.

بالیکا و همکاران شاخص آسیب‌پذیری در برابر سیل (FVI) را در یک نمودار ستونی برای ۹ شهر بررسی کرده‌اند: بوینوس آیرس، کلکته، کازابلانکا، داکا، مانیلا، مارسیل، اساکا، شانگهای و روتردام (شکل ۶). طبق پیش‌بینی این مؤلفان دو شهر شانگهای و داکا تا سال ۲۱۰۰ به آسیب‌پذیرترین شهرها بدل خواهند شد؛ پس از این دو مانیلا و کلکته، کازابلانکا، روتردام، بوینوس آیرس و کارسیل در رتبه‌های بعدی قرار می‌گیرد و اساکا کمترین آسیب‌پذیری را در برابر سیل خواهد داشت [۴۳].

تأثیر انتخاب مواد بر صرفه‌جویی در مصرف انرژی و ردپای کربنی

فرایندهای ساخت‌وساز از نظر مصرف انرژی بسیار پرمصرف هستند و حجم بالایی از انتشار گازهای گلخانه‌ای را سرتاسر جهان به خود اختصاص می‌دهند. بنابراین اثر صنعت ساخت‌وساز بر گرمایش جهانی انکارناپذیر است. در نتیجه، کاهش مصرف انرژی در امر ساخت‌وساز و پایین آوردن میزان انتشار کربن می‌تواند نرخ گرمایش جهانی را کاهش دهد. همچنین مهم است میزان مصرف انرژی و تولید کربن را هنگام بهره‌برداری از این پروژه ساختمانی در نظر بگیریم و اثر پوسته‌های ساختمانی نوین بر صرفه‌جویی در مصرف انرژی و ردپای کربنی را بررسی نماییم. با بررسی دقیق این مسائل، طراحان و مهندسان خواهند توانست فرایند انتخاب مواد برای پروژه ساختمانی را به‌گونه‌ای به انجام رسانند که عملکرد ساختمان‌ها از نظر مصرف انرژی بهبود یابد. بشر از دیرباز از زمین به‌عنوان منبعی برای برداشت مواد خام و طبیعی استفاده می‌کرده است تا با استفاده از آن برای خود مسکن بسازد. اما امروزه این امر به حدی پیشرفت داشته است که فعالیت‌های گوناگون انسانی از جمله ساخت‌وساز میزان بالایی از گازهای گلخانه‌ای را به جو زمین وارد کرده‌اند. ما مدت‌ها است که از این منابع طبیعی استفاده می‌کنیم، اما ممکن است از جایی به بعد تقاضای ما برای مواد خام از ظرفیت طبیعت برای بازتولید آن‌ها بالاتر برود. به همین دلیل بود که مفهوم «توسعه پایدار» در سال ۱۹۷۰ مطرح شد. توسعه پایدار به‌طور کلی یعنی برطرف کردن نیازهای فعلی بدون از بین بردن حق آیندگان برای داشتن منابع طبیعی کافی.

انتشار گازهای گوناگون از سامانه‌های گرمایش و خنک‌کننده ساختمان بسیار بیشتر از وسایل نقلیه سوخت فسیلی است؛ چراکه برای تولید مواد ساختمانی به فرایندهای پرمصرفی نیاز است که منابع طبیعی زیادی را مصرف می‌کنند. در صنعت ساخت‌وساز، هر سازه‌ای می‌تواند حجم بالایی از مواد آلوده‌کننده و مخرب زیست‌محیطی را سبب شود؛ که این مسئله ممکن است به عملکرد سازه، تولید آن پیش یا پس از آغاز ساخت‌وساز، هنگام بهره‌برداری یا حتی هنگام تخریب مربوط باشد. بنابراین هنگام طراحی و استفاده از ساختمان‌ها می‌بایست به فکر کاهش مواد آلوده‌کننده زیست‌محیطی بود تا هدف توسعه پایدار محقق گردد.

با توجه به رشد روزافزون جمعیت و تهی‌سازی منابع سوخت طبیعی که احتمالاً در آینده نزدیک روی خواهد داد، جهان اکنون با یک بحران انرژی روبرو است. در نتیجه لازم است بهینه‌سازی انرژی در همه حوزه‌ها موردتوجه قرار گیرد. در صورت تداوم وضعیت کنونی، مصرف انرژی در سطح جهانی بیش از حد بالا خواهد رفت. در این راستا، صنعت ساخت‌وساز نیز اکنون در کشورهای توسعه یافته به‌سویی تغییر یافته است که ساختمان‌های مسکونی یا غیر مسکونی به‌گونه‌ای ساخته شوند که بتوانند بدون استفاده از منابع سوخت فسیلی مورد استفاده قرار گیرند. در نتیجه، مهندسان و طراحان می‌بایست نهایت بهره را از شرایط اقلیمی یک منطقه ببرند و از این طریق تا جای ممکن در مصرف انرژی صرفه‌جویی کنند. افزودنی است که مصرف انرژی در کشور ایران همچون بسیاری از دیگر کشورهای جهان افزایش یافته است.

ساخت‌وساز سبز مفهومی است همسو با اهداف توسعه پایدار که طبق آن کوشیده می‌شود تا فعالیت‌های انسانی با محیط پیرامون سازگاری پیدا کنند و تا جای ممکن در مصرف انرژی صرفه‌جویی شود. عبارت «ساخت‌وساز سبز» در سال ۱۹۸۰ در صنعت ساخت‌وساز مطرح شد. ساختمان‌های پایدار و خانه‌های انرژی صفر نیز عباراتی هستند که با ساخت‌وساز سبز ارتباط مفهومی نزدیکی دارند [۴۴] [۴۵].

