



شرکت مهندسی آب و فاضلاب کشور
شرکت آب و فاضلاب استان سمنان

آب تنزیب

با استفاده از انرژی خورشیدی
و بادی خارج از شبکه توزیع

پروفسور گوستاف اولسون

مترجم :
دکتر محمدرضا صفائیان



به نام خدا

آب شرب با استفاده از انرژی خورشیدی و بادی خارج از شبکه توزیع

پروفسور گوستاف اولسون

مترجم: دکتر محمدرضا صفائیان

سرشناسه	:	اولسون، گوستاو، ۱۹۴۸ - م.
عنوان و نام پدیدآور	:	آب شرب با استفاده از انرژی خورشیدی و بادی خارج از شبکه توزیع / گوستاف اولسون؛ مترجم : محمدرضا صفائیان.
مشخصات نشر	:	تهران : قلمدان، ۱۴۰۰.
مشخصات ظاهری	:	۲۶۷ ص.
شابک	:	978-622-96307-8-5 ۶۱۰/۰۰۰ ریال
وضعیت فهرست‌نویسی	:	فیپا
موضوع	:	عنوان اصلی : Clean water using solar and wind : outside the power grid ,2018
موضوع	:	انرژی پاک
موضوع	:	Clean energy
موضوع	:	انرژی‌های پایان‌ناپذیر
موضوع	:	آب، منابع
موضوع	:	Water - supply
موضوع	:	آب -- افزایش منابع
موضوع	:	Water resources development
شناسه افزوده	:	صفائیان، محمدرضا، ۱۳۵۷ - ، مترجم
رده بندی کنگره	:	TJ ۸۰.۸
رده‌بندی دیویی	:	۳۳۳/۷۹۴
شماره کتابشناسی ملی	:	۷۷۲۹۷۹۹
اطلاعات رکورد کتابشناسی	:	فیپا



نام کتاب : آب شرب با استفاده از انرژی خورشیدی و بادی خارج از شبکه توزیع
نویسنده: اولسون گوستاو
مترجم : دکتر محمدرضا صفائیان
نوبت چاپ : اول
تیراژ : ۱۰۰۰ جلد
قیمت : ۶۱۰/۰۰۰ ریال
شابک : ۹۷۸-۶۲۲-۹۶۳۰۷-۸-۵



(وَهُوَ الَّذِي أَرْسَلَ الرِّيحَ بُشْرًا بَيْنَ يَدَيْ رَحْمَتِهِ وَ أُنزِلْنَا مِنَ السَّمَاءِ مَاءً طَهُورًا، لِنُخْضِيَ بِهِ بَلَدَةً مَّيْتًا وَ نُسْقِيَهُ مِمَّا خَلَقْنَا أَنْعَامًا وَ أَنْاسِيَ كَثِيرًا)

"و اوست آن که بادها را مژده‌دهندگانی پیشاپیش رحمت خویش فرستاد و ما از آسمان آبی پاک و پاک کننده فرود آوردیم تا به وسیله آن سرزمینی مرده را زنده کنیم و آن را در اختیار آشامیدن چهارپایان و انسان‌های زیادی از آنچه آفریده‌ایم، قرار دهیم."

(سوره فرقان ۴۸/۴۹)

آب یک عنصر حیاتی برای یک زندگی درخور رشد و توسعه پایدار است. انرژی‌های تجدیدپذیر می‌توانند نیازهای ایجاد شده در طول چرخه‌ی تامین آب را نیز برطرف کنند، از جمله شیرین کردن آب، استفاده مجدد و بازچرخانی و تصفیه فاضلاب که بدین ترتیب نقش مستقیمی در راستای دستیابی به آب و انرژی ایفا می‌کنند. توسعه‌ی چشمگیر انرژی‌های تجدیدپذیر طی سال‌های گذشته، چشم‌اندازهای جدیدی را برای میلیون‌ها نفر به ارمغان آورده است. آن‌هایی که در مناطق دور افتاده، خارج از سیستم توزیع انرژی ملی زندگی می‌کنند، حال از یک فرصت حقیقی برای دسترسی به مزایای انرژی‌های پاک برخوردارند. این روند، فرصت‌های جدیدی را برای دستیابی به آب شرب ایجاد می‌کند و باعث می‌شود که بتوان وضعیت بهداشت و سلامتی را بهبود بخشید. مسئله‌ی اصلی مورد بحث در اینجا ایجاد دسترسی به آب شرب و انرژی، برای همگان است که با توجه به پتانسیل عظیم

انرژی‌های تجدیدپذیر در کشور عزیزمان ایران اسلامی توسط پیشرفت‌های فناوری در سال‌های اخیر ممکن گشته‌اند. تاکیدات اشاره شده در این کتاب به منظور نشان دادن این مطلب است که چگونه انرژی غیرمتمرکز حاصل از منابع تجدیدپذیر و منابع آب غیرمتمرکز و تاسیسات تصفیه فاضلاب فرصت‌های جدید و امیدبخشی برای مردمی که خارج از سیستم‌های پیشرفته امروزه زندگی می‌کنند ایجاد می‌کند. نبود منبع فارسی جامع و کامل در خصوص بهره‌گیری از انرژی‌های تجدیدپذیر به منظور دستیابی همه مردم به آب شرب و پاک انگیزه ای برای نوشتن کتاب حاضر گردید. با توجه به اهمیت این موضوع، دفتر تحقیقات شرکت آب و فاضلاب استان سمنان و دفتر تحقیقات، توسعه فناوری و ارتباط با صنعت شرکت مهندسی آب و فاضلاب کشور بر آن شدند تا از چاپ و نشر کتاب "آب شرب با استفاده از انرژی خورشیدی و بادی خارج از شبکه توزیع" حمایت نمایند. امید است که کتاب حاضر در ارتقا کیفیت و کمیت آب شرب در سراسر کشور مفید واقع گردد.

محمد طاهری

رئیس هیئت مدیره و مدیرعامل
شرکت آب و فاضلاب استان سمنان

احمد سیاحی

مدیرکل دفتر تحقیقات، توسعه فناوری و ارتباط با صنعت
شرکت مهندسی آب و فاضلاب کشور

سخن مولف و راهنمایی برای خواننده

انرژی همواره توجه من را به خود جلب نموده از این منظر که چگونه انرژی تجدیدپذیر می‌تواند آب تامین کند، البته نه تنها در نواحی‌ای که هم اکنون الکتریسیته در آن‌ها در دسترس است بلکه حتی در نواحی دورافتاده‌ای که در حال توسعه و خارج از شبکه‌ی توزیع هستند.

هم اکنون بیش از یک میلیارد انسان به آب پاکیزه و انرژی پاک دسترسی ندارند. امروزه فناوری تصفیه آب غیرمتمرکز در دسترس می‌باشد. انرژی خورشیدی فوتوولتاییک و انرژی بادی، توان بالایی در تامین الکتریسیته و بهبود کیفیت زندگی میلیون‌ها نفر در هر نقطه از دنیا را دارند.

در دهه ی ۱۹۶۰ فعالان عرصه علم و فناوری فریاد می‌زدند "انرژی برای مردم". آنها هرگز حتی خواب اختراعاتی که بتواند به تاریک‌ترین گوشه‌های زمین نور برساند را نمی‌دیدند اما حالا ما شاهد انقلاب انرژی‌ای هستیم که پتانسیل تغییر کیفیت زندگی محروم‌ترین و فقیرترین سکنه‌ی کره‌ی زمین را دارد.

این کتاب برای دسته‌های مختلف خوانندگان طرح‌ریزی شده است:

متخصصین آبی که مایلند درباره‌ی انرژی‌های تجدیدپذیر بدانند: شما می‌توانید از بعضی از قسمت‌های تشریح تکنولوژی‌ها صرف نظر کنید.

مهندسين انرژی که به دنبال کاربردهای انرژی خارج از سیستم توزیع هستند: می‌توانید قسمت‌های بنیادی راجع به پنل‌های خورشیدی فوتو ولتاییک و توربین‌های بادی را حذف کنید.

قانون‌گذاران: نیاز ندارید که تمامی اصطلاحات فنی را متوجه شوید. ولی

همچنان می‌توانید پتانسیل عظیم انرژی‌های تجدیدپذیر خارج از سیستم را برای استفاده عملیات‌های آبی درک کنید.

سرمایه‌گذاران: این کار یکی از معنادارترین سرمایه‌گذاری‌هایی است که می‌توانید انجام دهید.

دانشجویان: منابع انرژی آینده تجدیدپذیر هستند. این تاثیر بسیار بزرگی بر تامین آب دارد. باید با آن آشنا باشید.

تامین انرژی تجدیدپذیر خارج از شبکه‌ی توزیع فعلی نه تنها کلید دستیابی به دسترسی جهانی به انرژی الکتریکی است، بلکه کلید رساندن آب به میلیون‌ها نفر که در حال حاضر به آب پاکیزه دسترسی ندارند نیز می‌باشد. این آرزو و امید من است که این کتاب فهم و درک فرصت‌هایی که انرژی‌های تجدیدپذیر برای تامین آب پاکیزه برای همه فراهم می‌نمایند را ارتقاء بخشیده تا دسترسی به این رویا محقق گردد.

اصل کتاب حاضر، با عنوان:

"CLEAN WATER USING SOLAR AND WIND Outside the Power Grid"

یکی از برترین مجموعه‌های انتشار یافته توسط IWA (انجمن بین‌المللی آب) در سال ۲۰۱۸ به نویسندگی پروفسور گوستاف اولسون استاد دانشگاه Lund کشور سوئد به زبان انگلیسی می‌باشد که توسط نگارنده ترجمه و بومی‌سازی شده تا دارای کاربردی فراگیر گردد. به منظور رعایت حق مالکیت و اصل کپی رایت سلسه ایمیل‌ها و مکاتباتی با استاد فرهیخته نویسنده کتاب و همچنین مسئول انتشارات انجمن بین‌المللی آب، پروفسور مارک هاموند، صورت پذیرفت (در انتهای مقدمه کلیه مکاتبات عیناً آورده شده است) و نتیجه بر آن شد تا یک نسخه ePDF از ترجمه فارسی کتاب حاضر برای انتشارات انجمن بین‌المللی آب ارسال گردد تا به صورت آنلاین در وب سایت انتشارات IWA در دسترس همگان قرار گیرد که این افتخاری بس عظیم برای مجموعه صنعت آب و فاضلاب کشور ایران اسلامی و وزارت نیرو می‌باشد.

در انتها برخود لازم می‌دانم از جناب آقای دکتر سیاحی مدیرکل دفتر تحقیقات،

توسعه و ارتباط با صنعت شرکت مهندسی آب و فاضلاب کشور، جناب آقای دکتر مجید کلانتری دبیر محترم کمیته ارزیابی کتب شرکت مهندسی آب و فاضلاب کشور، جناب آقای دکتر طاهری مدیرعامل محترم شرکت آب و فاضلاب استان سمنان، سرکار خانم مهندس ملک جعفریان مدیر دفتر تحقیقات شرکت آب و فاضلاب استان سمنان به جهت حمایت از چاپ و نشر این کتاب قدردانی نمایم. از مساعدت ناشر محترم برادر عزیزم جناب آقای دکتر محمدعلی صفائیان، مدیر مسئول نشر قلمدان، که همواره مرا در جهت نشر آثارم حمایت نموده تشکر می‌کنم. و در آخر از همسرم، خانم سمانه کامروا به خاطر شکیبایی و همراهی در جهت به ثمر رسیدن این اثر سپاسگذارم و همچنین از پشتیبانی و تشویق استاد گرانقدر سرکار خانم فرشته حسین شیردل تشکر و قدردانی می‌نمایم.

محمد رضا صفائیان

دانشگاه تهران، تابستان ۱۴۰۰

Mohammad.safaian@ut.ac.ir

مجموعه مکاتبات و ایمیل ها:

Från: mohammad.safaian <mohammad.safaian@ut.ac.ir>

Skickat: den 5 juni 22:20

Till: gustaf.olsson@iea.lth.se

Ämne: Translate the Book" CLEAN WATER USING SOLAR & WIND Outside the Power Grid" into Persian

Dear **"Professor Gustaf Olsson,**
Professor emeritus at Lund University

It is a great honor for me to know you through your book entitled **"CLEAN WATER USING SOLAR & WIND Outside the Power Grid "**. You have deep insights and wisdom on the importance of synergy between water and energy sectors, thus this book would serve as a main reference for professionals on how both sectors could serve the needs of the people in a sustainable manner.

In **" Iran "** too many people still lack access to clean water and energy. You skilfully explain how modern clean energy options could bring clean water to less privileged people all over the world. This book truly deepens our understanding of the water energy **nexus**.

Dear Professor, you certainly are a leader in the area of the water-energy nexus and an author of immense experience, knowledge and wisdom .

I am a PhD student in Environmental Engineering - Water Resources at the University of Tehran with the subject of **thesis " Integrated modeling of water resources management, energy and food nexus with risk assessment of wastewater (case study Semnan)"**. For this reason, I would like to ask you to allow me to **translate** your book into **Persian** and **publish it in your name** (in Persian) through the **Ministry of Energy - Water and Wastewater Engineering Company of Iran, Semnan** so that all Iranian professionals and students can benefit from it.

Best regards,

Mohammad reza Safaian

Ph.D candidate, Tehran University

Executive Projects Manager of The Water and Wastewater
Company, Iran, Semnan

Member of **IRETSA**

Mohammad.safaian@ut.ac.ir

"پروفسور گوستاف اولسون ، عزیز ،
استاد ممتاز در دانشگاه لوند

برای من افتخار بزرگی است که شما را از طریق کتاب خود با عنوان
"CLEAN WATER using SOLAR & WIND Outside the Power Grid" می
شناسم. شما بینش عمیقی در مورد اهمیت هم افزایی بین بخش های آب و انرژی
دارید ، بنابراین این کتاب به عنوان یک مرجع اصلی برای متخصصان در مورد
چگونگی تامین هر دو بخش به نیازهای مردم به شیوه ای پایدار عمل می کند .
شما به طرز ماهرانه ای توضیح می دهید که چگونه گزینه های مدرن انرژی پاک
می تواند آب قابل شرب و پاک را برای افراد کم برخوردار در سراسر جهان به ارمغان
بیاورد. این کتاب واقعاً درک ما را از رابطه انرژی و آب تعمیق می بخشد. استاد عزیز
، شما مطمئناً در زمینه پیوند آب و انرژی پیشرو هستید و نویسنده ای با تجربیات ،
دانش و حکمت بی نظیر می باشید.

من دانشجوی دکترای مهندسی محیط زیست - منابع آب دانشگاه تهران با
موضوع پایان نامه "مدل سازی یکپارچه مدیریت منابع آب ، انرژی و غذا با رویکرد
همبست به همراه ارزیابی ریسک استفاده از آبهای آلوده (مطالعه موردی منطقه

سمنان)" هستم. به همین دلیل ، از شما می خواهم که به من اجازه دهید کتاب شما را به فارسی ترجمه کرده و به نام شما (به زبان فارسی) از طریق وزارت نیرو - شرکت مهندسی آب و فاضلاب ایران، سمنان منتشر کنم تا همه متخصصان و دانشجویان ایرانی بتوانند از آن بهره مند شوند.

با احترام،

محمد رضا صفاییان

دانشجوی دکتری دانشگاه تهران

مدیر اجرایی طرحهای شرکت آب و فاضلاب ، ایران، سمنان

عضو IRETSA (انجمن علمی انرژی های تجدیدپذیر ایران)

Mohammad.safaian@ut.ac.ir

پاسخ پروفیسور اولسون:

From: Gustaf Olsson <gustafolsson3@gmail.com>

Sent: 11 June 14:36

To: mohammad.safaian <mohammad.safaian@ut.ac.ir>

Cc: Mark Hammond <mhammond@iwap.co.uk>

Subject: SV: Translate the Book " CLEAN WATER USING SOLAR & WIND Outside the Power Grid" into Persian

Dear Mohammad,

Thank you for your kind letter. Of course I am so pleased if you find the book valuable. However, since the publisher IWA Publishing has the copyright of the book they are the ones that have to determine about the translation.

Therefore I recommend you to contact Mark Hammond, responsible for the book publications. By copying him I let him know about your interest.

Best regards

Gustaf

Från: mohammad.safaian <mohammad.safaian@ut.ac.ir>

Skickat: den 5 juni 22:20

Till: gustaf.olsson@iea.lth.se

Ämne: Translate the Book" CLEAN WATER USING SOLAR & WIND Outside the Power Grid" into Persian

پاسخ پروفیسور اولسون:

محمد عزیز

ممنون از نامه محبت آمیز شما . البته اگر کتاب از نظر شما ارزشمند می باشد، من هم از انجام این کار بسیار خوشحال می شوم . با این حال ، از آنجا که ناشر IWA Publishing دارای حق چاپ کتاب است ، آنها نیز باید در مورد ترجمه تصمیم گیرنده باشند و اظهار نظر نمایند. بنابراین به شما توصیه می کنم با مارک هاموند ، مسئول انتشارات کتاب در انجمن بین المللی آب (IWA) تماس بگیرید . او را از علاقه شما و رضایت خود در اینخصوص مطلع خواهم کرد.

با احترام پروفیسور گوستاف

پاسخ پروفیسور مارک هاموند (مسئول انتشارات انجمن بین المللی آب)

Den fre 30 juli kl 13:28 skrev Mark Hammond

<mhammond@iwap.co.uk>:

Dear Mohammad,

After careful consideration, I am writing to grant you permission to translate the book into Persian through the Ministry of Energy - Water and Wastewater Engineering Company of Iran.

Please send us a an ePDF copy of the Persian Translation when available so that it can be made available online on the IWA Publishing website. Please confirm your acceptance to this condition.

Best regards,

Mark

Mark Hammond

Books Commissioning Editor

IWA Publishing

Unit 104-105, Export Building, 1 Clove Crescent, London, E14 2BA, UK

Mob: +44 (0)7468 525543 | Skype: markh_iwap

<http://www.iwapublishing.com>

پاسخ پروفیسور مارک هاموند:**محمد عزیز ،**

پس از بررسی های دقیق ، می نویسم تا به شما اجازه ترجمه کتاب به فارسی و چاپ آن از طریق وزارت نیرو - شرکت مهندسی آب و فاضلاب ایران را ارائه نمایم. لطفاً در صورت موجود بودن یک نسخه ePDF از ترجمه فارسی را برای ما ارسال نمایید تا به صورت آنلاین در وب سایت انتشارات IWA در دسترس همگان قرار گیرد. لطفاً پذیرش خود را با این شرط تأیید کنید.