پوش ساختمانی یکی از پیچیده‌ترین مؤلفه‌های سازه‌ها از نظر طراحی و پیاده‌سازی است؛ چراکه با دیگر مؤلفه‌ها تعامل نزدیکی دارد. پوش‌ها معمولاً مهم‌ترین عامل برای کنترل هدر رفت انرژی و گزینش سامانه‌های مکانیکی برای ساختمان نیز هستند.

ضمناً، پوش نقش مهم در تأمین آسایش گرمایی در همه قسمت‌های سازه ایفا می‌کند. پوش عبارت است از همه صفحاتی که مرز ساختمان را با محیط بیرونی مشخص می‌کنند که شامل بام و پی نیز می‌گردد. حتی تا یک دهه پیش، تیم‌های طراحی ساختمان تنها برای پروژه‌های خاصی چون بیمارستان‌ها یک مشاور پوش ساختمانی استخدام می‌کردند. اما امروزه نهادهایی چون وزارت انرژی ایالات متحده آمریکا سازندگان را الزام می‌کنند تا به‌طور رسمی به بررسی و آزمایش پوش‌های ساختمانی بپردازند و انجمن ساخت‌وساز سبز ایالات متحده آمریکا در نسخه چهارم خطوط مشی خود الزامی را به‌صورت جداگانه برای استخدام یک بازرس پوش ساختمانی در نظر می‌گیرد [۴۶]، [۴۷]. افزودنی است که معیارهای مربوط به پوش ساختمانی اکنون در استانداردهای گوناگون به‌شدت در حال رشد هستند؛ برای مثال استاندارد ASHRAE [۵۱]-[۴۸] عامل مقاومت گرمایی استاندارد خود را از ۱۳ به ۲۱ افزایش داده است.

راه‌های طراحی پوش ساختمانی و تأثیرگذاری آن‌ها

پراگر و همکاران طی یک تحلیل تجربی اثر بازتاب خورشیدی (SR) نماهای رنگ شده را بر بار گرمایی ساختمان‌ها بررسی کردند. مطالعه آن‌ها نشان داد که رنگ کردن قسمت بیرونی دیوارها با رنگ خاکستری در مقایسه با رنگ سفید می‌تواند بار گرمایی را کاهش داده و بار سرمایی را افزایش دهد [۵۲].

اوزل و پیهتیلی به بررسی موقعیت قرارگیری بهینه برای مواد عایق کاری و توزیع آن روی دیواره‌های بیرونی پرداختند و تأثیرات موقعیت بر صرفه‌جویی در مصرف انرژی و عوامل‌های تأخیر زمانی و کاهشی را در چند نمودار ترسیم کردند. جهت‌گیری نیز یک عامل مطالعاتی دیگر بود و نتایج این عامل نشان دادند که عایق کاری با توزیع یکپارچه عملکرد بهتری نسبت به عایق کاری غیر یک پارچه دارد و عایق کاری تک لایه‌ای بهتر است در قسمت بیرونی دیوار انجام شود. ضمناً، این نتایج برای اقلیم‌های گوناگون تقریباً یکسان بودند [۵۳].

اوکارا و بالو به مطالعه نقش نوع سوخت در بهینه‌سازی ضخامت مواد عایق کاری در اقلیم‌های گوناگون پرداخته و به نتایج زیر دست یافتند:

- ۱- ضخامت عایق کاری بهینه بین ۱ و ۷/۶ سانتی‌متر است؛
 - ۲- امکان صرفه‌جویی اقتصادی بین مبالغ ۱۹ و ۴۷ میلیون دلار هست؛
 - ۳- بازه زمانی برای بازگشت سرمایه بین ۱/۸ سال تا ۳/۷ سال است.
- نتایج مذکور به نوع سوخت و نوع اقلیم بستگی دارند [۵۴]. اوزل به عملکرد گرمایی و بهینه‌سازی ضخامت عایق گرمایی برای دیوارهای بیرونی پرداخته و نتایج زیر را ارائه کرده است [۵۵]:

۱- کمترین ضخامت به میزان ۲ سانتی‌متر مربوط به پلی استیرین اکستروژن شده (XPS) بود که با بتن اتوکلاو شده هواداده شده (AAC) ترکیب می‌شود. پلی استیرین (PS) یا استایروفوم نوعی مواد عایق کاری سخت سلول بسته است که از مونومر های استیرول یا استیرین ساخته می‌شود؛

۲- بیشترین ضخامت عایق به میزان ۸ سانتی‌متر مربوط به پلی استیرین امتدادیافته (EPS) در ترکیب با بتن بود؛

۳- ثابت شد که عایق XPS برای صرفه‌جویی در مصرف انرژی از EPS کارآمدتر است.

پیلدیز با تمرکز بر یکی از ساختمان‌های شهر از میر ترکیه یک تحلیل حساسیت انجام داد تا پارامترهای ساخت‌وساز که در یک اقلیم داغ و شرجی مؤثر هستند را شناسایی کند. او دریافت که حساسیت پارامترها در ساختمان‌های آپارتمانی را می‌توان بر

اساس مصرف انرژی و ارتفاع سازه تنظیم کرد. همچنین آشکار شد که ضرایب انتقال گرما و جذب انرژی بالاترین اثر را بر مصرف انرژی این ساختمان‌ها دارند [۵۶].