با احترام**مارک هاموند****مسئول انتشارات کتاب iwa**

فهرست مطالب

مقدمه..... ۲۲

بخش ۱

آب و انرژی - یک حق انسانی

فصل اول: آب و انرژی - برای همه ۲۹

۱-۱ آب شرب و انرژی برای همه ۳۰

۱-۲ دسترسی به آب شرب ۳۲

۱-۳ دسترسی به انرژی الکتریکی ۳۳

۱-۴ جدا کردن آب از انرژی با استفاده از تجدیدپذیرها ۳۶

۱-۴-۱ رد پای آب در انرژی‌های تجدیدپذیر ۳۶

۱-۴-۲ انرژی‌های تجدیدپذیر در مقیاس کوچک ۳۷

۱-۴-۳ تامین آب توسط انرژی‌های تجدیدپذیر ۳۹

۱-۴-۴ تجدیدپذیرها در مقابل انرژی‌های هسته‌ای و فسیلی ۴۰

۱-۴-۵ هزینه‌های توسعه‌ی انرژی الکتریکی ۴۲

۱-۵ عواقب تغییرات آب و هوا ۴۵

۱-۶ نیاز به همکاری ۴۶

۱-۷ بررسی اجمالی کتاب ۴۷

۱-۸ مطالعات بیشتر ۴۹

فصل دوم: به سوی اهداف پایداری ۵۱

۲-۱ اهداف توسعه پایدار سازمان ملل ۵۲

۲-۲ سلامت عمومی، مسائل جنسیتی و تحصیل ۵۸

۶۱	۲-۳ مطالعات بیشتر.....
۶۳	فصل سوم: انقلاب انرژی‌های تجدیدپذیر.....
۶۴	۳-۱ وضعیت جهانی.....
۶۶	۳-۲ توسعه‌های خارج از شبکه.....
۷۳	۳-۳ مقیاس‌پذیری انرژی‌های تجدیدپذیر.....
۷۶	۳-۴ هزینه توسعه انرژی خورشیدی فوتوولتاییک و بادی.....
۷۹	۳-۵ گسترش جهانی انرژی خورشیدی فوتوولتاییک.....
۸۱	۳-۶ گسترش جهانی انرژی بادی.....
۸۴	۳-۷ پیامدهای اقتصادی و ژئوپلیتیکی.....
۸۶	۳-۸ مهارت‌های شغلی برای سوار و اجرایی کردن واحدهای کوچک.....
۸۷	۳-۹ مطالعه بیشتر.....

بخش ۲

تکنولوژی‌های آب

۹۳	فصل چهارم: تامین آب.....
۹۳	۴-۱ پمپاژ.....
۹۵	۴-۲ پمپاژ در مناطق در حال توسعه.....
۹۷	۴-۳ مشخصه‌های پمپاژ.....
۱۰۱	۴-۴ بازدهی پمپ.....
۱۰۵	۴-۵ اجزای یک سیستم پمپاژ خورشیدی فوتوولتاییک.....
۱۰۶	۴-۵-۱ پنل‌های خورشیدی.....
	۴-۵-۲ اینورترها (تجهیزات الکترونیکی‌ای که جریان مستقیم را به متناوب تبدیل می‌کنند) و کنترل‌کننده‌های پمپ.....
۱۰۶	۴-۶ مطالعه بیشتر.....
۱۰۸	
۱۰۹	فصل پنجم: تصفیه‌ی آب.....
۱۱۰	۵-۱ تولید آب پاکیزه.....
۱۱۰	۵-۱-۱ منابع آب زیرزمینی.....
۱۱۱	۵-۱-۲ آب شور.....

- ۱۱۲ ۵-۱-۳ آب آلوده
- ۱۱۲ ۵-۱-۴ تکنولوژی‌های تصفیه‌ی آب
- ۱۱۴ ۵-۲ جداسازی غشایی
- ۱۱۶ ۵-۳ نمک‌زدایی
- ۱۱۶ ۵-۳-۱ تامین انرژی برای نمک‌زدایی
- ۱۱۸ ۵-۳-۲ تقطیر - روش‌های گرمایی
- ۱۱۹ ۵-۳-۳ اسمز معکوس
- ۱۲۳ ۵-۳-۴ غشاهای اسمز معکوس
- ۱۲۵ ۵-۳-۵ انرژی‌های تجدیدپذیر برای نمک‌زدایی
- ۱۲۹ ۵-۳-۶ ساز و کار و مسائل سرویس و نگهداری
- ۱۳۰ ۵-۴ ضد عفونی
- ۱۳۰ ۵-۴-۱ تکنولوژی‌های ضد عفونی کردن
- ۱۳۱ ۵-۴-۲ ضد عفونی با نور فرابنفش
- ۱۳۲ ۵-۵ مطالعه‌ی بیشتر
- فصل ششم: نمک‌زدایی و گرم کردن آب با گرمای خورشید** ۱۳۵
- ۱۳۶ ۶-۱ تقطیر خورشیدی برای تامین آب پاکیزه
- ۱۳۷ ۶-۲ آب گرم کردن به وسیله‌ی خورشید
- ۱۳۹ ۶-۳ مطالعه‌ی بیشتر
- فصل هفتم: تصفیه آب استفاده شده** ۱۴۱
- ۱۴۲ ۷-۱ منابع اصلی آب مصرف شده
- ۱۴۴ ۷-۲ تصفیه آب مصرف شده
- ۱۴۵ ۷-۲-۱ مخزن‌های گنداب
- ۱۴۶ ۷-۲-۲ سیستم‌های لجن فعال
- ۱۴۸ ۷-۲-۳ تجزیه بی‌هوازی
- ۱۵۰ ۷-۲-۴ جداسازی غشایی
- ۱۵۰ ۷-۲-۵ ضد عفونی
- ۱۵۱ ۷-۳ جوانب مرتبط با انرژی
- ۱۵۳ ۷-۴ مطالعه بیشتر

بخش ۳

تکنولوژی انرژی تجدیدپذیر

فصل هشتم: انرژی خورشیدی فوتولتاییک	۱۵۸
۸-۱ استفاده از خورشید	۱۵۹
۸-۱-۱ تابش	۱۵۹
۸-۱-۲ تابش افقی جهانی	۱۶۰
۸-۲ پارامتری‌های مشخصه خورشیدی فوتولتاییک	۱۶۲
۸-۳ تبدیل نور خورشید به الکتریسیته	۱۶۵
۸-۳-۱ تکنولوژی‌های فوتولتاییک	۱۶۵
۸-۳-۲ بازده مائول‌های خورشیدی فوتولتاییک	۱۶۸
۸-۳-۳ وابستگی به دما	۱۷۱
۸-۳-۴ سیستم‌های فوتولتاییک شناور	۱۷۳
۸-۳-۵ توسعه تکنولوژی	۱۷۳
۸-۴ سیستم‌های سلول‌های خورشیدی	۱۷۴
۸-۵ نیازمندی‌های عملیات‌های آبی به انرژی	۱۷۵
۸-۶ مطالعه بیشتر	۱۷۶
فصل نهم: باد	۱۸۰
۹-۱ ویژگی‌های پایه‌ای توربین‌های بادی	۱۸۱
۹-۲ بازده انرژی بادی	۱۸۴
۹-۳ مطالعه بیشتر	۱۸۶
فصل دهم: مدیریت تولید انرژی متغیر	۱۸۸
۱۰-۱ مشخصه‌های تولید مقطع	۱۹۰
۱۰-۱-۱ ضریب ظرفیت	۱۹۰
۱۰-۱-۲ پروفایل بار	۱۹۲
۱۰-۱-۳ نم‌زدایی مقطع	۱۹۵
۱۰-۲ ذخیره‌سازی انرژی	۱۹۶
۱۰-۲-۱ نیازمندی‌های ذخیره‌سازی در کشورهای کم درآمد در نقایسه با کشورهای	
پر درآمد	۱۹۷

- ۱۹۷..... ۱۰-۲-۲ تکنولوژی‌های ذخیره‌سازی
- ۲۰۰..... ۱۰-۳ ذخیره‌سازی به وسیله باتری
- ۲۰۲..... ۱۰-۳-۱ باتری‌های سرب-اسیدی
- ۲۰۳..... ۱۰-۳-۲ باتری‌های لیتیومی
- ۲۰۴..... ۱۰-۳-۳ باتری‌های آب شور
- ۲۰۶..... ۱۰-۳-۴ باتری‌های جریان‌ی
- ۲۰۸..... ۱۰-۴ پارامترهای یک باتری
- ۲۰۸..... ۱۰-۴-۱ ظرفیت باتری
- ۲۱۰..... ۱۰-۴-۲ برآورد اندازه باتری
- ۲۱۱..... ۱۰-۴-۳ رده‌بندی باتری‌ها
- ۲۱۲..... ۱۰-۴-۴ کنترل‌کننده شارژ باتری
- ۲۱۲..... ۱۰-۵ ذخیره انرژی به وسیله هیدروژن
- ۲۱۴..... ۱۰-۵-۱ الکترولیز آب
- ۲۱۹..... ۱۰-۶ آب پمپاژ شده و تمیز به عنوان ذخیره ساز
- ۲۲۰..... ۱۰-۷ ژنراتورهای دیزل به عنوان پشتیبان
- ۲۲۰..... ۱۰-۸ هزینه ذخیره‌سازی انرژی
- ۲۲۱..... ۱۰-۹ مطالعه بیشتر
- ۲۲۳..... فصل یازدهم: سیستم‌های مدیریت انرژی
- ۲۲۴..... ۱۱-۱ نقش سیستم مدیریت انرژی
- ۲۲۵..... ۱۱-۲ بارها

بخش ۴

اعمال انرژی تجدیدپذیر به عملیات‌های آبی

- ۲۳۲..... فصل دوازدهم: اقتصاد
- ۲۳۲..... ۱۲-۱ هزینه‌های انرژی‌های تجدیدپذیر
- ۲۳۳..... ۱۲-۱-۱ هزینه‌های سرمایه‌ای اولیه در مقابل هزینه‌های سوخت
- ۲۳۴..... ۱۲-۱-۲ هزینه‌ی تراز انرژی
- ۲۳۶..... ۱۲-۱-۳ هزینه تراز سیستم‌های فوتوولتائیک خورشیدی

۲۳۷	۱۲-۱-۴ هزینه تراز انرژی بادی.....
۲۳۸	۱۲-۲ فرصت‌های شغلی.....
۲۴۱	۱۲-۲-۱ ایجاد شغل در صنعت خورشیدی.....
۲۴۲	۱۲-۲-۲ ایجاد شغل در صنعت (انرژی) بادی.....
۲۴۳	۱۲-۳ تامین سرمایه.....
۲۴۴	۱۲-۳-۱ تامین مالی نواحی روستایی.....
۲۴۶	۱۲-۳-۲ مدل‌های پرداخت.....
۲۴۷	۱۲-۴ مطالعه‌ی بیشتر.....
۲۴۹	فصل سیزدهم: استفاده از اراضی برای انرژی.....
۲۵۴	فصل چهاردهم: معرفی چند عملیات‌های آبی مبتنی بر انرژی‌های تجدیدپذیر.....
۲۵۴	۱۴-۱ کشورهای پر درآمد در مقایسه با کشورهای در حال توسعه.....
۲۵۶	۱۴-۲ آبیاری و پمپاژ آب.....
۲۵۷	۱۴-۳ شیرین کردن آب {نمک‌زدایی}.....
۲۵۸	۱۴-۳-۱ تأسیسات آب شیرین کنی فوتوولتائیک خورشیدی.....
۲۶۴	۱۴-۳-۲ تأسیسات نمک‌زدایی بر پایه‌ی انرژی بادی.....
۲۶۷	۱۴-۴ مطالعه‌ی بیشتر درباره‌ی نمک‌زدایی و انرژی‌های تجدیدپذیر.....

بخش ۵

آینده

۲۷۱	فصل پانزدهم: چشم انداز سال ۲۰۳۰ و سال‌های بعد از آن.....
۲۷۲	۱۵-۱ پیش‌بینی اوضاع اجتماعی انرژی‌های تجدیدپذیر.....
۲۷۴	۱۵-۲ تحقیق و توسعه‌ی آب شیرین کن‌ها.....
۲۷۴	۱۵-۳ مسائل نرم (مسائل انسانی).....
۲۷۵	۱۵-۳-۱ تحصیل و آموزش.....
۲۷۶	۱۵-۴ مطالعه‌ی بیشتر.....

پیوست ۱: واژه نامه.....	۲۷۷
پیوست ۲: تبدیل واحدها.....	۲۸۴
توان و انرژی.....	۲۸۴
فشار.....	۲۸۵
محتوای گرمایی.....	۲۸۵
حجم، مساحت و طول.....	۲۸۶
جرم.....	۲۸۷
غلظت.....	۲۸۷
کاربرد آب در تولید انرژی.....	۲۸۸
مصرف انرژی در عملیات‌های آبی.....	۲۸۸
کلمات اختصاری {سرواژه‌ها}.....	۲۸۹

مقدمه

برای قابل دستیابی کردن آب پاک، بکارگیری مهندسان برق حرفه‌ای برای تامین جریان الکتریسیته لازم است، ولی کافی نیست. متخصصین آب، مشتری‌های کلیدی، موسسات مالی، تامین‌کنندگان بهداشت و محصلین باید با این قضیه ارتباط برقرار کرده و با یکدیگر همکاری کنند.

یک سیستم برای آب شرب از بخش‌های زیادی تشکیل شده که می‌بایست با هم و به طور قابل اعتمادی کار کنند. مشتری لازم نیست که در گرداندن و نگهداری متخصص باشد لیک باید بتواند اقدامات اولیه برای به فعالیت وا داشتن سیستم را انجام دهد.

در فصل ۲ توضیح داده شده است که توسعه انرژی‌های تجدیدپذیر یکی از بخشی‌های کلیدی در راستای دستیابی به اهداف اقلیمی هستند. همچنین این توسعه، سلامت عمومی در مناطقی که از نظر سلامت ضعیف هستند را بهبود می بخشد. آب شرب یک فاکتور کلیدی است، و تهدیدهای سلامتی مربوط به آلودگی هوا نیز هنگامی که سوخت‌های جامد و نفت سفید با انرژی خورشیدی فوتو ولتایک و توربین‌های بادی جایگزین شوند محدود می‌شوند. اهداف توسعه‌ی پایدار سازمان ملل همگی به میزان زیادی به دسترسی به انرژی و آب وابسته است.

توسعه‌ی انرژی‌های تجدیدپذیر چیزی دست کم از یک انقلاب ندارد و برای اولین بار فرصتی واقع‌بینانه در راستای در دسترس قرار دادن برق برای همه ایجاد می‌کند. تکنولوژی مانع اصلی نیست بلکه موانع انگیزه‌های سیاسی، تامین مالی و تحصیلات

هستند که در **فصل ۳** به آن پرداخته شده است.

در **فصل‌های ۴ تا ۱۴**، فرآیند و سیستم‌هایی که آب شرب و انرژی تجدیدپذیر تولید می‌کنند توضیح داده می‌شوند تا متخصصین آب و متخصصین انرژی بهتر همدیگر را درک کنند. تامین مالی یکی از شروط برای موفقیت است، به همین دلیل، بعضی از روش‌های تامین مالی در **فصل ۱۲** تشریح شده است.

در **قسمت دوم (فصل‌های ۴ تا ۷)** تکنولوژی‌های تصفیه مختلفی برای اقدامات با مقیاس کوچک تشریح می‌شود. پمپ کردن، که در **فصل ۴** به آن پرداخته شده، یک عمل کلیدی در تقریباً هر عملیات آبرسانی و تصفیه‌ای می‌باشد. تکنولوژی‌های شیرین‌سازی و غشاها با سرعت بسیار بالایی در حال رشد هستند و فرصت‌های جدید و واقع‌بینانه‌ای برای تصفیه آب‌های زیرزمینی یا سطحی ارائه می‌کنند، که در **فصل ۵** به آنها پرداخته می‌شود. در مناطق ساحلی می‌توان آب دریا را با قیمت‌های واقع‌بینانه‌ای شیرین کرد. بیشتر مناطق روستایی در حال توسعه‌ی امروز که به آب دسترسی ندارند گرم هستند و از لحاظ تابش خورشید بسیار غنی می‌باشند. این باعث می‌شود که بتوان با تکنولوژی‌های حرارتی ساده، آب را بدون استفاده از برق تولید کرد. این گزینه در **فصل ۶** توضیح داده می‌شود و باید از آن به عنوان متممی بر فرآیندهایی که توسط الکتریسته تامین می‌شوند یاد کرد. آب مصرف شده را می‌توان با تکنولوژی‌های زیادی تصفیه کرد، در **فصل ۷** به طور اجمالی به آن پرداخته می‌شود.

قسمت سوم (فصل‌های ۸ تا ۱۱) سیستم‌های انرژی‌های تجدیدپذیر را توصیف می‌کند. انرژی خورشیدی فوتو ولتایک پتانسیل این را دارد که در کشورهای گرم و یا آفتابی تکنولوژی غالب محسوب شود، همان‌طور که در **فصل ۸** درباره‌ی آن توضیح داده می‌شود. انرژی بادی می‌تواند متمم جالبی برای انرژی خورشیدی فوتو ولتایک در مناطق زیادی باشد، در **فصل ۹** راجع به آن بحث می‌کنیم. البته که سلول‌های خورشیدی فقط در طول روز انرژی تولید می‌کنند، ولی انرژی بادی و انرژی خورشیدی در کنار یکدیگر می‌توانند منبع انرژی قابل اتکاتری باشند. هنوز هم، انرژی باد و همین‌طور انرژی خورشیدی منابع متناوب تامین انرژی هستند. بنابراین،

نوعی ذخیره‌ی انرژی برای مواقعی که خورشید در آسمان نیست یا باد نمی‌وزد نیاز است تا انرژی تولید کند. این چالش ذخیره‌سازی عنوان فصل ده می‌باشد. در آخر، تمامی اجزاء سیستمی که با استفاده از انرژی‌های تجدیدپذیر آب تولید می‌کنند نیاز به سیستمی دارند که تمامی واحدها را مدیریت نموده و جریان انرژی در سیستم را نیز هماهنگ نمایند. این موضوع در فصل ۱۱ توضیح داده می‌شود.