لوباکو و همکاران از شبیه‌سازی عددی برای تحلیل اثرات مواد نما بر مصرف انرژی ساختمان‌های شهر میلان کشور ایتالیا استفاده نمودند. آن‌ها در مطالعه خود به نماهای آلومینیومی و شیشه‌ای و نیز نماهای سبز پرداختند [۵۷]. سوسورو و همکاران پوشاندن نما با گیاهان را از نظر عددی و آزمایشی بررسی نمودند. آن‌ها در مطالعه خود نشان دادند که استفاده از گیاهان می‌تواند جذب انرژی خورشید و بار گرمای تابستان را کاهش دهد. البته این اقدام می‌تواند بار سرمای زمستان را افزایش دهد [۵۸].

پتانسیل به‌کارگیری VIP یا پنل عایق خلاء برای اصلاح مصرف و هدررفت انرژی ساختمان‌های اداری

ساختمان‌ها یکی از پرمصرف‌ترین کاربران انرژی هستند و یک سوم انتشار گاز کربن در جهان را به خود اختصاص داده‌اند. با این حال، تقاضای انرژی برای ساختمان‌ها کماکان رو به افزایش است؛ زیرا مساحت مناطق ساختمانی افزایش یافته و میزان انرژی مصرفی آن‌ها نیز برای بالا بردن کیفیت و آسایش محیط سیر صعودی پیدا کرده است. این امر به افزایش مصرف منابع تجدیدناپذیر انرژی در سطح جهان انجامیده و گرایش به حذف این منابع انرژی را بالا برده است. جهت کاهش مصرف انرژی و دستیابی به اهداف صفر خالص (Net Zero Targets) بهبود پوش گرمایی ساختمان‌ها یکی از مسائل دارای اولویت تلقی می‌شود. این مهم با کاهش ضریب از دست رفتن گرما (مقدار U) از طریق استفاده از مواد بهتر در پوش ساختمان حاصل می‌شود. مواد عایق گرمایی مرسوم فعلی باید در ضخامت بالایی تعبیه شوند تا مقدار U تا حد دلخواه کاهش یافته و الزامات شدید عایق‌کاری ساختمان برطرف گردد؛ که ممکن است برای برخی سناریوهای ساخت‌وساز به‌ویژه بازسازی سازه‌های قدیمی امکان‌پذیر نباشد. مواد عایق‌کاری پیشرفته مانند پنل عایق‌کاری خلاء (VIP) می‌توانند تا حد زیادی به حل مشکل مذکور کمک کنند. VIP ها می‌توانند در مقایسه با مواد عایق‌کاری گرمایی مرسوم تا ۸ برابر مقاومت گرمایی بهتری ارائه کرده و در نتیجه ضخامت موردنیاز برای عایق‌کاری را کاهش دهند [۵۹]، [۶۰]. البته به‌کارگیری این مواد پیشرفته در حوزه ساخت‌وساز بسیار محدود صورت می‌گیرد و علتش هم قیمت بالای این مواد است [۶۱]، [۶۲]. همچنین استفاده نامناسب از روش‌های ارزیابی با تمرکز صرف بر هزینه‌های انرژی عامل بازدارنده دیگری است که بر انتخاب گزینه‌های ارزان‌تر اثر می‌گذارد. استفاده از VIP ها و تأثیر آن‌ها بر مصرف انرژی ساختمان و امکان‌پذیری اقتصادی آن در مطالعاتی موردبررسی قرار گرفته است. موجیبو و همکاران [۶۳] تأثیر VIP بر میزان مصرف انرژی را برای یک ساختمان اداری چندطبقه در اقلیم داغ عربستان بررسی کرده‌اند. در این مطالعه آشکار شد که استفاده از این مواد در دیوارها و بام در مقایسه با حالت پایه (بدون عایق) مصرف انرژی سالانه را تنها 0.8% کاهش می‌دهد. همچنین تحلیل ساده بازگشت سرمایه روی VIP ها نشان داد که این مواد در مطالعه مورد یادشده به‌عنوان گزینه عایق‌کاری از نظر هزینه کارآمد نیستند؛ البته همان‌طور که پیش‌تر بیان شد، ارزیابی مذکور تنها با تمرکز بر صرفه‌جویی در مصرف انرژی انجام شده بود و دیگر اثرات استفاده از VIP ها از جمله کاهش فضای موردنیاز برای لایه عایق‌کاری را در نظر نگرفته بود.

علم و همکاران [۶۴] دریافته‌اند که VIP ها با هسته سیلیکای فومی در یک ساختمان اداری چندطبقه در بریتانیا (شهر لندن) میزان انرژی لازم برای گرمایش فضا را 10.2% کاهش می‌دهد که این مسئله VIP ها را به‌عنوان یک مواد عایق‌کاری با

امکان‌پذیری اقتصادی بالا مناسب می‌سازد؛ به‌ویژه در مناطقی با نرخ اجاره‌بهای بالا که فضای حفظ شده را می‌توان در محاسبات بازگشت سرمایه لحاظ کرد.

لیم و همکاران [۶۵] استفاده از VIP را در یک ساختمان آپارتمانی چندطبقه در کره جنوبی با نرم‌افزار شبیه‌ساز انرژی IES ارزیابی کردند و دریافتند که به‌کارگیری VIP ها مصرف انرژی سالانه ساختمان را در مقایسه با حالت پایه کاهش می‌دهد (ساختمان با عایق کاری پلی استیرین امتداد یافته). البته آن‌ها تحلیل کارآمدی هزینه را انجام نداده‌اند. فانتوسی و همکاران [۶۶] یک ساختمان دارای عایق VIP ارزیابی کرده و مقدار فضای افزوده شده را برای آن لحاظ کردند. آن‌ها نتیجه گرفتند که اگر اجاره‌بهای ساختمان در سال بیش از $220\text{€}/\text{m}^2$ آنگاه استفاده از VIP از نظر اقتصادی مناسب خواهد بود.

بیسواس و همکاران [۶۷] یک تحلیل انرژی روی عایق VIP اصلاح شده کم‌هزینه برای یک ساختمان یک طبقه در اقلیم سرد شهر نیویورک آمریکا انجام دادند و پیش‌بینی کردند که مصرف انرژی گراهادهی می‌بایست در مقایسه با حالت پایه 12.5% کاهش پیدا کند.

پیکو و علم [۶۸] در یک مطالعه موردی به بررسی یک ساختمان اداری معمولی می‌پردازند که به دلیل همسویی با مقررات جاری و رسیدن به بازدهی انرژی مطلوب نیاز به بازسازی و اصلاح دارد. ساختمان مذکور در سه شبیه‌ساز عملکردی پویا و تحت سه شرایط اقلیمی گوناگون شبیه‌سازی شد. آن‌ها پنل‌های عایق خلاء یا VIP را به‌عنوان گزینه‌ای برای تجهیز انرژی‌یابی ساختمان با گزینه‌های مرسوم و رایج مانند XPS و پشم معدنی مقایسه کردند. میزان مصرف انرژی برای هر یک از سناریوهای مذکور محاسبه شد و تحلیل امکان‌سنجی مالی با بررسی هزینه‌های سرمایه‌پیش‌بینی شده صورت گرفت. این مؤلفان در رویکرد جامع خود مؤلفه‌های فراوانی را در نظر گرفته و استفاده از VIP را به‌عنوان یک راه‌حل جذاب پیشنهاد می‌کنند.

جمع‌بندی

از در این مقاله برخی از مهم‌ترین مسائل مرتبط با مبحث انرژی موردبررسی قرار گرفتند. نخست، انواع انرژی تجدیدپذیر و ویژگی‌های آن‌ها و انرژی‌های تجدیدناپذیر بررسی شدند. برق هسته‌ای، برق خورشیدی، انرژی باد، برق آبی و زمین‌گرمایی از مهم‌ترین منابع انرژی تجدیدپذیر هستند. سپس سیاست‌های برخی کشورهای اروپایی و آفریقایی در ارتباط با بهینه‌سازی مصرف انرژی مورد اشاره قرار گرفت. در آخر نیز بهینه‌سازی طراحی ساختمان‌ها از نظر مصرف انرژی تشریح شد. نتیجه گرفته شد که پوش‌های ساختمانی و عایق‌کاری و مواد آن‌ها می‌تواند اثر چشمگیری در صرفه‌جویی مصرف انرژی داشته باشد؛ چراکه ساختمان‌ها از پرمصرف‌ترین‌ها هستند.

منابع

- [1] IEA. Data and statistics - IEA. (online) Available at: <<https://www.iea.org/data-and-statistics/data>>
- [2] World Nuclear Association. Outline History of Nuclear Energy (online) Available at: <<https://www.world-nuclear.org/informationlibrary/current-and-future-generation/outline-history-of-nuclearenergy.aspx>>.

- [3] Power Technology. Global nuclear power capacity expected to reach 536GW by 2030 (online) Available at: <<https://www.powertechnology.com/comment/global-nuclear-power-capacity-expectedreach-536gw-2030/>>.
- [4] Cameco.com. n.d. Cameco U101 - Types of Reactors. (online) Available at: <https://www.cameco.com/uranium_101/electricity-generation/typesof-reactors/>
- [5] Solar News. n.d. History of Solar Energy: Timeline & Invention of Solar Panels | Energysage. (online) Available at: <https://news.energysage.com/the-history-and-invention-of-solar-paneltechnology/>
- [6] Solar Power Europe. (online) Available at <https://www.solarpowereurope.org/global-market-outlook-2019-2023/>
- [7] Irena.org. n.d. Solar. (online) Available at: <https://www.irena.org/solar>
- [8] Eia.gov. 2020. History of Wind Power - U.S. Energy Information Administration (EIA). (online) Available at: <https://www.eia.gov/energyexplained/wind/history-of-windpower.php>
- [9] bp global. n.d. Renewable Energy | Energy Economics | Home. (online) Available at: <https://www.bp.com/en/global/corporate/energyeconomics/statistical-review-of-world-energy/renewable-energy.html>
- [10] Our Energy Policy. (online) Available at https://www.ourenergypolicy.org/wp-content/uploads/2017/09/DNVGL_-Energy-Transition-Outlook-2017_renewables_lowressingle_0109.pdf
- [11] Energy.gov. n.d. How Do Wind Turbines Work? (online) Available at: <<https://www.energy.gov/eere/wind/how-do-wind-turbines-work>>.
- [12] National geographic. Hydropower, explained (online) Available at: <https://www.nationalgeographic.com/environment/globalwarming/hydropower/>
- [13] IEA. n.d. Hydropower - Fuels & Technologies - IEA. (online) Available at: <https://www.iea.org/topics/renewables/hydropower/>
- [14] ElProCus - Electronic Projects for Engineering Students. n.d. Types and Working Functionality of Hydroelectric Energy Power Plants. (online) Available at: <https://www.elprocus.com/types-and-workingfunctionality-of-hydroelectric-energy-power-plants/>
- [15] Eia.gov. n.d. Geothermal Power Plants - U.S. Energy Information Administration (EIA). (online) Available at: <https://www.eia.gov/energyexplained/geothermal/geothermal-powerplants.php>
- [16] Energy.gov. 2021. (online) Available at: <https://www.energy.gov/sites/prod/files/Elem_Coal_Studyguide.pdf>.
- [17] Carbon Brief. 2020. Mapped: The World'S Coal Power Plants In 2020. (online) Available at: <<https://www.carbonbrief.org/mapped-worldscoal-power-plants>>.
- [18] The Conversation. 2019. Explaining the Increase in Coal Consumption Worldwide. (online) Available at: <http://theconversation.com/explaining-the-increase-in-coalconsumption-worldwide-111045>
- [19] Naturalgas.org. 2013. » Electrical Uses Naturalgas.Org. (online) Available at: <<http://naturalgas.org/overview/uses-electrical/>>.