قسمت چهارم کتاب "بکارگیری انرژی‌های تجدیدپذیر برای عملیات‌های آبی" (فصل‌های ۱۲ تا ۱۴) که بر روی مسائل "نرم" تمرکز می‌کند. تامین مالی انرژی‌های تجدیدپذیر در مناطق با درآمد کم مسئله‌ای حیاتی است که می‌تواند بزرگترین مانع برای تولید انرژی پاک و آب شرب در دسترس همگان باشد. این موضوع در فصل ۱۲ توصیف می‌شود. هر سیستم انرژی الکتریکی نیاز به زمین دارد و این جنبه در فصل ۱۳ تشریح می‌شود. و در فصل ۱۴ نیز، چند مورد از منابع و فرآیندهای تصفیه‌ی آب که از انرژی‌های تجدیدپذیر نیرو می‌گیرند توضیح داده شده است.

قسمت پنجم رویکردی آینده‌نگر دارد، در فصل ۱۵ می‌توانیم به خود اجازه دهیم تا موارد غیر قابل پیش‌بینی را پیش‌بینی کنیم، با نگاهی به سال ۲۰۳۰. اگر آن را چند سال بعد بخوانید، ممکن است سرگرم‌کننده باشد.

آب و انرژی - یک حق انسانی

۱

بخش

- فصل اول: آب و انرژی - برای همه
- فصل دوم: به سوی اهداف پایداری
- فصل سوم: انقلاب انرژی‌های تجدیدپذیر

آب شرب و انرژی پایه‌ای (برق) عناصر کلیدی یک زندگی مطلوب هستند. این مسئله برای بسیاری از مردم جهان از اهمیت کمی برخوردار است. با این حال، در سال ۲۰۱۸، بیش از ۶۵۰ میلیون نفر به آب شرب، و نزدیک به یک میلیارد نفر به انرژی الکتریکی دسترسی نداشتند تا بتوانند چراغ خانه را روشن کرده، غذا بپزند و به آب شرب دسترسی داشته باشند.

در کتاب حاضر، به این ادعا پرداخته می‌شود که فرصت‌های بهتری نسبت به گذشته جهت تامین نیازهای اساسی بشر همچون آب و انرژی وجود دارد.

توسعه‌ی چشمگیر انرژی‌های تجدیدپذیر طی سال‌های گذشته، چشم‌اندازهای جدیدی را برای میلیون‌ها نفر به ارمغان آورده است. آن‌هایی که در مناطق دور افتاده، خارج از سیستم توزیع انرژی ملی زندگی می‌کنند، حال از یک فرصت حقیقی برای دسترسی به مزایای انرژی‌های پاک برخوردارند. این روند، فرصت‌های جدیدی را برای دستیابی به آب شرب ایجاد می‌کند و باعث می‌شود که مردم بتوانند از فقر رهایی یافته، با کمبود مواد غذایی مبارزه کرده، وضعیت بهداشت و سلامتی را بهبود بخشیده و از تحصیل نیز حمایت کنند.

سازمان ملل ۱۷ هدف گسترش توسعه‌ی پایدار را تعریف کرده است (SDGs). دو مورد از این اهداف مرتبط با انرژی پاک و آب شرب هستند. با این حال، بدون این دو مورد اساسی امکان رسیدن به ۱۵ هدف

دیگر به سختی ممکن خواهد بود.



فصل

آب و انرژی - برای همه

"در گذشته مادر من هر سه روز یک بار آب تهیه می‌کرد، حالا او من را مجبور می‌کند که سه بار در روز خودم را با آب بشویم."

یک پسر ۶ ساله در پٹنم پن {پایتخت کمبوجیه}، بعد از توزیع آب

هدف این کتاب این است که تشریح کند چگونه انرژی خورشیدی فوتوولتاییک (PV) و انرژی بادی پتانسیل بالایی در تامین آب شرب برای دنیای در حال گسترش، مخصوصا نواحی‌ای که به شبکه‌ی توزیع متصل نیستند دارد. تکنولوژی‌های خارج از شبکه می‌توانند قسمت بزرگی از راه‌حل را تشکیل دهند، از استفاده‌ی در سطح یک خانه گرفته تا یک دهکده یا یک جامعه. سیستم‌های خارج از شبکه با مقیاس کوچک علاوه بر تامین روشنایی می‌توانند انرژی مورد نیاز برای پمپاژ جهت دسترسی به آب و فراوری و پالایش و استفاده‌ی دوباره از آن را فراهم کنند.

افزایش تسهیلات به منظور پرداخت هزینه‌های انرژی‌های تجدیدپذیر چشمگیر بوده و انرژی الکتریکی را حتی برای فقیرترین افراد هم قابل دستیابی کرده است. از سال ۲۰۱۰، هزینه‌ی تجهیزات کلیدی انرژی به شدت کاهش یافته: نورهای ال‌ای‌دی ۹۵٪، انرژی خورشیدی فوتوولتاییک ۶۰٪، و باتری‌های ذخیره‌سازی ۷۵٪ درصد

ارزان‌تر شده‌اند. حتی در حال حاضر نیز بهای انرژی‌های تجدیدپذیر "نوین" می‌تواند با روش‌های سابق تولید انرژی الکتریکی رقابت کند.

آب شرب مسئله‌ی مرگ و زندگی است. حتی امروزه هم عده‌ی کثیری از مردم از این نیاز اولیه بی‌بهره هستند. قابلیت استفاده از برق به منظور پمپ کردن و پالایش آب آلوده یکی از پیش‌نیازهایی است که متأسفانه به آن دسترسی نیست؛ به ازای هر هفت نفر یک نفر به انرژی الکتریکی دسترسی ندارد. امید است آگاهی از وجود این حقیقت که امروزه فرصت‌های بزرگ و واقع‌بینانه‌ای برای مردمی که خارج از شبکه‌ی توزیع زندگی می‌کنند بوجود بیاید.

۱-۱ آب شرب و انرژی برای همه

انجمن اقتصاد جهانی دهمین گزارش ریسک جهانی خود را در سال ۲۰۱۵ (<http://reports.weforum.org/global-risks-2015>) منتشر کرد. این گزارش توسط ۹۰۰ رهبر در دنیای سیاست، تجارت و زندگی مدنی درباره‌ی حیاتی‌ترین مسئله‌ی جهان منتشر شد که برای اولین بار بحران آب در مرکز توجه این گزارش قرار داشت. در سال ۲۰۱۴ آب به عنوان رتبه‌ی سوم در جدی‌ترین خطرهای تجارت و جامعه طبقه‌بندی شد. بحران‌های آبی در سال ۲۰۱۵ هم به شدت محتمل و هم به شدت تخریب‌کننده و ویرانگر معرفی شده‌اند. قرار گرفتن آب در بالاترین رتبه، نشان دهنده‌ی آشنایی رو به افزایش رهبران جهان از این امر است که کاهش منابع قابل اطمینان و پاکیزه‌ی آب تهدیدی جدی برای سلامت و دارایی فقرا و غنی‌ترین اقتصادها و همچنین خطری برای بزرگترین شهرها می‌باشد.

به ازای هر هفت نفر یک نفر از انرژی الکتریکی برخوردار نیست.

همچنین شایان ذکر است که گزارش انجمن اقتصاد جهانی طی طبقه‌بندی مجدد، آب را از یک خطر زیست محیطی به یک خطر اجتماعی تغییر داده است.

همچنین این مسئله که زیربنای تمامی فعالیت‌های انسانی از جمله تولید غذا، ماهیگیری، سلامت عموم جامعه، فعالیت‌های صنعتی و تولید برق به آب وابسته است برای رهبرهای جهان واضح و روشن شده است.

تکنولوژی‌های انرژی‌های تجدیدپذیر می‌توانند کمک شایانی به دسترسی جهانی آب و انرژی به شکلی تجدیدپذیر داشته باشند. در نواحی زیادی که با فقر انرژی مواجه‌اند منابع عظیم انرژی‌های تجدیدپذیر وجود دارد. در مناطقی مانند آسیا یا کشورهای جنوب صحرای آفریقا تابش خورشیدی وافر است. در بیشتر مناطق آفریقا بیش از ۳۰۰ روز آفتابی در سال وجود دارد (varadi et al., 2018) (وارادی و دیگران، ۲۰۱۸). مناطقی خشک مانند صحرای آفریقا و منطقه‌ی ساحل^۱ می‌توانند مناطق بزرگی را با انرژی خورشیدی تامین کنند.

در نواحی که به سرعت تبدیل به شهر می‌شوند ممکن است که شبکه‌ی توزیع برق وجود داشته باشد ولی همچنان نیاز است که با منابع انرژی غیرمرکزی همراه و تکمیل شوند. انرژی خورشیدی و بادی می‌توانند بخشی از تامین‌کننده‌های دوگانه‌ی انرژی باشند (انرژی غیر از شبکه‌ی توزیع، اعم از باد و خورشید).^۲ پر واضح است که در این صورت بین عوامل مختلف مانند افزایش شهرنشینی، افزایش جمعیت و توسعه اقتصادی که چگونگی ترکیب انرژی را معین می‌کند تداخل ایجاد می‌شود. در اهداف توسعه‌ی پایدار سازمان ملل، آب شرب و انرژی برای همه، ارتباطی بسیار قوی با یکدیگر داشته و به میزان زیادی به انرژی خورشیدی فوتو ولتاییک و باد وابسته هستند. راجع به این موضوع، در فصل ۳ توضیحات بیشتری داده می‌شود.

انجمن اقتصاد جهانی: کمبود آب هم یک ریسک اجتماعی و هم یک ریسک زیست محیطی است.

۱. نام یک محدوده بین صحرای آفریقا و سودان Sahel region

۲-۱ دسترسی به آب شرب

بیش از ۶۵۰ میلیون نفر به آب شرب دسترسی ندارند. بدون آب شرب و بهداشت مردم گرفتار چرخه‌ای معیوب متشکل از فقر و بیماری می‌شوند. در فقیرترین جوامع جهان، بیشتر زن‌ها و بچه‌ها هستند که وقت ارزشمندشان را به منظور جستجوی آب و رفت و آمد جهت بدست آوردن آن از دست می‌دهند. بچه‌ها از بیماری‌های قابل پیشگیری همچون اسهال می‌میرند. فاضلاب‌های روباز که در وسط روستا جاری می‌شوند بسیار شایع هستند.

کمبود آب، آب بی‌کیفیت و بهداشت ناکافی تاثیری جدی بر سلامت غذا، چشم‌اندازهای تحصیلی و دیگر شرایط زندگی برای خانواده‌های فقیر در سرتاسر دنیا دارد. طبق تخمین سازمان ملل متحد، احتمالاً تا سال ۲۰۵۰ از هر چهار نفر، یک نفر در کشوری زندگی می‌کند که تحت شرایط کمبود شدید همیشگی یا دوره‌ای آب می‌باشد. سازمان ملل (www.un.org) بعضی از این چالش‌ها را به طور خلاصه بیان می‌کند:

۲,۱ میلیارد نفر به خدماتی که آب را به طور ایمن مدیریت می‌کند، دسترسی ندارند. (WHO/UNICEF, 2017)

۴,۵ میلیارد نفر به سیستم‌هایی که به طور ایمن خدمات تصفیه و بهداشت آب را مدیریت کند، دسترسی ندارند. (WHO/UNICEF, 2017)

هر سال ۳۴۰۰۰۰ کودک زیر ۵ سال به خاطر مریضی‌های اسهالی می‌میرند. (WHO/UNICEF, 2015)

از هر ده نفر، چهار نفر تحت تاثیر کمبود آب قرار می‌گیرد. (WHO)
۸۰٪ از پساب، بدون تصفیه شدن یا استفاده مجدد به طور مستقیم به اکوسیستم باز می‌گردد. (UNESCO, 2017)

بیش از ۶۵۰ میلیون نفر به آب شرب دسترسی ندارند.

پر واضح است که می‌بایست به طور همزمان به مسائل تامین و تصفیه آب پرداخته شود.

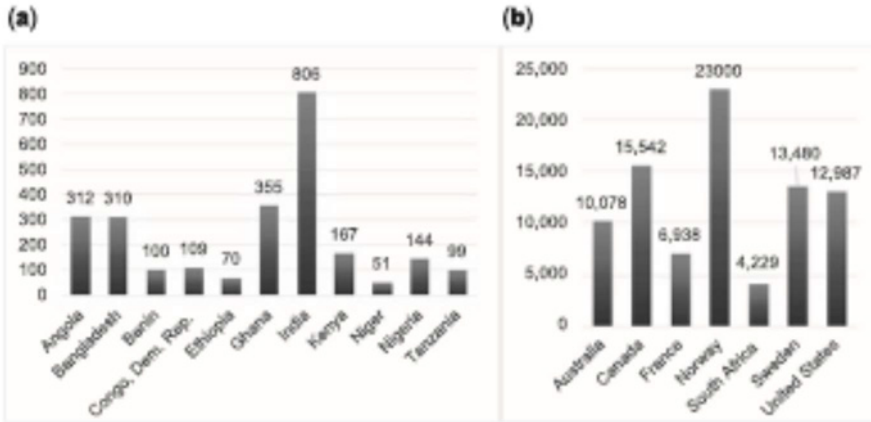
۳-۱ دسترسی به انرژی الکتریکی

امروزه بیش از یک میلیارد نفر در سرتاسر جهان قادر نیستند با کمک نیروی برق خانه‌هایشان را روشن کنند، غذا بپزند یا آب را در لوله‌ها جریان دهند (جونز و اولسون، ۲۰۱۷). غالب این دسته انسان‌ها در نواحی روستایی آفریقا و نواحی در حال توسعه‌ی آسیا زندگی می‌کنند. بیش از یک میلیارد نفر دیگر نیز از منابع انرژی قابل اطمینانی برخوردار نیستند (IEA, 2011). علاوه بر این، بیش از سه میلیارد نفر متکی به سوخت‌های جامد و نفت سفید برای آشپزی و گرمایش هستند (بانک جهانی، ۲۰۱۷). آلودگی هوای فضاهای بسته و باز ناشی از سوزاندن چوب و دیگر زیست توده‌ها سالانه باعث مرگ بیش از ۴ میلیون نفر می‌شود.

نزدیک به یک میلیارد نفر به انرژی الکتریکی دسترسی ندارند. یک میلیارد نفر دیگر نیز منابع انرژی قابل اطمینانی ندارد.

تنها در مناطق جنوب صحرای آفریقا، بیش از ۶۰۰ میلیون نفر به انرژی الکتریکی دسترسی ندارند که این تعداد حدود ۵۷٪ از جمعیت را تشکیل می‌دهد. نزدیک به ۸۰٪ از این مردم در نواحی روستایی زندگی می‌کنند. کمتر از ۲۵٪ از جمعیت روستایی از انرژی الکتریکی برخوردارند. در مقایسه، ۷۱٪ از ساکنین شهر نشین این کشورها از انرژی الکتریکی بهره‌مند هستند (IEA, 2017b). مانند کمبود آب پاک، کمبود الکتریسیته نیز دست مردم را با فقر می‌بندد، علی‌الخصوص خانم‌ها و دخترها، کسانی که باید سوخت تهیه کنند و کارهای خانه را انجام دهند. خبر خوب این که، با این حال، تلاش برای برق‌رسانی شدت گرفته به طوری که از سال ۲۰۱۴ رشد برق رسانی از رشد جمعیت بیشتر بوده است.

تعریف IEA (آژانس بین‌المللی انرژی) از دسترسی به الکتریسیته در سطح خانگی بوده و شامل حداقل میزان مصرف الکتریسیته، در بازه‌ای از ۲۵۰ kWh به ازای هر خانه در سال در مناطق روستایی تا ۵۰۰ kWh در خانه‌های شهری است. انرژی تامین شده باید قابل اعتماد و مقرون به صرفه باشد. مقدار اولیه‌ی مصرف الکتریسیته باید با گذشت زمان، هم راستا با توسعه‌ی اقتصادی و افزایش میزان درآمد افزایش یابد، تا نشان‌دهنده‌ی استفاده از خدمات انرژی گسترده‌تری باشد. (IEA/هند، ۲۰۱۵) برای همه واضح و شناخته شده است که رشد اقتصادی رابطه‌ی بسیار نزدیکی با دسترسی به انرژی دارد. مصرف انرژی الکتریکی در آفریقا، به ویژه در مناطق جنوب صحرای آفریقا، و در جنوب آسیا به طرز آزاردهنده‌ای با کشورهایی که درآمدهای بالایی دارند در تضاد است. در کشورهای واقع در جنوب صحرای آفریقا میانگین سالانه‌ی برق تولیدی در سال ۲۰۱۲، ۴۸۱ kWh/capita (کیلووات ساعت به ازای هر نفر) بوده است در حالی که میانگین سازمان همکاری و توسعه اقتصادی (OECD) ۷۹۹۵ و میانگین جهانی ۳۱۲۶ kWh/capita می‌باشد. (Varadi و دیگران ۲۰۱۸، بانک جهانی ۲۰۱۴). همانطور که در شکل ۱-۱ مشاهده می‌کنید، این تضاد هنگامی که شکل‌ها به صورت مجزا مقایسه می‌شوند بدتر نیز می‌شود. در جدول ۱-۱ پژوهش وارادی و همکاران که از داده‌های بانک جهانی بهره گرفته است این موضوع مفصل ارائه شده است. جنوب صحرای آفریقا تنها ناحیه‌ای در دنیا است که دسترسی به برق به ازای هر نفر در آن روند نزولی دارد (طبق منابعی که قبلاً ذکر شدند) لیکن بهتر است بدانید که حدود ۱۵۰ میلیون نفر از ساکنین مناطق جنوب صحرای آفریقا از سال ۲۰۰۰ تا کنون به برق دسترسی پیدا کرده‌اند. (آژانس بین‌المللی انرژی‌های تجدیدپذیر، ۲۰۱۶d)



شکل ۱-۱ میزان مصرف سالانه‌ی انرژی (کیلو وات ساعت/به ازای هر نفر/سالانه) در بعضی کشورهای با درآمد پایین (a) با کشورهای با درآمدهای بالا (b) مقایسه شده‌اند. توجه کنید که تغییرات موجود در کشورهای تصویر سمت چپ بسیار کمتر از تغییرات کشورهای تصویر سمت راست است. به تفاوت میان سوئد، نروژ، آمریکا و کانادا دقت کنید. در آمریکا و کانادا بیشتر سوخت‌های فسیلی و گاز طبیعی برای تولید انرژی استفاده می‌شوند، در حالی که انرژی الکتریکی به طور گسترده‌تری در اسکاندیناوی استفاده می‌شود. داده‌ها از بانک جهانی در سال ۲۰۱۴ گرفته شده است.