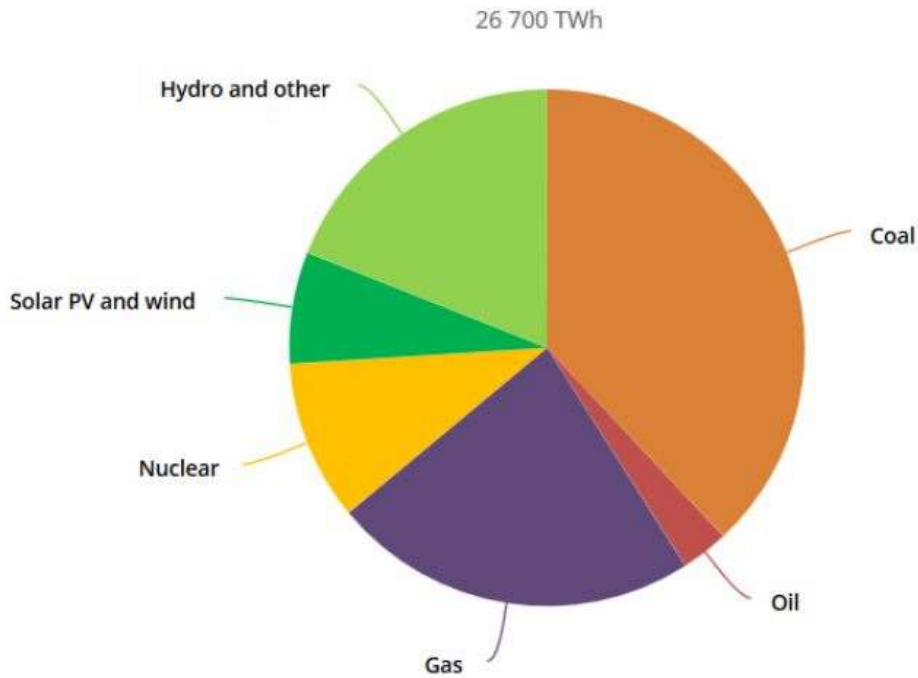
- [20] Statista. 2021. Installed Natural Gas Generation Capacity Globally 2050 | Statista. (online) Available at: <https://www.statista.com/statistics/217252/global-installed-powergeneration-capacity-of-natural-gas/>
- [21] Hafez, A. 2014. Investigating the effectiveness of UK energy policy in promoting renewable investments and reducing carbon emissions. *Zagreb International Review of Economics and Business*. 17, pp.1.
- [22] Cooke, H., Keppo, I. and Wolf, S. 2013. Diversity in the theory and application: A review with application to the evolution of renewable energy generation in the UK. *Energy Policy*. 61, pp. 88-95.
- [23] Peura, P. and Hyttinen, T. 2011. The potential and economics of bioenergy in Finland. *Journal of Cleaner Production*. 19 (9): pp. 927- 945
- [24] Bechberger, M. & Reiche, D. 2004. Renewable energy policy in Germany: pioneering and exemplary regulations. *Energy for Sustainable Development*. 8 (1): pp. 47-57.
- [25] Hinrichs-Rawlwe, R. 2013. Renewable energy: Paving the way towards sustainable energy security. Lessons learnt from Germany. *Renewable Energy*. 49, pp. 10-14
- [26] Martens, S. and Kuhn, M. 2015. Geological underground will contribute significantly to the implementation of the energy policy towards renewables in Germany. *Energy Procedia*. 76, pp. 59-66
- [27] Suhlsen, K. & Hisschemoller, M. 2014. Lobbying the Energiewende. Assessing the effectiveness of strategies to promote the renewable energy business in Germany. *Energy Policy*. 69, pp. 316-325.
- [28] Mytilinou, V., Kolios, A. J. and Di Lorenzo, G. (2015). A comparative multi-disciplinary policy review in wind energy development in Europe. *International Journal of Sustainable Energy*. Pp. 1-21.
- [29] Wysokinska, Z. 2012. Mutual Dependence between sustainable energy - and sustainable policies-from the Global and European perspective. *Comparative Economic Research*. 15 (3): pp. 5.
- [30] Mytilinou, V., Kolios, A. J. and Di Lorenzo, G. (2015). A comparative multi-disciplinary policy review in wind energy development in Europe. *International Journal of Sustainable Energy*. Pp. 1-21.
- [31] Roettereng, J.S. 2014. The foreign policy of carbon sinks: Carbon capture and storage as foreign policy in Norway. *Energy Procedia*. 63, pp. 6927-6944
- [32] Hafez, A. 2014. Investigating the effectiveness of UK energy policy in promoting renewable investments and reducing carbon emissions. *Zagreb International Review of Economics and Business*. 17, pp.1.
- [33] Cooke, H., Keppo, I. and Wolf, S. 2013. Diversity in the theory and application: A review with application to the evolution of renewable energy generation in the UK. *Energy Policy*. 61, pp. 88-95
- [34] Peura, P. and Hyttinen, T. 2011. The potential and economics of bioenergy in Finland. *Journal of Cleaner Production*. 19 (9): pp. 927- 945.
- [35] Valkila, N. and Saari, A. 2013. Experts' view on Finland's energy policy. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. 17, pp. 283-290.

- [36] Deichmann, U., Meisner, C., Murray, S. and Wheeler, D. S. 2011. The economics of renewable energy expansion in rural Sub-Saharan Africa: *Energy Policy*. 39 (1): pp215-227
- [40] Patankar Archana, Anand Patwardhan, Janke Andharia & Vikas Lakhani; *Mumbai City Report; International Workshop on Climate Change Vulnerability Assessment and Urban Development Planning for Asian Coastal Cities, Bangkok, Thailand August 2010*
- [41] Ranger Nicola, Stéphane Hallegatte, Sumana Bhattacharya, Murthy Bachu, Satya Priya, K. Dhore, Farhat Rafique, P. Mathur, Nicolas Naville, Fanny Henriet, Celine Herweijer, Sanjib Pohit, Jan CorfeeMorlot; *An assessment of the potential impact of climate change on flood risk in Mumbai; Climatic Change (2011) 104:139–167; DOI 10.1007/s10584-010-9979-2*
- [42] RoBeRT J. Nicholls; *Planning for the impacts of Sea level Rise; The official Journal of The Oceanography Society, USA Oceanography 24(2):144–157, doi:10.5670/oceanog.2011.34*
- [43] S. F. Balica, N. G. Wright, F. van der Meulen; *A flood vulnerability index for coastal cities and its use in assessing climate change impacts; Nat Hazards (2012) 64:73–105 DOI 10.1007/s11069-012-0234-1*
- [44] C. J. Kibert, *Sustainable construction: green building design and delivery*. John Wiley & Sons, 2016.
- [45] A. Seyrfar, H. Ataei, and S. Derrible, “A Review of Building Energy Benchmarking Policies Across the U.S. Cities,” *Proceedings of Applied Energy Symposium: MIT A+B, United States, 2020, no. 2, 2020, (Online)*. Available: http://www.energy-proceedings.org/wpcontent/uploads/2020/12/aeab2020_paper_325.pdf.
- [46] DOE, “U.S.,” *EnergyPlus Engineering Reference*. US Department of Energy, 2013.
- [44] G. Globes, “ANSI/GBI 01–2010: Green Building Assessment Protocol for Commercial Buildings,” *Green Building Initiative, Jessup, MD, USA, 2010*
- [47] T. Wang, S. Seo, P.-C. Liao, and D. Fang, “GHG emission reduction performance of state-of-the-art green buildings: Review of two case studies,” *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 56, pp. 484– 493, 2016.
- [48] ASHRAE, *Handbook 1985 Fundamentals*. American Society Heating, Refrigerating &, 1996.
- [49] M. Y. Khan, A. Baqi, and A. Talib, “Energy Efficiency Analysis of a Building Envelope,” in *Proceedings of the 7th International Conference on Advances in Energy Research, 2021*, pp. 1691–1702.
- [50] D. Bienvenido-Huertas and C. Rubio-Bellido, “The Influence of the Envelope Thermal Properties on Building Energy Performance,” in *Optimization of the Characterization of the Thermal Properties of the Building Envelope: Analysis of the Characterization of the Façades using Artificial Intelligence*, Cham: Springer International Publishing, 2021, pp. 1–12
- [52] C. Prager, M. Köhl, M. Heck, and S. Herkel, “The influence of the IR reflection of painted facades on the energy balance of a building,” *Energy and Buildings*, vol. 38, no. 12, pp. 1369–1379, 2006, doi: <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2005.02.012>.