تولید سالانه‌ی الکتریسیته در کشورهای جنوب صحرای آفریقا کمتر از یک ششم میانگین جهانی و تقریباً یک هفدهم میانگین OECD می‌باشد.

پیام بانک جهانی (۲۰۱۷) واضح است: "در کشورهای زیادی که دسترسی به الکتریسیته کم است، هم راه‌حل‌های خارج شبکه‌ای و هم راه‌حل‌های داخل شبکه‌ای برای دستیابی به دسترسی جهانی به الکتریسیته حیاتی هستند - اما آن‌ها می‌بایست با محیطی توانمند و با سیاست‌های درست، انستیتوها، برنامه‌ریزی استراتژیک، مقررات انگیزشی پشتیبانی شوند."

دسترسی به انرژی الکتریسیته به شدت برای دستیابی به آب شرب مهم است. برای مردم ساکن در دور دست و نواحی روستایی یا در نواحی فقیر در حال تبدیل شدن به شهر که به سرعت رو به گسترش نیز می‌باشند، شبکه‌های توزیع برق خارج

از دسترس هستند. آن‌ها نمی‌توانند منتظر بمانند تا شبکه‌ی الکتریسیته‌ی مرسوم کامل شود تا آن‌ها نیاز به منبع آب یا چالش‌های بهداشتی خود را برطرف کنند.

۴-۱ جدا کردن آب از انرژی با استفاده از تجدیدپذیرها

وابستگی نزدیک بین آب، انرژی و غذا، و پیوند میان آب، انرژی و غذا مدت‌هاست که شناخته شده است. در کتاب پیشین (Olsson, 2015) پیوند آنها و عواقب آن به صورت مشروح توضیح داده شده‌اند. این کتاب نشان می‌دهد که چگونه انرژی تجدیدپذیر در ترکیب با عملیات‌های آبی غیرمتمرکز می‌تواند این وابستگی‌ها را بزداید و چگونه با چالش‌هایی که به خاطر آب و هوا به وجود آمده‌اند مانند افزایش جمعیت، کمبود آب و کیفیت پایین آن مقابله نماید.

۴-۱-۱ رد پای آب در انرژی‌های تجدیدپذیر

انرژی‌های تجدیدپذیر می‌توانند امنیت آب و انرژی را بهبود بخشند. ارگان‌های تولید انرژی به شدت به آب برای استخراج و تولید انرژی متکی هستند، که شامل ۱۵٪ برداشت جهانی آب می‌شود. در یک دنیای محدود به آب، درگیری با برخی از مصرف‌کننده‌های نهایی، مانند کشاورزان در حال شدت گرفتن است و تحت تاثیر تغییرات آب و هوایی بیشتر هم خواهند شد. از آنجایی که میزان دسترسی به آب یک خطر رو به رشد برای امنیت انرژی تلقی می‌شود، توسعه بخش‌های تولید انرژی بدون استفاده از آب هر روز ضرورت بیشتری پیدا می‌کند.

استخراج، حمل و نقل و فرایند آماده‌سازی سوخت‌های فسیلی با استفاده از آب صورت می‌گیرند. نیروگاه‌های حرارتی رایج، مانند نیروگاه‌های هسته‌ای، نیروگاه‌هایی که با گاز طبیعی یا ذغال سنگ کار می‌کنند، مقدار عظیمی آب برای انجام پروسه خنک‌سازی مصرف می‌کنند (اولسون، ۲۰۱۵، فصل ۱۳). میزان برداشت و همین‌طور میزان مصرف آب چشمگیر است.

زیبایی انرژی‌های تجدیدپذیر به این است که نه تنها به شدت ردپای

کربن (سوخت‌های کربنی) بلکه رد پای آب را نیز کم‌رنگ می‌کنند. انرژی خورشیدی فوتو ولتاییک و بادی تا ۲۰۰ برابر کمتر از گزینه‌های رایج نیاز به مصرف آب دارند (IRENA, 2015b/da) و این قابلیت صرفه‌جویی چشمگیر تقریباً بر همگان آشکار شده است. در انرژی خورشیدی فوتوولتاییک اثر کمی از وابستگی به آب دیده می‌شود زیرا از آب برای تولید انرژی استفاده نمی‌گردد. نیاز آبی، که حدوداً ۱۱۸ litres/MWh (لیتر بر مگاوات ساعت) تخمین زده می‌شود، از تولید سلول‌های فوتو ولتاییک و تعمیر و نگهداری ماژول‌های آن بدست می‌آید. (WEC, 2016, chapter 8). انرژی بادی نیز قطعاً یک منبع با سطح تولید دی اکسید کربن بسیار پایین است، و توربین‌های آن نیز هنگام کار هیچ نیازی به آب ندارند.

ردپای آب در انرژی فوتوولتاییک و انرژی بادی بسیار کم‌رنگ است.

۲-۴-۱ انرژی‌های تجدیدپذیر در مقیاس کوچک

مسئله‌ی اصلی مورد بحث در اینجا - آب شرب و انرژی برای همه - و پتانسیل عظیم انرژی‌های تجدیدپذیر است که توسط پیشرفت‌های تکنولوژی در سال‌های اخیر ممکن گشته‌اند. در سرتا سر جهان، انرژی‌های تجدیدپذیر با کربن پایین به مرور به عنوان استراتژی اصلی در راستای حمایت از طبیعت و تولید انرژی پاک و کاهش فقر پدیدار می‌شوند. پیشرفت انرژی خورشیدی که هزینه چندان‌ی نیز ندارد و همین‌طور تکنولوژی بادی بعنوان یک جایگزین با پتانسیل بالا در نظر گرفته شده‌اند، که زیرساختی الکتریکی متشکل از شبکه‌ای از خوشه‌های سیستم توزیع و تولید محلی را به ارمغان می‌آورند. تأکیدات اشاره شده در این کتاب به منظور نشان دادن این مطلب است که چگونه انرژی غیر متمرکز حاصل از منابع تجدیدپذیر و منابع آب غیرمتمرکز و تاسیسات تصفیه‌ی فاضلاب فرصت‌های جدید و امیدبخشی برای مردمی که خارج از سیستم‌های پیشرفته‌ی امروزه زندگی می‌کنند ایجاد می‌کند.

انرژی‌های تجدیدپذیر راه‌حلی قابل اعتماد، مقرون به صرفه و مقیاس‌پذیر ارائه می‌کنند. آن‌ها در هسته مرکزی هر استراتژی که اهداف آب و هوایی و در عین حال اهداف رشد اقتصادی، رفاه، تولید ارزش داخلی و تولید اشتغال را کنار هم دنبال می‌کنند قرار دارند. هر کشور دارای پتانسیل انرژی‌های تجدیدپذیر است. یکی از مزایای اصلی انرژی خورشیدی فوتو ولتایک این است که حداقل یا حداکثری برای ابعاد پروژه وجود ندارد. می‌توان مقیاس آن را با توجه به نیاز و نوع مصرف‌کننده تطبیق داد. انرژی خورشیدی فوتو ولتایک می‌تواند برای تامین انرژی پروژه‌های خیلی کوچک تا سیستم‌های خیلی بزرگ همگانی استفاده شود.

از چند کیلووات گرفته تا چند صد مگاوات. انرژی خورشیدی فوتوولتایک در حال حاضر جذاب‌ترین گزینه برای شبکه‌های کوچک (به ۳،۲ نیز مراجعه فرمایید) برای روستاهای کوچک می‌باشد. (REN21,2017a).

انرژی تجدیدپذیری که توسط انرژی خورشیدی فوتو ولتایک یا باد تامین می‌شود اثر عمیقی روی آبرسانی و تامین آب و تصفیه‌ی آب در دهه‌های بعدی خواهد داشت. هر مصرف‌کننده خانگی به دو نوع انرژی نیاز خواهد داشت: انرژی الکتریکی برای روشنایی، ماشین‌آلات، پمپ‌ها، تصفیه‌ی آب و دیگر تجهیزات و استفاده‌ی گرمایشی از انرژی خورشیدی برای (۱) مصارفی مانند آشپزی و (۲) راحتی محیطی، بسته به محلی که خانه در آن قرار دارد.

در اینجا به توضیح این که چگونه ۳ نوع انرژی تجدیدپذیر یعنی انرژی خورشیدی فوتو ولتایک، انرژی بادی و گرمایش خورشیدی این نیازها را برطرف خواهند کرد می‌پردازیم. در نظر داشته باشید که از انرژی خورشیدی به طور مستقیم برای خنک‌سازی از طریق فرآیند حرارتی در شرایط مختلف به صورت امتحانی استفاده شده، ولی تاکنون به طور کامل رضایت‌بخش نبوده است.

بیوگاز (زیست گاز) یک منبع انرژی مهم و دوست دار محیط زیست است، و خیلی از مناطق روستایی به آن وابسته هستند. در این کتاب از زیست گاز به عنوان یک فرآورده‌ی جانبی از تصفیه‌ی آب مصرف شده یاد می‌شود، ولی به طور خاص توجهی به تولید زیست گاز به عنوان یک منبع انرژی معطوف نمی‌گردد. ما عمداً در

اینجا از بعضی از تکنولوژی‌های انرژی، مانند انرژی زمین گرمایی، انرژی گرمایی متمرکز خورشیدی و انرژی بادی در مقیاس بزرگ چشم پوشی می‌کنیم. در واقع، رشد زیست انرژی، انرژی خورشیدی متمرکز و انرژی زمین گرمایی فقط ۰.۴٪ از رشد ظرفیت انرژی‌های تجدیدپذیر در سال ۲۰۱۶ را به خود اختصاص داده‌اند (IEA, 2017b).

در این کتاب، پتانسیل راه‌حل‌های مقیاس کوچک که می‌توانند به طور بالقوه مورد استفاده خانگی، روستاهای کوچک و یا حتی زیرمجموعه‌های یک شهر قرار گیرند توصیف می‌شوند. طبیعتاً، انرژی آبی مقیاس کوچک می‌تواند به عنوان یک منبع انرژی جایگزین در نظر گرفته شود. این کار در حال حاضر در مناطقی که از منابع آبی مطلوبی برخوردارند انجام می‌شود ولی در مناطقی که با کمبود آب مواجه‌اند در دسترس و قابل اجرا نیست. مناطقی که با کمبود آب مواجه هستند یا رعایت اصول بهداشتی در آنجا به مقدار کافی انجام نمی‌شود مطمئناً مناطقی نیستند که انرژی برقآبی در آن‌ها یک جایگزین محسوب شود. از آن جایی که تمرکز ما روی مناطق کم آب است، برای بحثی که در حال حاضر داریم از انرژی برقآبی صرف نظر می‌کنیم.

۳-۴-۱ تامین آب توسط انرژی‌های تجدیدپذیر

آب یک عنصر حیاتی برای یک زندگی درخور و رشد و توسعه پایدار است. زمانی که نیازهای اولیه‌ی وابسته به انرژی الکتریکی، مانند روشنایی و تولید درمقیاس کم برطرف شوند، درب‌های جدیدی به روی ما باز خواهند شد. انرژی تجدیدپذیر هم اکنون نیز برای برطرف کردن نیاز در قسمت‌های زیادی از چرخه‌ی آب استفاده می‌شود.

پمپ‌های خورشیدی می‌توانند آب مصرفی برای آشامیدن و آبیاری گیاهان را مهیا کرده، دسترسی به آب لوله‌کشی را افزایش، آسیب‌پذیری در برابر بارش‌های ناگهانی را کاهش داده و در نتیجه بازدهی و سود را افزایش دهند. انرژی‌های تجدیدپذیر می‌توانند نیازهای ایجاد شده در طول چرخه‌ی تامین آب

را نیز برطرف کنند، از جمله شیرین کردن آب، استفاده مجدد و بازچرخانی و تصفیه فاضلاب که بدین ترتیب نقش مستقیمی در راستای دستیابی به آب و انرژی ایفا می کنند.

یکی از جنبه‌های مهم این است که انرژی خورشیدی فوتو ولتاییک به طور رایگان سوخت خود را از خورشید می‌گیرد، در حالی که سوخت‌های سنتی قسمت عظیمی از هزینه‌های عملیاتی را به خود اختصاص داده‌اند. در مناطق زیادی از روستاهای آفریقا و مناطق در حال توسعه‌ی آسیا منابع عظیم انرژی خورشیدی وجود دارد و حتی با در نظر گرفتن این که هزینه‌ی شیرین کردن آب بسیار زیاد است، حتی هم اکنون نیز اذعان می‌شود که هزینه‌ی شیرین کردن آب به روش اسمز معکوس با انرژی خورشیدی در مقایسه با سوخت‌های فسیلی بسیار کمتر است. به همین ترتیب، انرژی بادی نیز سوختی "رایگان" از باد دریافت می‌کند. در هر مورد بررسی و تصمیم گرفته می‌شود که آیا باد یک متمم مناسب یا یک جایگزین برای انرژی خورشیدی فوتو ولتاییک می‌تواند باشد یا خیر.

به خاطر "رایگان" بودن سوخت تا جایی که مقدور است باید انرژی استخراج شود.

زمانی که سوخت رایگان است مفهوم ذخیره‌ی انرژی معنی جدید به خود می‌گیرد. داشتن سوخت "رایگان" به این معنی است که هر چقدر انرژی که مقدور است باید برای استفاده استخراج شود. این محدودیت انرژی است که تعداد وسایل، منبع آب یا ظرفیت تصفیه‌ی آب را محدود می‌کند.

۴-۴-۱ تجدیدپذیرها در مقابل انرژی‌های هسته‌ای و فسیلی

جنبه‌ی جالب انرژی خورشیدی فوتو ولتاییک و بادی این است که این گونه‌های انرژی در واقع تکنولوژی هستند و نه سوخت. آن‌ها نامحدود هستند، و بهای آن‌ها رابطه معکوسی با رواج کاربرد آن‌ها دارد. برای سوخت‌های فسیلی قضیه برعکس این

است: هر چقدر بیشتر استفاده شوند، گرانتر می‌شوند (Wesoff & Lacey, 2017). البته که باید به یاد داشته باشیم که سوخت‌های فسیلی به اقتصاد ما امکان رشد دادند. پیام امروز این است که اکنون جایگزین‌های واقع‌بینانه‌ای برای تولید انرژی وجود دارند.

آژانس بین‌المللی انرژی اتمی (IAEA) ویرایش ۲۰۱۷ سری گزارشات وضعیت بین‌المللی و چشم‌اندازهای انرژی اتمی خود را منتشر کرده است که به صورت زیر است:

سهم انرژی اتمی در تولید الکتریسیته‌ی جهان برای ده سال پیاپی، روندی کاهشی داشته است، تا جایی که در سال ۲۰۱۵ به ۱۰٫۵٪ رسید، با این حال "انرژی اتمی مسئول تقریباً یک سوم از تولید الکتریسیته‌ی با کربن پایین در جهان است". عبارتی دیگر، انرژی‌های تجدیدپذیر (از جمله آبی، خورشیدی و بادی) در مقایسه با انرژی اتمی بیش از دو برابر الکتریسیته تولید می‌کنند (۲۴٫۵٪) و فاصله‌ی آن‌ها رو به افزایش نیز می‌باشد.

پیش‌بینی می‌شود که تا سال ۲۰۲۲ انرژی‌های تجدیدپذیر بیش از سه برابر نسبت به نیروگاه‌های اتمی تولید خواهند کرد. آژانس بین‌المللی انرژی (IEA) در سال ۲۰۱۷ یک پیش‌بینی ۵ ساله برای انرژی‌های تجدیدپذیر منتشر کرد، که در آن رشد ظرفیت ۴۳٪ (920GW) را تا سال ۲۰۲۲ پیش‌بینی کرده است. آخرین پیش‌بینی صورت گرفته در سال گذشته که "یک تجدید نظر رو به بالای چشمگیر" را نشان می‌دهد، سهم اعظم آن متعلق به رشد مورد انتظار انرژی در چین و هند است (IEA, 2017b). تولید انرژی تجدیدپذیر غیرآبی در دهه‌ی گذشته رشد ۸ برابری داشته و احتمالاً تا سال ۲۰۲۲ یا کمی بعد از آن از انرژی اتمی پیشی نیز خواهد گرفت.

در سراسر جهان، در سال ۲۰۵۰ میلادی سرمایه‌گذاری بر روی سوخت‌های فسیلی به نصف میزان فعلی آن، یعنی از 3.4×10^{12} USD/year (دلار آمریکا در سال) به 1.5×10^{12} USD/year کاهش پیدا خواهد کرد. در حالی که در انرژی‌های غیرفسیلی در سال ۲۰۵۰ شاهد روندی معکوس خواهیم بود یعنی افزایشی ۵ برابری

از حدود 0.5×10^{12} USD/year (DNV GL, 2017) به 2.7×10^{12} USD/year انتقال سرمایه‌ها به انرژی‌های تجدیدپذیر، جایی که در آن سرمایه‌گذاری در ابتدای کار صورت می‌گیرد و باعث جایگزینی سیستمی خواهد شد که نسبت هزینه‌های عملیاتی (opex) به هزینه‌های سرمایه‌ای (capex) ۶۰ به ۴۰ است با سیستمی که عکس این شرایط را دارا می‌باشد و در آن نسبت هزینه‌های عملیاتی به هزینه‌های سرمایه‌ای ۴۰ به ۶۰ است. اگر بخواهیم عبارات بالا را در قالب دلار بیان کنیم، هزینه‌های عملیاتی جهانی از 2×10^{12} USD/year در سال ۲۰۱۵ به 1.5×10^{12} USD/year در سال ۲۰۵۰ کاهش پیدا خواهد کرد. متقابلاً، هزینه‌های سرمایه‌ای از 1.8×10^{12} USD/year در سال ۲۰۱۵ به 2.6×10^{12} USD/year در سال ۲۰۵۰ که حدوداً ۵۰٪ افزایش خواهد یافت. این اعداد هزینه‌های شبکه‌ی توزیع و سرمایه‌گذاری‌ها در راستای بهینه‌سازی را شامل نمی‌شوند.

حذف استفاده از نفت و گاز باعث کاهش ۱۳٪ از بودجه‌ی جهانی انرژی می‌شود زیرا استخراج معدن، حمل و نقل و پالایش این سوخت‌ها همگی فعالیت‌هایی با مصرف انرژی بالایی هستند. بازده بالاتر موتورهای الکتریکی نسبت به موتورهای احتراق داخلی نیز می‌تواند نیاز جهانی به انرژی را تا ۲۳٪ دیگر کاهش دهد.

۵-۴-۱ هزینه‌های توسعه‌ی انرژی الکتریکی

برخی از گزارش‌های اخیر تاکید می‌کنند که در فاصله‌ای کمتر از یک دهه، بخش انرژی دچار تغییرات شدیدی شده است. واضح است که ما به ابزارهایی نیاز داریم تا هزینه‌های منابع انرژی سنتی و تجدیدپذیر را مقایسه و ارزیابی کنیم، در غیر این صورت این قضیه به راحتی می‌تواند بیهوده و بی‌فایده باشد.

یک ابزار اقتصادی، تعدیل هزینه‌های انرژی است (LCOE) که به عنوان راهی برای بیان هزینه‌های طول عمر تقسیم بر انرژی تولید شده می‌باشد و به صورت cost/kWh (هزینه تقسیم بر کیلووات ساعت) بیان می‌شود. هزینه تراز انرژی، هزینه‌های سرمایه‌ای را به دو صورت استهلاک سالیانه و به صورت هزینه‌های متغیر نشان می‌دهد. هزینه تراز انرژی، قدمی رو به جلو در راستای مقیاسی برای

اندازه‌گیری هزینه‌های واقعی انرژی است. اگر چه محدودیت‌های خاص خود را نیز دارد. هزینه تراز به دوره استهلاک انتخاب شده و نرخ سود انتخاب شده نیز مرتبط است. این قضیه در فصل ۱-۱۲ بیشتر مورد بررسی قرار خواهد گرفت.

به علاوه، هزینه‌ی تراز مطلبی در رابطه با نیاز به انرژی ارائه نمی‌دهد. یک کیلووات ساعت انرژی خورشیدی در یک روز آفتابی تابستانی ارزش متفاوتی نسبت به یک کیلووات ساعت انرژی در زمستان در همان منطقه دارد، همان‌طور که یک لیتر آب در یک صحرای داغ ارزش متفاوتی نسبت به آب در یک منطقه‌ی ساحلی دارد. با این حال، می‌توان آن را بیانگر قدمی رو به جلو در مقایسه کمیت‌هایی که ذاتاً ارتباط دادن آن‌ها به یکدیگر دشوار است دانست.

یک مشاهده‌ی کلیدی در تحلیل تراز انرژی لازارد (Lazard, 2017) در نوامبر ۲۰۱۷ نتیجه زیر را به دنبال داشت: "از آن جایی که بهای هزینه‌ی تراز انرژی برای تکنولوژی‌های انرژی‌های جایگزین رو به کاهش است، در بعضی سناریوها بهای ساخت و اداره‌ی سیکل کامل یک پروژه‌ی تجدیدپذیر محور به تنهایی از هزینه‌های اداره‌ی یک تکنولوژی سنتی در تولید انرژی مانند ذغال سنگ یا هسته‌ای کمتر شده است، که انتظار می‌رود این باعث یک روند مداوم و پیشرفتی چشمگیر در ظرفیت انرژی‌های جایگزین گردد." این گزارش در ادامه بیان می‌کند که بهای جهانی تولید انرژی‌های تجدیدپذیر همچنان رو به کاهش هستند. هزینه‌ی تراز انرژی هم برای فوتو ولتاییک‌های مقیاس بزرگ هم برای تکنولوژی‌های بادی ساحلی حدود ۶٪ در سال ۲۰۱۷ کاهش داشته است.

عرصه‌ی انرژی دچار تغییرات عظیمی در کمتر از یک دهه شده است. انرژی خورشیدی فوتو ولتاییک و بادی در حال حاضر کم هزینه‌ترین منابع انرژی الکتریکی هستند.

همچنین مشاهده می‌شود که شکاف میان هزینه‌های تکنولوژی‌های جایگزین در تولید انرژی مانند فوتو ولتاییک‌های مقیاس بزرگ و انرژی بادی ساحلی در مقایسه

با تکنولوژی‌های سنتی تولید انرژی همچنان دارد وسیع‌تر می‌شود. به عنوان مثال، هزینه توسعه‌ی انرژی از ذغال سنگ ثابت بوده، در حالی که هزینه‌ی انرژی اتمی رو به افزایش است. هزینه تراز انرژی برای تولید انرژی اتمی نسبت به برآوردهای قبلی ۳۵٪ افزایش داشته است. دلیل آن افزایش هزینه‌های سرمایه‌ای در چند تاسیسات هسته‌ای در حال توسعه بوده است.

باید بر این تاکید شود که در نتیجه‌گیری‌ها، میانگین جهانی در نظر گرفته می‌شود. هزینه واقعی به طور قابل توجهی بین کشورهای مختلف بسته به قیمت ذغال سنگ، گاز، هزینه سرمایه‌ای و طبیعت منابع بادی و خورشیدی متفاوت است.

لازارد (Lazard, 2017) بر کاهش شدید هزینه فوتوولتاییک مقیاس بزرگ از متوسط ۳۵۹ USD/MWh (دلار آمریکا برای مگاوات ساعت) در سال ۲۰۰۹ به ۵۰ دلار آمریکا بر مگاوات ساعت در سال ۲۰۱۷ تاکید می‌کند، که یک کاهش ۸۶ درصدی است. این مقدار نصف هزینه تولید با ذغال سنگ است (۱۰۲ دلار آمریکا بر مگاوات ساعت). هزینه انرژی خورشیدی فوتوولتاییک در بعضی کشورهایی که از نظر تابش خورشیدی غنی هستند بسیار ارزان‌تر از این است. قراردادهایی با ارزش ۲۱ دلار آمریکا بر مگاوات ساعت در شیلی یا سی دلار آمریکا بر مگاوات ساعت در ابوظبی نوشته شده‌اند (IEA, 2017 a).

در همین بازه، میانگین جهانی هزینه تراز انرژی برای انرژی بادی از ۱۳۵ دلار آمریکا بر مگاوات ساعت به ۴۵ دلار آمریکا سقوط کرده است، یک سقوط ۶۷ درصدی. در مقیاس جهانی، امروزه انرژی بادی ارزان‌ترین انرژی الکتریکی است. میانگین جهانی هزینه تراز انرژی (LCOE) در نوامبر ۲۰۱۷ برای رایج‌ترین منابع انرژی در شکل ۲-۱ آورده شده است.

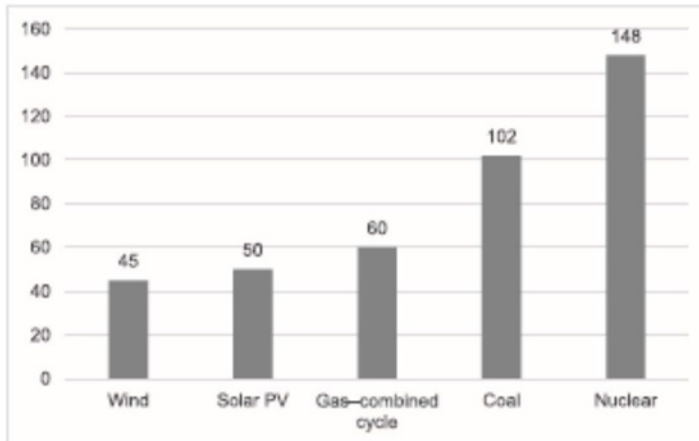


Figure 1.2 Global average of LCOE (USD/MWh) values in late 2017.
Data source: Lazard (2017).

{عبارت داخل شکل: wind: باد solar pv: خورشیدی فوتوولتاییک gas-combined cycle: سیکل ترکیبی گازی Coal: ذغال سنگ Nuclear: هسته‌ای}

شکل ۱-۲: میانگین جهانی هزینه تراز انرژی (دلار آمریکا بر مگاوات ساعت) در اواخر سال ۲۰۱۷. منبع داده‌ها: لازارد (۲۰۱۷)

۵-۱ عواقب تغییرات آب و هوا

یک از مهم‌ترین و حیاتی‌ترین اعانه‌های انرژی‌های تجدیدپذیر، تاثیر آن بر تغییرات آب و هوایی است که همچنین یکی از اهداف توسعه‌ی پایدار سازمان ملل نیز می‌باشد (به فصل دو مراجعه فرمایید). سیستم انرژی جهانی در حال حاضر حدوداً ۶۰٪ از انتشار گازهای گلخانه‌ای با منبع انسانی را به خود اختصاص می‌دهد (IEA, 2017a). مخصوصاً، تولید انرژی الکتریکی بیش از ۴۰ درصد از مجموع انتشار دی اکسید کربن حاصل از احتراق را نیز تشکیل می‌دهد. ردپای کربن بین تکنولوژی‌های مختلف بسیار متفاوت بوده و به نوع نیروگاه، قطعات، نوع سوخت و شدت پسماند بستگی دارد.

ترکیب بازدهی انرژی بهبود یافته و انرژی‌های تجدیدپذیر می‌توانند به دنیا شانس واقعی‌بینانه برای محدود کردن گرمایش جهانی به ۲ درجه‌ی سانتیگراد

بدهند. در همین حال، آلودگی هوا را از نظر منطقه‌ای و جهانی کاهش می‌دهند. که خود تاثیری عمیق بر سلامت خانوار و سلامت جهانی دارد.

تعویض سوخت‌های فسیلی با انرژی فوتوولتایک و توربین‌های بادی انتشار دی اکسید کربن در سرتاسر جهان را کاهش می‌دهد.

تولید انرژی از توربین‌های بادی و پنل‌های فوتو ولتایک درمقایسه با تولید انرژی از سوخت‌های فسیلی انتشار دی اکسید کربن را کاهش می‌دهند. تخمین گرمایش زمین به چند فاکتور بستگی دارد. برای انرژی خورشیدی فوتو ولتایک به کل تابش و تعداد ساعت‌های تابش خورشید، برای توربین‌های بادی به سرعت باد و درصد مواقعی که باد می‌وزد، همچنین ساختار مادی سلول‌های خورشیدی یا توربین‌های بادی به انتشار کربن کمک می‌کنند.

طبق NREL (آزمایشگاه ملی انرژی‌های تجدیدپذیر) (2012a)، انرژی خورشیدی فوتو ولتایک حدوداً $40 \text{ g co}_2/\text{kWh}$ {۴۰ گرم دی اکسید کربن به ازای هر کیلووات ساعت} تولید می‌کند. بیشتر تخمین‌ها برای توربین‌های بادی در بازه‌ی ۹-۱۸ گرم دی اکسید کربن به ازای هر کیلووات ساعت هستند. در مقایسه، الکتریسیته‌ی تولید شده از گاز طبیعی بین ۲۷۰ تا ۹۰۰ گرم دی اکسید کربن به ازای هر کیلووات ساعت و برای الکتریسیته‌ی تولید شده از ذغال سنگ بین ۶۰۰ تا ۱۶۰۰ گرم دی اکسید کربن به ازای هر کیلو وات ساعت است. (IPCC) (میز گرد بین دولتی تغییرات آب و هوا) (۲۰۱۱)

۶-۱ نیاز به همکاری

برای قابل دستیابی کردن آب پاک، بکارگیری مهندسان برق حرفه‌ای برای تامین الکتریسیته لازم است، ولی کافی نیست. متخصصین آب، مشتری‌های کلیدی، موسسات مالی، تامین‌کنندگان بهداشت و محصلین باید با این قضیه ارتباط برقرار

کرده و با یکدیگر همکاری کنند.

یک سیستم برای آب شرب از بخش‌های زیادی تشکیل شده که می‌بایست با هم و به طور قابل اعتمادی کار کنند. مشتری لازم نیست که در گرداندن و نگهداری متخصص باشد لیک باید بتواند اقدامات اولیه برای به فعالیت و داشتن سیستم را انجام دهد. در فصل‌های ۴ تا ۱۴، فرآیند و سیستم‌هایی که آب شرب و انرژی تجدیدپذیر تولید میکنند توضیح داده می‌شوند تا متخصصین آب و متخصصین انرژی بهتر همدیگر را درک کنند. تامین مالی یکی از شروط برای موفقیت است، به همین دلیل، بعضی از از روش‌های تامین مالی در فصل ۱۲ تشریح شده است.

۷-۱ بررسی اجمالی کتاب

در فصل ۲ توضیح داده شده است که توسعه انرژی‌های تجدیدپذیر یکی از بخشی‌های کلیدی در راستای دستیابی به اهداف اقلیمی هستند. همچنین این توسعه، سلامت عمومی در مناطقی که از نظر سلامت ضعیف هستند را بهبود می‌بخشد. آب شرب یک فاکتور کلیدی است، و تهدیدهای سلامتی مربوط به آلودگی هوا نیز هنگامی که سوخت‌های جامد و نفت سفید با انرژی خورشیدی فوتو ولتایک و توربین‌های بادی جایگزین شوند محدود می‌شوند. اهداف توسعه‌ی پایدار سازمان ملل همگی به میزان زیادی به دسترسی به انرژی و آب وابسته است.

توسعه‌ی انرژی‌های تجدیدپذیر چیزی دست کم از یک انقلاب ندارد و برای اولین بار فرصتی واقع‌بینانه در راستای در دسترس قرار دادن برق برای همه ایجاد می‌کند. تکنولوژی مانع اصلی نیست بلکه موانع انگیزه‌های سیاسی، تامین مالی و تحصیلات هستند که در فصل ۳ به آن پرداخته شده است.

در قسمت دوم (فصل‌های ۴ تا ۷) تکنولوژی‌های تصفیه مختلفی برای اقدامات با مقیاس کوچک تشریح می‌شود. پمپ کردن، که در فصل ۴ به آن پرداخته شده، یک عمل کلیدی در تقریباً هر عملیات آبرسانی و تصفیه‌ای می‌باشد. تکنولوژی‌های شیرین‌سازی و غشاها با سرعت بسیار بالایی در حال رشد هستند و فرصت‌های جدید و واقع‌بینانه‌ای برای تصفیه آب‌های زیرزمینی یا سطحی ارائه می‌کنند، که در

فصل ۵ به آنها پرداخته می‌شود. در مناطق ساحلی می‌توان آب دریا را با قیمت‌های واقع‌بینانه‌ای شیرین کرد. بیشتر مناطق روستایی در حال توسعه‌ی امروز که به آب دسترسی ندارند گرم هستند و از لحاظ تابش خورشید بسیار غنی می‌باشند. این باعث می‌شود که بتوان با تکنولوژی‌های حرارتی ساده، آب را بدون استفاده از برق تولید کرد. این گزینه در فصل ۶ توضیح داده می‌شود و باید از آن به عنوان متممی بر فرآیندهایی که توسط الکتریسته تامین می‌شوند یاد کرد. آب مصرف شده را می‌توان با تکنولوژی‌های زیادی تصفیه کرد، در فصل ۷ به طور اجمالی به آن پرداخته می‌شود.

قسمت سوم (فصل‌های ۸ تا ۱۱) سیستم‌های انرژی‌های تجدیدپذیر را توصیف می‌کند. انرژی خورشیدی فوتو ولتایک پتانسیل این را دارد که در کشورهای گرم و یا آفتابی تکنولوژی غالب محسوب شود، همان‌طور که در فصل ۸ درباره‌ی آن توضیح داده می‌شود. انرژی بادی می‌تواند متمم جالبی برای انرژی خورشیدی فوتو ولتایک در مناطق زیادی باشد، در فصل ۹ راجع به آن بحث می‌کنیم. البته که سلول‌های خورشیدی فقط در طول روز انرژی تولید می‌کنند، ولی انرژی بادی و انرژی خورشیدی در کنار یکدیگر می‌توانند منبع انرژی قابل اتکاتری باشند. هنوز هم، انرژی باد و همین‌طور انرژی خورشیدی منابع متناوب تأمین انرژی هستند. بنابراین، نوعی ذخیره‌ی انرژی برای مواقعی که خورشید در آسمان نیست یا باد نمی‌وزد نیاز است تا انرژی تولید کند. این چالش ذخیره‌سازی عنوان فصل ده می‌باشد. در آخر، تمامی اجزاء سیستمی که با استفاده از انرژی‌های تجدیدپذیر آب تولید می‌کنند نیاز به سیستمی دارند که تمامی واحدها را مدیریت نموده و جریان انرژی در سیستم را نیز هماهنگ نمایند. این موضوع در فصل ۱۱ توضیح داده می‌شود.

قسمت چهارم کتاب "بکارگیری انرژی‌های تجدیدپذیر برای عملیات‌های آبی" (فصل‌های ۱۲ تا ۱۴) که بر روی مسائل "نرم" تمرکز می‌کند. تامین مالی انرژی‌های تجدیدپذیر در مناطق با درآمد کم مسئله‌ای حیاتی است که می‌تواند بزرگترین مانع برای تولید انرژی پاک و آب شرب در دسترس همگان باشد. این موضوع در فصل ۱۲ توصیف می‌شود. هر سیستم انرژی الکتریکی نیاز به زمین دارد و این جنبه در فصل

۱۳ تشریح می‌شود. و در فصل ۱۴ نیز، چند مورد از منابع و فرآیندهای تصفیه‌ی آب که از انرژی‌های تجدیدپذیر نیرو می‌گیرند توضیح داده شده است. قسمت پنجم رویکردی آینده‌نگر دارد، در فصل ۱۵ می‌توانیم به خود اجازه دهیم تا موارد غیر قابل پیش‌بینی را پیش‌بینی کنیم، با نگاهی به سال ۲۰۳۰. اگر آن را چند سال بعد بخوانید، ممکن است سرگرم‌کننده باشد.