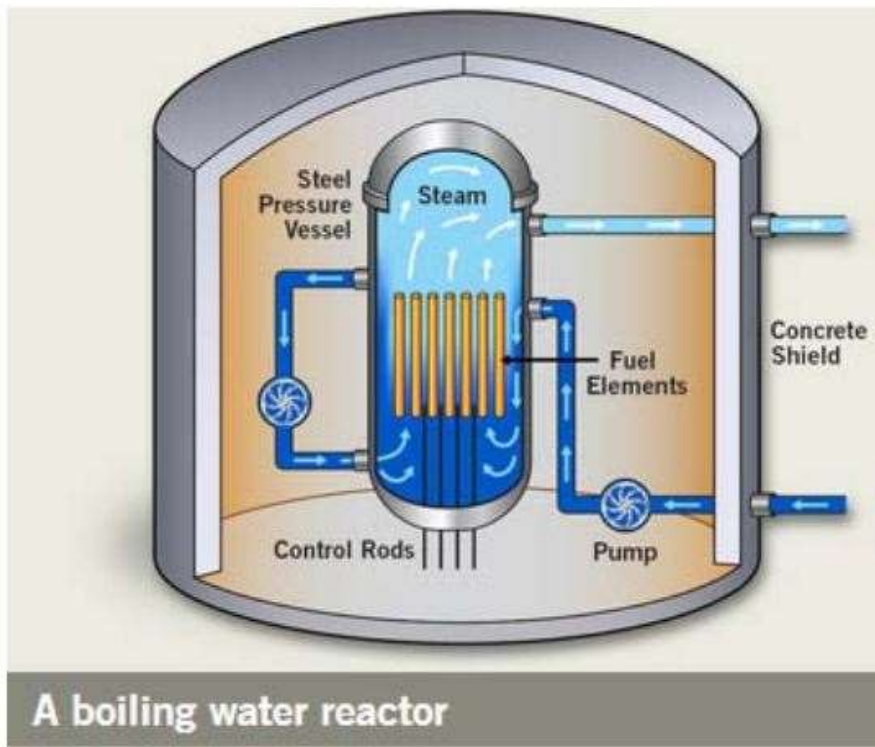
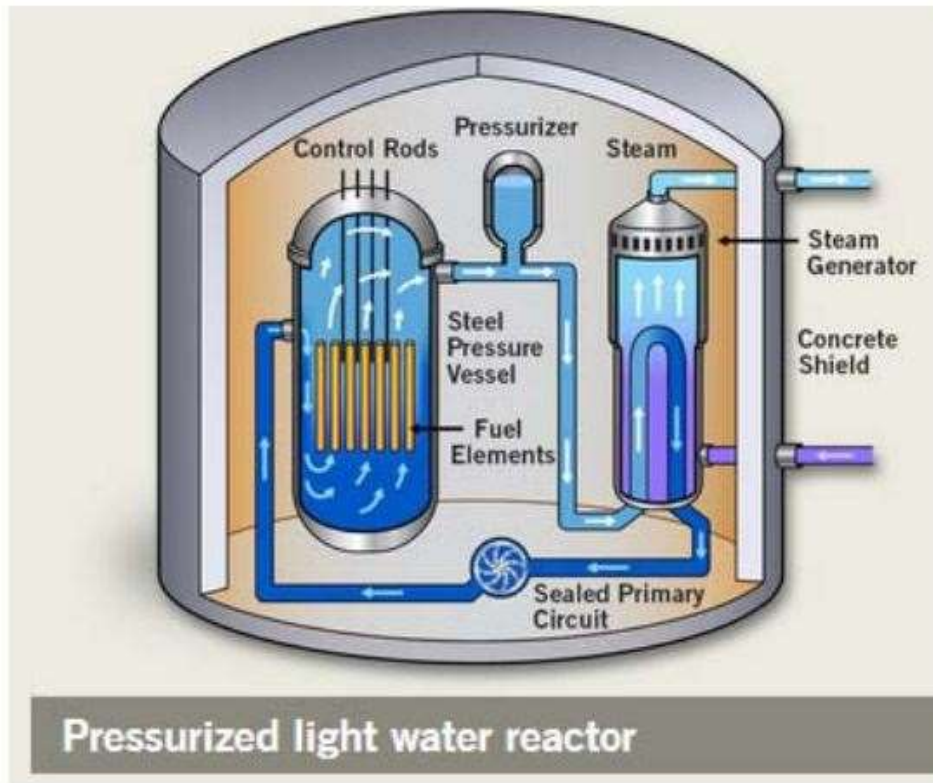
- [53] M. Ozel and K. Pihili, "Optimum location and distribution of insulation layers on building walls with various orientations," *Building and Environment*, vol. 42, no. 8, pp. 3051–3059, 2007, doi: <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2006.07.025>.
- [54] A. Ucar and F. Balo, "Effect of fuel type on the optimum thickness of selected insulation materials for the four different climatic regions of Turkey," *Applied Energy*, vol. 86, no. 5, pp. 730–736, 2009, doi: <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2008.09.015>.
- [55] M. Ozel, "Thermal performance and optimum insulation thickness of building walls with different structure materials," in *Applied Thermal Engineering*, 2011, vol. 31, no. 17–18, doi: [10.1016/j.applthermaleng.2011.07.033](https://doi.org/10.1016/j.applthermaleng.2011.07.033).
- [56] Y. Yildiz and Z. D. Arsan, "Identification of the building parameters that influence heating and cooling energy loads for apartment buildings in hot-humid climates," *Energy*, vol. 36, no. 7, 2011, doi: [10.1016/j.energy.2011.04.013](https://doi.org/10.1016/j.energy.2011.04.013).
- [57] G. Lobaccaro, F. Fiorito, G. Masera, and T. Poli, "District geometry simulation: A study for the optimization of solar façades in urban canopy layers," in *Energy Procedia*, 2012, vol. 30, doi: [10.1016/j.egypro.2012.11.129](https://doi.org/10.1016/j.egypro.2012.11.129).
- [58] I. Susorova, M. Angulo, P. Bahrami, and Brent Stephens, "A model of vegetated exterior facades for evaluation of wall thermal performance," *Building and Environment*, vol. 67, 2013, doi: [10.1016/j.buildenv.2013.04.027](https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2013.04.027).
- [59] Brunner, S., Simmler, H.: In situ performance assessment of vacuum insulation panels in a flat roof construction. *Vacuum*, 82, 700-707. (2008).
- [60] Alotaibi, S. S., Riffat, S.: Vacuum insulated panels for sustainable buildings: a review of research and applications. *International Journal of Energy Research*, 38, 1-19. (2014).
- [61] Alam, M., Singh, H., Limbachiya, M. C.: Vacuum Insulation Panels (VIPs) for building construction industry – a review of the contemporary developments and future directions. *Applied Energy*, 88,3592-3602. (2011).
- [62] Brunner, S., Wakili, K. G., Stahl, T., Binder B.: Vacuum insulation panels for building applications – continuous challenges and developments. *Energy and Buildings*, 85, 592-596. (2014)
- [63] Mujeebu, M. A., Ashraf, N., Alsuwayigh, A.: Energy performance and economic viability of nano aerogel glazing and nano vacuum insulation panel in multi-story office building. *Energy*, 113, 949-956 (2016).
- [64] Alam, M., Singh, H., Suresh, S., Redpath, D.A.G.: Energy and economic analysis of Vacuum Insulation Panels (VIPs) used in non-domestic buildings. *Applied Energy*, 188, 1-8. (2017)
- [65] Lim, T., Seok, J., Kim, D. D.: A Comparative Study of Energy Performance of Fumed Silica Vacuum Insulation Panels in an Apartment Building. *Energies* 10(12):2000. DOI: [10.3390/en10122000](https://doi.org/10.3390/en10122000). (2017).
- [66] Fantucci, S., Garbaccio S., Alice Lorenzati, A.: Thermo-economic analysis of building energy retrofits using VIP - Vacuum Insulation Panels. *Energy and Building*, 196, 269-279. (2019)