۸-۱ مطالعات بیشتر

مطالب رسمی زیادی راجع به وضعیت آب و انرژی در دنیا وجود دارد. گزارش سازمان ملل با نام UN Water(2014) و UN WWDR(2014) وضعیت آب در دنیا را شرح می‌دهد و اولسون (۲۰۱۵) ارتباطات بسیار زیاد بین آب و انرژی را توضیح می‌دهد.

دسترسی به انرژی الکتریکی در World Bank(2017) و در IEA(2017a,2017c) تشریح شده است. دو گزارش REN21(2017a,2017b) اطلاعات زیادی را راجع به انرژی تجدیدپذیر افشا می‌کنند. بر وضعیت آفریقا به ویژه در IRENA (2016b,2016d) تاکید شده است. کتاب‌های Varadi(2017) و Varadi et al.(2018) اطلاعات فوق العاده‌ای را برای غیرمتخصصین عرضه می‌کنند. کتاب اولی داستان توسعه‌ی قابل توجه سیستم‌های انرژی خورشیدی را تعریف می‌کند و دومی عواقب انقلاب انرژی خورشیدی را برای کشورهای آفریقایی و خاورمیانه با جزئیات نشان می‌دهد.

فصل



به سوی اهداف پایداری

"کمی کمتر حرف بزنیم و کمی بیشتر عمل کنیم"

ارنا سولبرگ، نخست وزیر نروژ

"آیا می‌توانیم بهای متمدن شدنمان را بپردازیم؟"

مارک تواین ۱۸۳۵-۱۹۱۰

تاثیر واقعی انرژی‌های تجدیدپذیر فراتر از صرفاً تامین انرژی است. انرژی تجدیدپذیر می‌تواند تاثیرات منفی ناشی از انرژی‌های متداول بر روی محیط زیست، سلامت، جامعه و سیاست را حل کند. سازمان ملل، ۱۷ هدف توسعه‌ی پایدار (SDG) را برای متحول کردن جامعه‌ی بشری در راستای کار خود قرار داده است. دو مورد از این اهداف (اهداف توسعه‌ی پایدار ۶ و ۱۷) ارتباط مستقیمی با موضوع بحث ما دارند: آب پاکیزه و بهداشت برای همه، و انرژی پاک مقرون به صرفه برای همه. اهداف مربوط به تامین آب و انرژی تقریباً تمامی اهداف توسعه پایداری که جامعه‌ی جهانی

بیان کرده را تحت تاثیر قرار می‌دهند. امروزه، دستیابی به آب شرب و انرژی پاک یک عنصر جدایی‌ناپذیر از توسعه‌ی سلامت انسان، محیط‌زیست و امنیت آن محسوب می‌شود.

۲۰. آب پاکیزه به وسیله‌ی انرژی خورشیدی و باد، خارج از شبکه‌ی توزیع

۱-۲ اهداف توسعه پایدار سازمان ملل

۱۷ هدف توسعه‌ی پایدار پیشنهادی سازمان ملل (SDG) توسط جامعه‌ی جهانی در سال ۲۰۱۵ به عنوان بخشی از دستور جلسه ۲۰۳۰ برای توسعه‌ی پایدار پذیرفته شد (UN WWDR, 2014). نمی‌توان منکر ارتباطات زیادی که بین اهداف توسعه پایدار وجود دارد بود. بنابراین، بایستی آنها را با کمک رویکردی یکپارچه دنبال نمود. آب و انرژی کافی برای رسیدن به تقریباً تمامی اهداف توسعه ضروری هستند. هدف توسعه‌ی پایدار ششم (آب پاکیزه و بهداشت) به میزان زیادی به در دسترس بودن انرژی تجدیدپذیر وابسته است، در نظر داشته باشید که تولید بسیاری از انرژی‌های متداول، به سطح دسترسی به آب بستگی دارد. هدف توسعه پایدار هفتم (دسترسی به انرژی مقرون به صرفه، قابل اعتماد، مدرن و پایدار برای همه) به میزان زیادی به توسعه‌ی انرژی‌های تجدیدپذیر نوینی مانند انرژی خورشیدی فوتوولتاییک و باد بستگی دارد. هر روز، آگاهی نسبت ارتباط میان اهداف ششم و هفتم توسعه‌ی پایدار بیشتر می‌شود.^۱ زنجیره انرژی-آب-غذا، یکی از مواردیست که وضعیت آن در جهان هر روز نگران‌کننده‌تر می‌شود (WEC, 2016). پمپ کردن آب و تصفیه‌ی آن توسط فرآیندهای بیولوژیکی باعث افزایش میزان تامین آب شرب می‌شود. تکنولوژی‌های انرژی الکتریکی مرسوم، مانند نیروگاه‌های حرارتی، مقدار آب زیادی برای خنک‌سازی مصرف می‌کنند، در حالی که مصرف آب برای تولید انرژی از باد و پنل‌های فوتو ولتاییک بسیار پایین و قابل به چشم‌پوشی است.

۱. Olsson, 2015; IRENA, 2017 a

همان گونه که قبلاً گفته شد، مصرف آب در پنل‌های خورشیدی و فوتو ولتاییک و باد تا ۲۰۰ برابر کمتر از نیروگاه‌های گرمایی است. علاوه بر این، انرژی‌های تجدیدپذیر می‌توانند با پمپ کردن و به کمک روش‌های مختلف تصفیه از جمله شیرین‌سازی، آب شرب تولید کنند. باید در نظر داشت که از انرژی‌های تجدیدپذیر و راهکارهای آبی به طور مستقیم و غیرمستقیم در ۱۵ هدف توسعه پایدار دیگر نیز استفاده خواهد شد. این قضیه به طور مفصل در جدول ۱-۲ بیان شده است.

دستیابی به انرژی‌های تجدیدپذیر و راهکارهای آبی به طور مستقیم و همین‌طور غیرمستقیم در سایر ۱۵ هدف توسعه پایدار سازمان ملل نیز استفاده خواهد شد. تامین آب به وسیله انرژی‌های تجدیدپذیر را می‌توان یک فن‌آوری کلیدی برای رسیدن به اهداف توسعه پایدار سازمان ملل خواند. سمیناری در سال ۲۰۱۶ در انستیتو تکنولوژی ماساچوست (MIT) به همراهی اتحادیه جهانی شیرین‌سازی آب شرب (لینهارد و همکاران^۱، ۲۰۱۶) برگزار شد.

۲.۱. به سوی اهداف توسعه پایدار

جدول ۱-۲ ارتباطات مهم میان هدف ششم (آب شرب و بهداشت) و هدف هفتم (انرژی پاک و کم هزینه) و سایر ۱۵ هدف توسعه پایدار سازمان ملل (برگرفته از IRENA, 2017a) (موارد ۱ تا ۱۷)

ه.ت.پ (هدف توسعه پایدار) ارتباطات

۱. نبود فقر: از بین بردن فقر نیاز به انرژی و آب شرب دارد. هر دو مورد می‌توانند در افزایش فعالیت‌های اقتصادی نقش داشته باشند. انرژی غیر متمرکز می‌تواند هزینه‌های وارده از انرژی‌های فسیلی را کاهش دهد، که تاثیر بزرگی بر زندگی روزمره مردم فقیر در بسیاری از نقاط جهان خواهد داشت. آب شرب طبیعتاً بر روی شرایط سلامت عموم تاثیر گذاشته و شرایط سلامتی نیز تاثیر بسزایی بر روی شرایط کلی زندگی دارد.

۲. نبود گرسنگی: انرژی‌های تجدیدپذیر در پمپاژ آب، آب رسانی بدون اتلاف،

بهبود تولید غذا و مواد غذایی افزایش مقاومت در برابر خشکسالی، همچنین تامین انرژی لازم برای نگهداری و منجمد کردن مواد غذایی که به کاهش اتلاف مواد غذایی می‌انجامد کاربرد دارند.

۳. سلامت روانی و فیزیکی: استفاده از انرژی‌های پاکیزه برای پخت و پز می‌تواند خطر ابتلا به بیماری‌های تنفسی که با آلودگی داخلی {آلودگی هوای داخل} ایجاد می‌شوند را کاهش دهد. انرژی الکتریکی غیرمتمرکز می‌تواند نیاز بیمارستان‌ها و درمانگاه‌های واقع در نواحی دورافتاده را تامین کند. استفاده از منابع تجدیدپذیر برای تامین انرژی - با رفع وابستگی به سوخت‌های فسیلی و انتقال آنها - مشکلات سلامتی که در ارتباط با آلودگی‌های هوای محیط بیرونی است را کاهش می‌دهد.

۴. آموزش با کیفیت: امروزه بسیاری از کودکان نمی‌توانند بعد از اینکه از مدرسه به خانه بازگشتند درس‌هایشان را مطالعه کنند، چرا که خانه‌شان برق ندارد. انرژی‌های تجدیدپذیر به دانش‌آموزان اجازه می‌دهد تا پس از تاریک شدن هوا به مطالعه دروسشان ادامه دهند، که این خود برای مناطقی که از انرژی برق محروم بودند، یک تغییر چشمگیر محسوب می‌شود. همچنین انرژی‌های تجدیدپذیر باعث می‌شوند تا بتوان زمانی که پیش‌تر صرف جمع‌آوری و تهیه سوخت می‌شد را صرف کارهای دیگری نمود.

۵. برابری جنسیتی: معمولاً وظیفه‌ی تهیه‌ی آب و سوخت بر عهده‌ی زنان و بچه‌ها می‌باشد. استفاده از زیست گاز (بایومس، گاز حاصل از تخمیر) برای آشپزی تأثیرات شدیدی بر سلامت به خصوص زنان و کودکان دارد. نورهای الکتریکی در مقابل نورهای حاصل از چراغ‌های نفتی و آتش ایمن‌تر بوده و به زنان و کودکان اجازه می‌دهند پس از تاریکی نیز بتوانند یکدیگر را ملاقات کنند.

۸. رشد اقتصادی و کاری درخور: افزایش سهم انرژی‌های تجدیدپذیر باعث ایجاد فرصت‌های شغلی جدید می‌شود. ارائه‌ی بهتر آب برای مصارف کشاورزی باعث حمایت از شغل‌ها در زمینه‌ی تولید مواد غذایی می‌شود. منابع انرژی الکتریکی نیز می‌توانند فرصت‌های شغلی بسیاری را در سطح روستاها بوجود بیاورند.

۲۲. آب پاکیزه با استفاده از انرژی خورشیدی و بادی: خارج از شبکه‌ی توزیع

ادامه جدول ۱-۲ ارتباطات مهم میان هدف ششم (آب پاکیزه و بهداشت) و هدف هفتم (انرژی پاک و کم هزینه) و دیگر ۱۵ هدف توسعه‌ی پایدار سازمان ملل (برگرفته از IRENA, 2017a) (از ۱ تا ۱۷).

۹. صنعت، نوآوری و زیرساخت: انرژی حاصل از منابع تجدیدپذیر می‌تواند مستقیماً و به طور غیرمستقیم باعث ایجاد مشاغل محلی شود.

۱۰. کاهش نابرابری‌ها: انرژی محلی در دسترس (حاصل از منابع تجدیدپذیر) می‌تواند هزینه‌های واردات انرژی را کاهش دهد. نصب و نگهداری از منابع انرژی تجدیدپذیر باعث ایجاد شغل‌های جدید و دسترسی آسان‌تر به آب نیز باعث کاهش نابرابری میان مصرف‌کننده‌هایی که از پیش به آب لوله‌کشی دسترسی داشتند و مصرف‌کننده‌هایی که مجبور هستند آب را از فروشندگان بخرند می‌شود.

۱۱. شهرها و جامعه‌های پایدار: شهرها و به خصوص مناطق پیش شهری می‌توانند کربن ناشی از منابع انرژی را کاهش دهند. یک منبع آب و تصفیه‌خانه غیرمتمرکز می‌تواند علاوه بر افزایش دسترسی به آب ارزان قیمت، باعث شود با انعطاف بیشتری بتوان به آب دسترسی داشت (تا در صورت بروز مشکل، شرایط با سرعت بیشتری به حالت عادی بازگردد).

۱۲. مصرف و تولید مسئولانه: انرژی‌های تجدیدپذیر این پتانسیل را دارند که باعث افزایش ایمنی و پاکی منابع انرژی شوند. با کمک سیستم‌های آب غیرمتمرکز در مناطق روستایی و دور افتاده می‌توان بیشتر به آب پاکیزه دسترسی داشت. تولید، نصب و به کارگیری این سیستم‌ها می‌تواند به نحوی باشد که از نظر اجتماعی و همینطور محیط زیستی پایدار باشد.

۱۳. اقدام در راستای آب و هوا: افزایش بازده انرژی در ترکیب با افزایش نسبت انرژی‌های تجدیدپذیر {افزایش انرژی‌های تجدیدپذیر نسبت به دیگر منابع انرژی} می‌تواند به طور واقع‌بینانه‌ای افزایش دمای زمین را به ۲ درجه سانتیگراد محدود

کند. تغییرات آب و هوا باعث کمیاب شدن آب در بسیاری از مناطق می‌شود. تولید انرژی‌های تجدیدپذیر نسبت به سیستم‌های سنتی به آب کمتری نیاز دارد. پمپ‌ها و تصفیه‌خانه‌های خورشیدی می‌تواند آب مورد نیاز را تامین کرده و با کمک آنها می‌توان با تغییرات همگام شد.

۱۴. حیات آبزبان: تولید و انتقال سوخت‌های فسیلی تاثیر فاجعه‌باری بر منابع آب زیر زمینی، رودخانه‌ها و اقیانوس‌ها داشته است. تاثیر این فرآیند تاثیر چشمگیری بر زندگی آبزبان داشته است که باعث تغییر اکولوژی دریایی و ایجاد مشکل برای کسانی که به غذاهای دریایی علاقه مند هستند شده است. علاوه بر این انتشار گاز CO₂ ناشی از سوزاندن سوخت‌های فسیلی علاوه بر ایجاد گرمایش، باعث اسیدی شدن آب اقیانوس‌ها نیز شده است. تکنولوژی‌های {انرژی‌های} تجدیدپذیری جایگزین مناسبی برای سوخت‌های فسیلی محسوب می‌شوند و عبارتی باعث کاهش مصرف این سوخت‌ها می‌شوند و می‌توان با کمک آنها ریختن خرده‌های ذغال سنگ، استخراج نفت یا گاز، پالایش و انتقال از طریق خطوط لوله یا تانکرها را کاهش داد.

۲۳. به سوی اهداف توسعه پایدار

۱۵. زندگی بر روی خشکی: سیستم‌های انرژی متداول امروزی تاثیری چشمگیر و منفی بر محیط زیست دارند. که می‌توان با استفاده از سیستم انرژی تجدیدپذیری که به خوبی طراحی شده باشد از این تاثیرات منفی جلوگیری کرد. می‌توان از انرژی‌های تجدیدپذیر به جای سوزاندن چوب و ذغال در نواحی خارج از شبکه استفاده کرد و سرعت رویه جنگل‌زدایی را کاهش داد. و همینطور نیز با سهولت دسترسی به آب می‌توان از حیات وحش و کشاورزی نیز حمایت نمود.

۱۶. صلح، عدالت و موسسات قدرتمند: نه تنها انرژی‌های تجدیدپذیر قادر به تامین انرژی برای کسانی که به انرژی دسترسی ندارند باشد، بلکه می‌تواند آب مورد نیاز آنها را نیز تامین کند. این قضیه باعث کاهش نابرابری‌ها در جوامع و همینطور

بین منطقه‌ها و کشورها می‌شود. بنابراین بسیار لازم است که دسترسی به انرژی‌های تجدیدپذیر به صورت منطقه‌ای {دسترسی هر منطقه به انرژی‌های تجدیدپذیر} ارزیابی شود. بعلاوه، طی این رویه، کاربر نهایی می‌تواند کنترل بیشتری بر تولید انرژی داشته باشد.

۱۷. تاثیر در تحصیل اهداف: انرژی‌های تجدیدپذیر و آب در کنار یکدیگر می‌توانند توسعه پایدار را مقدور سازند، که رسیدن به این اهداف نیازمند مشارکت جهانی و همکاری میان مناطق است.

علاوه بر اعلام وضعیت حال حاضر شیرین‌سازی آب در مقیاس کوچک و بزرگ از شرکت‌کنندگان خواسته شد که جالب‌ترین گزینه‌ها برای شیرین‌سازی آب را ارزش‌گذاری کنند. دو شاخص به کار گرفته شد: (۱) میزان آماده بودن تکنولوژی (TRL) و (۲) اثرگذاری. این روش توسط ناسا در سال ۱۹۷۰ معرفی شد. شاخص TRL ۱۰ سطح بلوغ تکنولوژی، از ایده تا اجرایی شدن را در مقیاسی تجاری بیان می‌کند. شاخص تاثیر در ۵ سطح بیان می‌شود. سطح امتیازات TRL و اثرگذاری این دو تکنولوژی، یعنی اسمز معکوسی که انرژی خود را از باد (غالباً برای مقیاس‌های کلان) و یا از انرژی خورشیدی فوتوولتاییک تامین می‌کند، بر اساس نظر شرکت‌کنندگان بسیار به هم نزدیک بود. از دیگر نتایج این سمینار می‌توان به این مورد اشاره نمود: "با ادغام فرآیندهای تصفیه آب و تولید انرژی‌های تجدیدپذیر در مقیاس کوچک در مناطقی که به طور موقت یا دائم دچار کمبود آب یا محرومیت و محدودیت در شبکه توزیع برق هستند، آب شرب تولید نمود".

۲۴. آب پاکیزه با استفاده از انرژی خورشیدی و باد: خارج از شبکه‌ی توزیع

در فصل پنج، تصفیه آب و در فصول هشت الی ده به انرژی خورشیدی فوتوولتاییک و بادی می‌پردازیم.

لازم به ذکر است که هیچ مکانیزمی جهت اعمال اجبار بر دولت‌ها و ارگان‌ها برای تحصیل اهداف توسعه‌ی پایدار وجود ندارد. یک شرط حیاتی این است که از نحوه تامین هزینه‌ها آگاه باشیم. در اینجا، عملکرد سازمان‌های بین‌المللی مانند بانک

جهانی، صندوق بین‌المللی پول و دیگر سرمایه‌گذاران بسیار تعیین‌کننده است. این مسئله به خوبی در توافق واشنگتن^۱ تشریح شده است.^۲

۲-۲ سلامت عمومی، مسائل جنسیتی و تحصیل

انرژی‌های تجدیدپذیر می‌تواند نیاز اولیه انرژی در یک خانه را تامین کند. سازمان بهداشت جهانی تخمین زده است که سالانه بیش از ۴ میلیون نفر به علت آلودگی هوای داخلی (داخل خانه و...) ایجاد شده در نتیجه استفاده از زیست توده‌های مرسوم (چوب، ذغال،...) و اجاق‌های نا کارآمد برای انجام امور پخت و پز، پیش از بلوغ می‌میرند. علاوه بر این، استفاده از لامپ‌های نفتی برای تامین روشنایی، خطرهایی برای سلامتی مانند سوختگی ایجاد می‌کنند.

سالانه بیش از ۴ میلیون نفر پیش از بلوغ به دلیل آلودگی هوای داخلی می‌میرند.

بایستی از اثرات مثبت انرژی تجدیدپذیر بر روی سلامتی باید آگاه بود. از آن جایی که خانم‌ها بیشتر در معرض خطرهایی که تهدیدی برای سلامت خانواده هستند قرار دارند، برطرف کردن نیاز به انرژی دارای یک جنبه جنسیتی نیز می‌باشد. علاوه بر این، با دسترسی به انرژی الکتریکی، می‌توان کیفیت زندگی و سلامت خانم‌ها و دختران که مسئول اصلی تدارک آب برای خانه هستند را افزایش داد. انرژی‌های تجدیدپذیر نوین می‌توانند زمان مورد نیاز برای جمع‌آوری چوب را کاهش دهند یا به صفر برسانند. انرژی‌های تجدیدپذیر نه تنها زمان لازم برای جمع‌آوری زیست توده‌های ناپایدار را کاهش می‌دهند بلکه به زنان و دختران زمان می‌دهند تا تحصیلات و یا مشاغل خود را ادامه دهند. با در دسترس بودن انرژی تجدیدپذیر،

۱. Washington Consensus

۲. https://en.wikipedia.org/wiki/Washington_Consensus

روشنایی خانه‌ها و مدارس را می‌توان با انرژی الکتریکی تامین کرد. بنابراین، می‌توان گفت که این انرژی‌ها تاثیر عمیقی بر تحصیلات می‌گذارند.

بیش از یک میلیارد نفر در جهان به مراکز سلامتی وابسته هستند که از انرژی الکتریکی قابل اعتمادی محروم و در دسترسی به آب پاکی دچار محدودیت می‌باشند. علاوه، درصد بزرگتری از جمعیت جهان به مراکزی وابسته هستند که دسترسی مطلوب و قابل اطمینانی به آب شرب و انرژی‌های پاک ندارند. انرژی تجدیدپذیر خارج از شبکه می‌تواند برای مراکز سلامت دورافتاده انرژی پاک و کم هزینه تامین کند.

دسترسی به الکتریسیته و آب پاکیزه تاثیر عمیقی بر تحصیل دارد. پیوندهای محکمی میان تحصیل، انرژی آب شرب و توسعه اقتصادی وجود دارد. جونز و همکاران^۱ (۲۰۱۸) خاطر نشان می‌کند که:

در جنوب صحرای آفریقا ۹۰٪ از کودکانی که به دبستان می‌روند از نیروی برق محرومند.

نیمی از مدارس در پرو، و یک چهارم کلاس‌های روستایی در هندوستان فاقد انرژی برق هستند.

از هر سه کودک، یک نفر - طبق تخمین‌ها ۱۸۸ میلیون کودک - به مدرسه‌ای می‌رود که از روشنایی، آب لوله کشی، یخچال، پنکه و کامپیوتر یا پرینتر محروم است.

همان‌طور که نویسنده خاطر نشان کرد، سوال اصلی این است که آیا این کودکان مهارت‌های لازم برای کمک به کشورشان برای رشد اقتصادی را می‌آموزند یا خیر. با کمک نیروی برق می‌توان بسیار ساده‌تر به آب دسترسی داشت. نتایج به دست آمده از کنیا به روشنی پیامدهای این دسترسی مطلوب را به تصویر می‌کشند: دسترسی مطلوب به آب به معنی بهداشت بهتر است. به گونه‌ای که می‌توان به این وسیله از شیوع بیماری‌هایی مانند عفونت‌های پوستی، حصبه و وبا از طریق آب مصرفی را

۱. Jones et al

کاهش داد (جونز و همکاران، ۲۰۱۸).

بعلاوه، جونز و همکاران (۲۰۱۸) خاطر نشان نموده‌اند که ۴۰-۶۰٪ از زمین‌های مناسب برای کشاورزی که لم یزرع باقی مانده‌اند در منطقه جنوب صحرای آفریقا قرار دارد. البته ابتدا ضروریست به کشاورزان آموزش‌های مربوط به آبیاری و کشت موثرتر داده شود.

اکتشاف نفت، پالایش و توزیع آن حتی در شرایط عادی نیاز به مصرف آب زیادی داشته و این استفاده بر کیفیت آب نیز تاثیر می‌گذارد. (اولسون^۱، ۲۰۱۵، فصل ۱۱). این تاثیرات در ادامه در اثراتی پیش‌بینی نشده مانند نشتی، لایروبی، پالایش یا حوادثی که در استخراج یا انتقال پیش می‌آیند تشدید می‌شود. بنابراین، تاثیراتی که عملیات و حوادث نفتی بر منابع آبی خواهند داشت بسیار عظیم خواهد بود (ظبی و اولسون^۲، ۲۰۱۷). رشد جمعیت، افزایش استفاده‌ی آب برای کشاورزی و فعالیتهای صنعتی و تغییرات آب و هوایی همگی کمبود آب را افزایش می‌دهند. این ماجرا عواقب اجتماعی و اقتصادی سنگینی برای جوامع بزرگ دارد. محققان داده‌های جمع‌آوری شده برای جریان‌های آب شیرین در سرتاسر دنیا توسط ماهواره GRACE متعلق به ناسا در بازه زمانی ۲۰۰۲ تا ۲۰۱۶ را بررسی کرده‌اند.

در این گزارش که در می ۲۰۱۸ منتشر شده است^۳، محققین ادعا می‌کنند که طبق داده‌ها، دسترسی به آب شیرین بزرگ‌ترین چالش بشریت در قرن ۲۱ ام خواهد بود. داده‌های GRACE به محققین اجازه داد که تغییراتی که در منابع آب شیرین در سرتاسر دنیا، حتی در مناطقی که داده‌های محلی کمیاب یا ناموجود بودند رخ داده است را دنبال کنند.

۱. Olsson

۲. Zabbey & Olsson

۳. https://climate.nasa.gov/climate_resources/167/-2018

۲-۳ مطالعات بیشتر

اهداف توسعه‌ی پایدار سازمان ملل، که توسط UNDP {برنامه‌ی توسعه‌ی سازمان ملل} ارائه شدند، به طور مفصل در صفحه‌ی زیر منتشر شده‌اند.

http://www.undp.org/content/dam/undp/library/corporate/brochure/SDGs_Booklet_Web_En.pdf

سازمان بهداشت جهانی (WHO) منبع مهمی از اطلاعات برای موضوعات مربوط به آب، سلامتی و بهداشت است و می‌توان از صفحه‌ی <http://www.who.int/topics/water/en/> بعنوان یک نقطه شروع برای اطلاعات آماری، واقعیت‌ها، راهکارها و دیگر اطلاعات استفاده کرد.

مسئله‌ی جنسیت در برنامه‌ی "جنسیت و آب" سازمان ملل (<http://www.un.org/waterforlifedecade/gender.shtml>) نظارت می‌شود، که در آن "جنسیت" به نقش‌ها، حقوق و مسئولیت‌های مختلف مرد و زن و همین‌طور ارتباط میان آن‌ها اشاره دارد.

فصل



انقلاب انرژی‌های تجدیدپذیر

"حاضر هر چه دارم را روی خورشید و انرژی‌های بدست آمده از آن سرمایه‌گذاری کنم. به معنی واقعی کلمه یک منبع انرژی شگفت‌انگیز است، امیدوارم مجبور نباشیم که تا به پایان رسیدن نفت و ذغال سنگ صبر کنیم. ای کاش می‌توانستم سال‌های بیشتری زنده باشم"

توماس آ ادیسون (۱۸۴۷-۱۹۳۱).

پیشرفت‌های فنی و اقتصادی بوجود آمده در رابطه با انرژی‌های تجدیدپذیر بر جنبه‌های مختلف مرتبط با دسترسی به الکتریسته و تغییرات آب و هوایی تاثیر خواهد داشت، همچنین با افزایش دسترسی به آب، مردم فقیر یا ساکنین مناطق دور افتاده می‌توانند به تامین و تصفیه آن بپردازند. این پیشرفت همچنین بر جنبه‌های مختلف مسائل اجتماعی و اقتصادی مانند مسائل جنسیتی، خطرات مربوط به سلامتی و قدرت مصرف‌کننده تاثیر خواهد داشت. در قسمت ۱-۳، دورنمایی جهانی از انرژی‌های تجدیدپذیر توصیف می‌شود. در قسمت ۲-۳، مواکداً به توسعه‌ی خارج از شبکه می‌پردازیم. در قسمت ۳-۳ به یکی از ویژگی‌های کلیدی انرژی‌های تجدیدپذیر، یعنی مقیاس‌پذیری می‌پردازیم که با کمک آن مصرف‌کنندگان می‌توانند میزان تولید

را کنترل کنند. در قسمت ۴-۳، هزینه‌ی شگفت‌آور توسعه‌ی انرژی‌های بادی و خورشیدی فوتوولتاییک به تصویر کشیده می‌شود. این قضیه همان گونه که در قسمت ۵-۳ می‌بینیم به گسترش انرژی خورشیدی فوتو ولتاییک در سرتاسر جهان مرتبط است. گسترش انرژی بادی در قسمت ۶-۳ توضیح داده می‌شود. توسعه‌ی افراطی انرژی خورشیدی فوتو ولتاییک و بادی تاثیرات ژئوپلیتیکی^۱ خود را دارند که در بخش ۷-۳ به آن می‌پردازیم. انرژی‌های تجدیدپذیر هم اکنون نیز فرصت‌های شغلی عظیمی در ساخت و همینطور در نصب و راه‌اندازی سیستم‌های انرژی ایجاد کرده‌اند که حول این موضوع در بخش ۸-۳ بحث خواهد شد.

۲۸. آب پاکیزه با استفاده از خورشید و باد: خارج از شبکه‌ی توزیع

۱-۳ وضعیت جهانی

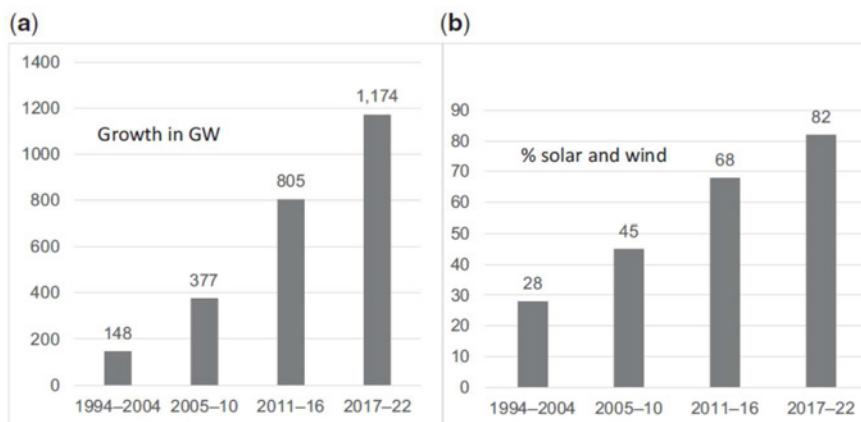
تغییرات بزرگی در زمینه‌ی انرژی در حال وقوع هستند. در حال حاضر، ۱۷۳ کشور توانسته‌اند به بعضی از اهداف انرژی‌های تجدیدپذیر نائل شوند (IRENA 2017a). در سال ۲۰۱۵، ۱۵۴ گیگاوات به ظرفیت انرژی بین‌المللی افزوده شد، که ۶۱٪ از آن از انرژی‌های تجدیدپذیر، و ۹۰٪ از سرمایه‌گذاری‌های انجام شده در انرژی‌های تجدیدپذیر از سوی انرژی بادی و خورشیدی تامین شدند (IRENA 2017,a). در سال ۲۰۱۶، با استفاده از انرژی‌های تجدیدپذیر، ظرفیت جدید جهان به مقدار دو سوم که حدود ۱۶۵ گیگاوات می‌باشد افزایش پیدا کرد، که به نوبه خود رکورد سالانه جدید است. یکی از عوامل کلیدی در این زمینه توسعه انرژی خورشیدی فوتوولتاییک بود که از کاهش شدید هزینه‌ها و سیاست‌های حمایتی نشأت می‌گیرد. در سال ۲۰۱۶ ظرفیت خورشیدی فوتوولتاییک در جهان ۵۰٪ رشد کرد، و به ۷۴ گیگاوات رسید. اضافات انرژی خورشیدی فوتو ولتاییک از هر منبع انرژی دیگری مانند ذغال سنگ نیز در سال ۲۰۱۶ بیشتر بود. (IEA,2017b)

۱. وابسته به جغرافیای سیاسی

بیشتر ظرفیت انرژی جهانی که امروزه به شبکه افزوده می‌شود در قالب انرژی‌های تجدیدپذیر است.

انرژی‌های تجدیدپذیر در دهه‌ی گذشته تقریباً به صورت نمایی افزایش داشته‌اند. شکل ۱-۳ نشان می‌دهد که انرژی‌های تجدیدپذیر (بیشتر خورشیدی، باد و برق آبی) چگونه توسعه یافته‌اند. به ویژه، انرژی خورشیدی و بادی به میزان چشمگیری رشد نموده‌اند. در بازه‌ی ۲۰۱۷-۲۰۲۲ انتظار می‌رود که انرژی خورشیدی فوتو ولتایک بیشترین رشد را داشته باشد^۱. آژانس بین‌المللی انرژی پیش‌بینی می‌کند که سهم انرژی‌های تجدیدپذیر در تولید انرژی جهان از ۲۴٪ در سال ۲۰۱۶ به ۳۰٪ در سال ۲۰۲۲ به ۳۰٪ خواهد رسید...

از آنجایی که انرژی خورشیدی فوتو ولتایک که نرخ متوسط ۴۰٪ آن بین سال‌های ۲۰۱۰ و ۲۰۱۵، از ۳۹ به ۲۱۹ گیگاوات رشد کرده است، می‌توان گفت که نرخ رشد این گونه از انرژی نسبت به دیگر منابع انرژی الکتریکی چشمگیرتر است. این مطابق با ۲۰٪ تمام ظرفیت انرژی تازه نصب شده می‌باشد. در همین مدت انرژی بادی غیرساحلی (خارج از ساحل) ۳۰٪ در سال و انرژی بادی دریایی (روی زمین) حدوداً ۱۸٪ در سال رشد داشته است. میزان کل انرژی بادی از ۱۸۰ گیگاوات به ۴۵۰ گیگاوات رشد داشته و در مقایسه، انرژی برق آبی ۳,۳٪ در سال رشد داشته است (IRENA, 2017a).



{عبارات داخل شکل: Growth in GW: رشد به گیگاوات، solar: خورشیدی، wind: باد}

شکل ۳-۱ (الف) مجموع رشد ظرفیت انرژی (به گیگاوات) در چهار زمان بین سالهای ۲۰۱۷-۲۰۲۲ پیش‌بینی شده است. یکی از اصلی‌ترین انگیزه‌های این رشد، نگرانی پیرامون آلودگی هوا می‌باشد. چین اهداف خورشیدی فوتو ولتاییک ۲۰۲۰ خود را در سال ۲۰۱۷ پشت سر گذاشت، و انتظار می‌رود که به اهداف بادی ۲۰۲۰ خود در سال ۲۰۱۹ برسد (IEA, 2017b). آژانس‌های دولتی چین اذعان دارند که در نیمه‌ی اول سال ۲۰۱۷، ۷۰٪ ظرفیت اضافه شده از جانب انرژی‌های تجدیدپذیر می‌باشد (رشدی شدید از سطح ۵۲٪ در سال ۲۰۱۶)، ۲۸٪ آن از منابع گرمایی (غالباً ذغال سنگ) و تنها ۲٪ آن از انرژی هسته‌ای می‌باشد. در اواخر سال ۲۰۱۷ پکن اعلام کرد که کار کردن بر روی ۹۵ گیگاوات از نیروگاه‌های ذغال سنگ که نقشه‌ی آن‌ها کشیده شده بود یا تحت ساخت و ساز بودند را متوقف کرده و یا به تأخیر می‌اندازد، تا رقم ۷۰٪ رشد انرژی‌های تجدیدپذیر دست نخورده باقی بماند (متیو و هوانگ، ۲۰۱۸).

۲۹. انقلاب انرژی‌های تجدیدپذیر

۳-۲ توسعه‌های خارج از شبکه

تولید انرژی‌های الکتریکی تجدیدپذیر در سال ۲۰۱۵ با تولید در مقیاس بالا قبضه شده بود (مگاوات و بیشتر). با این حال بازار تولید انرژی خارج از شبکه‌ی توزیع رو به رشد بوده است. بنگلادش بعنوان پیش‌تاز سیستم‌های خورشیدی خانگی در دنیا شناخته می‌شود. انرژی‌های تجدیدپذیر مقیاس کوچک، بیشتر برای مصارف روشنایی، به سرعت در کشورهای رو به توسعه، به خصوص در کنیا، اوگاندا و

تانزانایای آفریقا، چین، هند و نپال در آسیا، و برزیل و گویانا در آمریکای لاتین رواج می‌یابند (REN21, 2017a).