[67] Biswas, K., Patel, T., Shrestha, S., Smith, D., Desjarlais, A. Whole building retrofit using vacuum insulation panels and energy performance analysis. *Energy and Building*, 203, 109430, (2019)

[68] Picco, M., & Alam, M. (2022). Holistic Approach to Assess the Potential of Using Traditional and Advance Insulation Materials for Energy Retrofit of Office Buildings. *International Journal of Structural and Construction Engineering*, 16(3), 45-49.



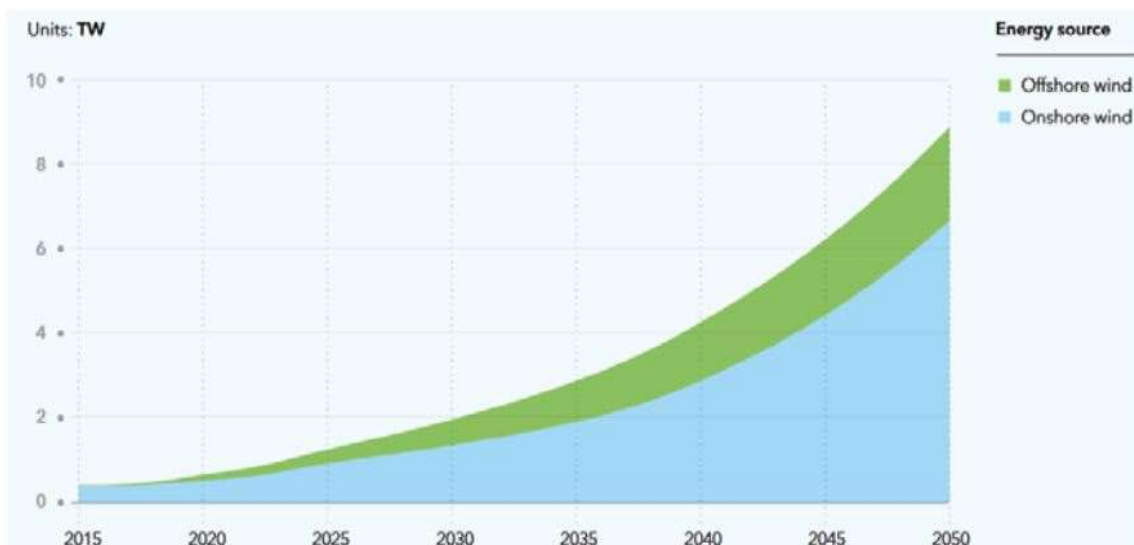
شکل ۱ - منابع تولید برق در سطح جهان سال ۲۰۱۸ [۱].



شکل ۲- کارکرد رآکتورهای PWR و BWR [۴].



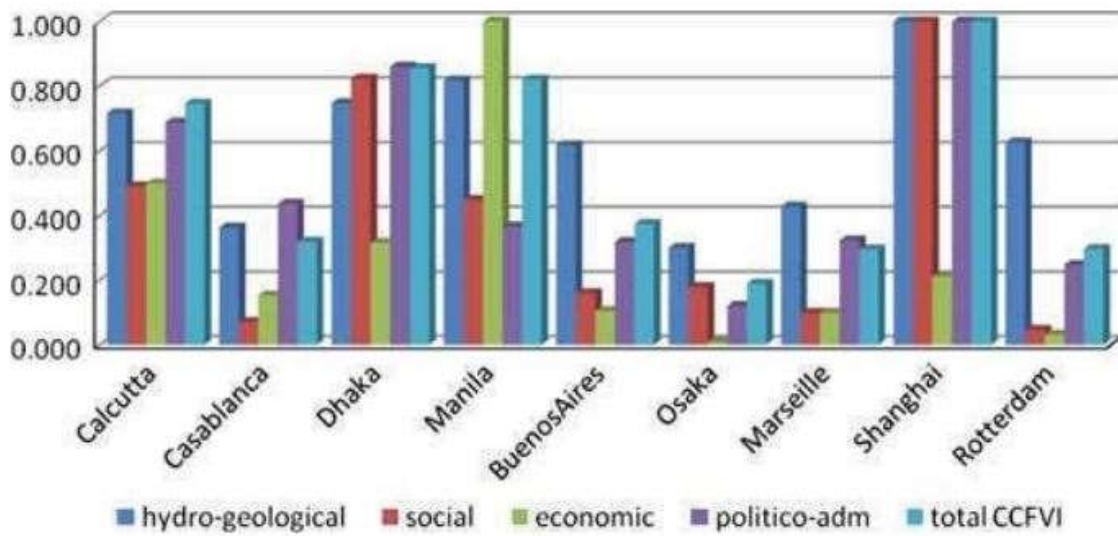
شکل ۳- ظرفیت برق خورشیدی در جهان در سال های مختلف [۷].



شکل ۴- روند تولید هر یک از دو فناوری مربوط به برق خورشیدی در سالهای مختلف [۱۰].



شکل ۵- دو نوع عمودی و افقی توربین های بادی [۱۱].



شکل ۶- شاخص آسیب پذیری در برابر سیل در چند شهر مهم جهان [۴۳].