۳۰. آب پاکیزه با استفاده از انرژی خورشیدی و باد: خارج از شبکه‌ی توزیع

با استفاده از راهکارهای نشأت گرفته از انرژی‌های تجدیدپذیر، چه در خارج از شبکه چه در شبکه‌های کوچک، در بسیاری از مناطق روستایی یا دورافتاده که توسعه‌ی شبکه از لحاظ اقتصادی در آن‌ها عملی نیست از لحاظ اقتصادی امکان‌پذیر می‌شود (IRENA, 2015a; Varadi et al., 2018, chapter 3). (وارادی و همکاران^۱).

دلیل دیگر برای در نظر گرفتن راهکارهای خارج از شبکه‌ی توزیع، نسبتاً غیرقابل اعتماد بودن خطوط انتقال برق فعلی می‌باشد. در حدود دو سوم کشورهای جنوب صحرای آفریقا، حداقل نیمی از خطوط انتقالی بیش از سی سال سن دارند. حتی در جنوب آفریقا، سن یک سوم خطوط انتقال به بیش از سی سال نیز می‌رسد. زیرساخت قدیمی و عدم سرویس و نگهداری منجر به ضریب اعتماد پایین و محدودیت یا کاهش دسترسی و خاموشی در مناطق جنوب صحرای آفریقا می‌شود (IRENA, 2016 d). علاوه بر این، برخی سیستم‌ها به خاطر جنگ یا نزاع‌های داخلی مختل شده‌اند و سال‌ها طول می‌کشد تا این سیستم‌ها دوباره عملیاتی شوند. مجدداً می‌توان گفت که راهکارهای خارج از شبکه‌ای به مصرف‌کننده این اجازه را میدهند که کنترل منبع انرژی خود را به دست بگیرند.

همان‌گونه که توسط وارادی و همکاران (۲۰۱۸) نشان داده شده است، فقط قسمت کوچکی از مردم در آفریقا به شبکه‌ی توزیع دسترسی دارند.

بیشترین رشد جمعیت، در کشورهای جنوب صحرای آفریقا وجود دارد. این، به علاوه استانداردهای رو به رشد زندگی در آفریقا، بدین معنی است که سرمایه‌گذاری‌های جدید زیادی در انرژی الکتریکی نیاز است تا صرفاً توازن میان عرضه و تقاضا برقرار شود.

یک شبکه‌ی کوچک را می‌توان به عنوان سازه‌ای تعریف نمود که از لحاظ اندازه

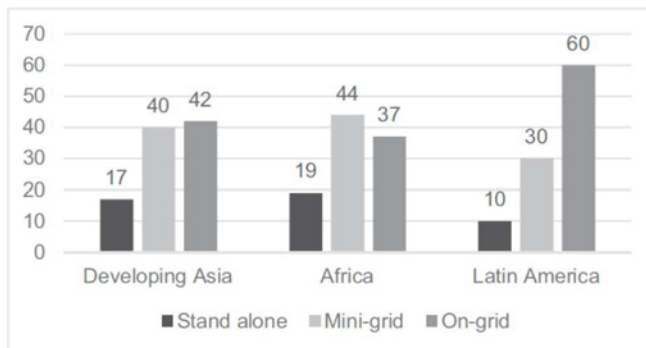
۱. Varadi et al

مابین سیستم تک خانگی و یک شبکه‌ی توزیع متداول قرار دارد. چنین سیستمی ممکن است شامل ظرفیت تولیدی در بازه‌ی ۱ کیلووات تا ۱۰ مگاوات باشد. آن‌ها انرژی الکتریکی چند مشتری را تامین می‌کنند ولی خارج از شبکه‌ی توزیع ملی فعالیت می‌کنند. در نواحی روستایی و دور افتاده، یک شبکه‌ی کوچک، بعنوان یک راهکار جایگزین جذاب برای تامین روشنایی، و توزیع آب و انرژی برای واحدهای {تولیدی} می‌باشد.

بر پایه‌ی محاسبات IEA در سال ۲۰۱۰، برای حصول هدف تامین انرژی برای همگان که برای سال ۲۰۳۰ برنامه‌ریزی شده است، لازم است تا برای کشورهای آسیایی در حال توسعه، ۴۶۸ تراوات، برای کشورهای آفریقایی ۴۶۳ تراوات و برای کشورهای آمریکای لاتین نیز ۱۰ تراوات نیروی برق بیشتر تولید شود.

۳۱. انقلاب انرژی تجدیدپذیر

همانطور که در شکل ۲-۳ مشخص است، انرژی الکتریکی توسط سیستم‌های متکی به خود، شبکه‌های کوچک یا شبکه‌های توزیع کلی توزیع می‌شوند.



{عبارات داخل شکل: آسیای رو به توسعه: Developing asia، آفریقا: Africa، آمریکای لاتین: Latin America، f به خود متکی: Stand Alone، شبکه کوچک: Mini Grid، تحت شبکه: on grid}

شکل ۲-۳ ساختمان منابع انرژی الکتریکی اضافی (به درصد) برای دسترسی همگانی به الکتریسیته در سال ۲۰۳۰، واضح است که بیشتر انرژی اضافی از خارج از شبکه‌ی توزیع سنتی اضافه خواهد شد. داده‌ها از جانب IEA، UNDP و UNIDO.

همان‌گونه که در قسمت ۱-۳ گفته شد، انرژی خورشیدی فوتو ولتاییک، توسعه‌ی انرژی‌های تجدیدپذیر در سال‌های آتی را قبضه خواهد کرد. انرژی خورشیدی بسیار بالاتر انرژی بادی و آبی است. امروزه نیز نزدیک به سی میلیون نفر از محصولات نورپردازی خورشیدی در آفریقا بهره می‌برند (نورپردازی آفریقا، ۲۰۳۰). عواقب چشمگیر حاصل از بهره‌وری، تحصیل، خدمات بهداشتی - سلامتی و کیفیت زندگی به خوبی ثبت شده‌اند. تقریباً ۱۰۰ میلیون نفر در کشورهای در حال توسعه از حداقل یک محصول روشنایی خورشیدی فوتوولتاییک در خانه برخوردارند (BNEF and Lighting global, 2016).

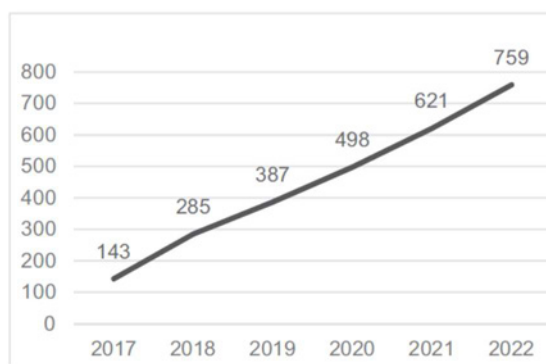
همان‌گونه که در شکل ۳-۳ نشان داده شده، آژانس بین‌المللی انرژی برای انرژی‌های تجدیدپذیر در آسیای رو به توسعه و کشورهای جنوب صحرای آفریقا (IEA, 2017b). پیش‌بینی می‌کند که ظرفیت خارج از شبکه بین سال‌های ۲۰۱۷-۲۰۲۲ تقریباً ۳ برابر خواهد شد. رشد خارج از شبکه تنها بخش کوچکی از کل ظرفیت خورشیدی فوتوولتاییک نصب شده می‌باشد، ولی تاثیر اجتماعی-اقتصادی آن چشمگیر خواهد بود. انتظار می‌رود که سیستم‌های خورشیدی خانگی در طی ۵ سال بتوانند نیازهای اولیه برقی حدوداً ۷۰ میلیون خانه را تامین کنند. این انرژی برق، روشنایی مکان‌ها و انرژی لوازم خانگی کوچک را که به طور معمول بین ۲۰-۱۰۰ کیلو وات هستند را تولید می‌کند.

افراد کم درآمد می‌توانند این سرویس‌ها را با طرح‌های پرداخت-حین-استفاده تهیه کنند (به فصل ۳-۱۲ نیز مراجعه فرمایید). هزینه‌ی انرژی معمولاً به اندازه یا کمتر از هزینه‌ی منابع سنتی مثل فانوس‌هایی که با نفت سفید کار می‌کنند می‌باشد.

۳.۲. آب پاکیزه با استفاده از انرژی خورشیدی و باد: خارج از شبکه‌ی توزیع

چنین سیستم‌هایی بدون مبدلی که جریان مستقیم را به متناوب تبدیل کند کار می‌کنند، هرچند برای استفاده از آنها در شب نیاز به باتری‌های پشتیبان دارند. سیستم جریان مستقیم می‌تواند وسایلی که با جریان مستقیم کار می‌کنند مثل

چراغ‌های ال ای دی، رادیو، تلویزیون و شارژرهای موبایل را به طور مستقیم تامین کند. برای مقادیر بالاتر انرژی که برای پمپ کردن آب و شستشو نیاز است، به برق جریان متناوب نیاز است. پس لازم است از مبدل‌های جریان مستقیم / متناوب استفاده شود (به فصل ۴-۵ مراجعه فرمایید).



شکل ۳-۳ رشد تجمعی پیش‌بینی شده‌ی سیستم‌های خورشیدی خانگی خارج از شبکه (به مگاوات) در مناطق جنوب صحرای آفریقا و آسیای در حال توسعه. میزان رشد شبکه‌های خورشیدی کوچک و سیستم‌های خورشیدی صنعتی به اندازه‌ی سیستم‌های خورشیدی خانگی می‌باشد. داده‌ها از IEA^۱ (2017b)

پیشرفت سیستم‌های خورشیدی خانگی را می‌توان به میزان زیادی به لامپ‌های ال ای دی پربازده مربوط دانست. پروفسو ایسامو آکاساکی، هیروشی آمانو و شوجی ناکامورا اولین ال ای دی‌های آبی را در اوایل ۱۹۹۰ ساختند. این آغازگر دوره‌ای جدید از لامپ‌های روشن و پربازده و صفحه‌های ال ای دی رنگی شد. چنان که آکادمی سلطنتی علمی سوییس هنگامی که جایزه‌ی نوبل فیزیک در سال ۲۰۱۴ را به این سه دانشمند تقدیم می‌کرد گفت: "لامپ‌های ال ای دی ما را به افزایش کیفیت زندگی بیش از ۱,۵ میلیارد نفر در سرتاسر جهان که به شبکه‌های توزیع

الکتریسیته دسترسی ندارند، امیدوار می‌سازد. به دلیل دسترسی محدود به انرژی، می‌توانند توسط انرژی‌های خورشیدی محلی ارزان قیمت تامین شوند." یکی دیگر از مزیت‌های استفاده از انرژی خورشیدی برای کیفیت زندگی، کیفیت نور حاصل از ال ای دی‌هایی است که توسط پنل‌های خورشیدی روشن می‌شوند در مقایسه با کیفیت نوری که از لامپ‌های فیتیل‌ای نفتی تولید می‌شود. یک لامپ ال ای دی ۲ وات ۳۸۰ تا ۴۰۰ لومن، در حالی که یک لامپ فیتیل‌ای نفتی ۸ الی ۴۰ وات نور تولید می‌کند.

۳۳. انقلاب انرژی تجدیدپذیر

قیمت هر واحد نور مفید حاصل از لامپ‌های نفتی بین ۳ تا ۱۰۰ برابر از لامپ‌های ال ای دی بیشتر است (IRENA, 2016d).

لامپ‌های ال ای دی که توسط انرژی خورشیدی تغذیه می‌شوند، نور بسیار کاربردی‌تری نسبت به لامپ‌های نفتی با همان قیمت تولید می‌کنند.

نورپردازی و لوازم خانگی که بازده انرژی آن‌ها افزایش یافته است می‌توانند باعث ارزان‌تر شدن سیستم‌های خورشیدی خانگی بزرگتر خارج از سیستم شوند.

طبق مصاحبه‌ای با ادنان امین، رییس IRENA {آژانس بین‌المللی انرژی‌های تجدیدپذیر} (Beckman, 2016) وی اعلام نمود:

من باور دارم که مردم آن چه که در خارج از شبکه رخ می‌دهد را دست کم می‌گیرند. در بررسی‌های اخیرمان در این رابطه به این نتیجه رسیدیم که خصوصاً در

کشورهای در حال توسعه، سرمایه‌گذاری‌های زیادی در سیستم‌های خورشیدی خانگی انجام می‌گیرد. آمارهای مربوط به انرژی گویای این حقیقت نیستند، به همین دلیل است که ما آمارهای تجاری را در نظر گرفتیم. کارآفرینان دائماً در حال تولید هزاران سیستم خانگی این چنینی هستند که با کمک این سیستم‌ها می‌توان سرویس‌های انرژی برای کارهای اولیه مانند شارژ کردن موبایل، استفاده از یخچال و فریزر و چیزهایی از این قبیل را با قیمتی بسیار پایین تامین نمود. ما باید چارچوب سرمایه‌گذاری در کشورهای در حال توسعه را بهبود بخشیم. کمک کردن روش بی‌اثریست، و در واقع ما باید کارآفرینان را تشویق کنیم تا کسب و کارهای جدیدی را به راه بیندازند.

شایان ذکر است که برق‌رسانی با انرژی‌های تجدیدپذیر در مناطق دورافتاده الزاماً به تصمیمات ملی بستگی ندارد بلکه به ابتکار عمل نیاز دارد. البته که تامین مالی باید در تمامی سطوح ملی تشویق شود.

ادنان امین، رییس آژانس بین‌المللی انرژی‌های تجدیدپذیر می‌گوید: "مردم آن چه که خارج از شبکه توزیع رخ می‌دهد را دست کم می‌گیرند"

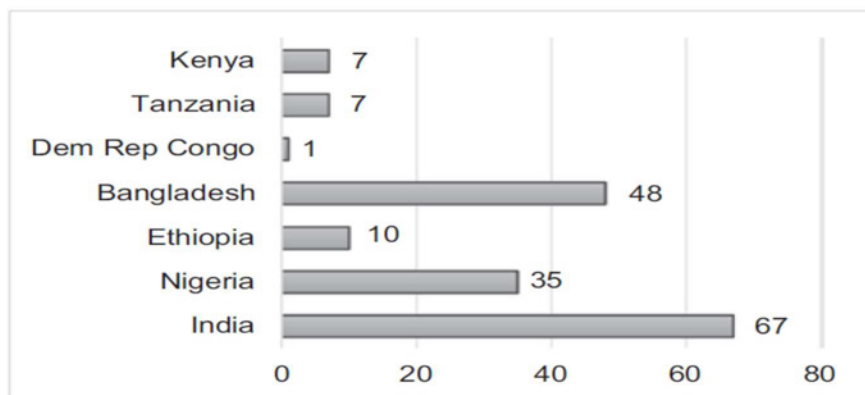
در اصل آن چه که انقلاب انرژی‌های تجدیدپذیر را جلو می‌برد کاهش هزینه‌های تولید انرژی می‌باشد. قیمت آن با سوخت‌های فسیلی مرسوم رقابت می‌کند و نویدبخش کاهش آتی بیشتر آن نیز می‌باشد. و حتی مهم‌تر: حقیقت از بین بردن انتشار کربن، نوید آب و هوایی بهتر در آینده را می‌دهد.

پتانسیل عظیمی در برق‌رسانی به نواحی روستایی آفریقا و آسیای در حال توسعه نهفته است. در شکل ۴-۳ می‌توانید این مورد را حتی برای کشورهای پردرآمد مشاهده فرمایید.

۳۴. آب پاکیزه با استفاده از انرژی خورشیدی و باد: خارج از شبکه‌ی توزیع

انرژی خورشیدی خارج از شبکه روز به روز جذابیت بیشتری پیدا می‌کند. در مناطقی مانند استرالیا و کالیفرنیا، حتی در قسمت‌هایی از هندوستان، انرژی خورشیدی فوتو ولتاییک به مرور از خرید انرژی از شبکه ارزانتر نیز می‌شود (فصل ۸

(WEC, 2016) طبیعتاً، اتصال به شبکه به این معنیست که می‌توان تامین بی‌وقفه انرژی برق را حتی در صورت قطعی سیستم‌های خارج از شبکه تضمین نمود.



{عبارات داخل آن: کنیا، تانزانیا، جمهوری کنگو، بنگلادش، اتیوپی، نیجریه، هند
 شکل ۳-۴ نرخ برق‌رسانی به بعضی کشورهای در حال توسعه (%). داده‌ها از آژانس بین‌المللی انرژی (IEA). (۲۰۱۳)

باید تاکید شود که افزایش برق‌رسانی و استفاده از انرژی الکتریکی حاصل از منابع تجدیدپذیر باعث افزایش گرمای زمین نمی‌شود. تولید دی اکسید کربن از سوخت‌های فسیلی باید کاهش یابد. بنابراین، هر جایگزینی برای دیزل ژنراتورها یا چوب سوزها تاثیر مثبتی بر آب و هوا دارد.

۳-۳ مقیاس‌پذیری انرژی‌های تجدیدپذیر

انرژی‌های تجدیدپذیر، علی‌الخصوص انرژی خورشیدی فوتو ولتاییک قابلیت مقیاس‌پذیری چشمگیری دارند. این سیستم‌ها می‌توانند به شدت ماژولار باشند و می‌توانند راهکارهایی برای مسائل تحت شبکه و همینطور مسائل خارج از شبکه ارائه دهند. این مقیاس می‌تواند مواردی همچون نورپردازی‌های کوچک در مناطق دور افتاده و یا مناطق مسکونی و تجاری در مقیاس کاربردی و صنعتی را در برگیرد.

اندازه‌ی آن می‌تواند از بازه‌ی کیلو ولت تا چند صد مگاوات متفاوت باشد. در نواحی دور افتاده انرژی‌های تجدیدپذیر می‌توانند وابستگی به سوخت‌های فسیلی، مانند نفت سفید و گازوئیل را از میان ببرند، که علاوه بر اقتصاد، بر سلامتی نیز تاثیر می‌گذارد.

۳۵. انقلاب انرژی‌های تجدیدپذیر

یک سیستم خورشیدی خانگی نیازهای اولیه مانند روشنایی و وسایلی که به الکتریسیته‌ی کمی نیاز دارند را برطرف می‌کند. افزایش ظرفیت تولید باعث تامین انرژی برای مصارفی مانند پمپ کردن آب، آبیاری و آبرسانی، تصفیه‌ی آب و استفاده‌ی دوباره از آب می‌شود.

انرژی‌رسانی را می‌توان در قالب سه چشم‌انداز در نظر گرفت:

- پیچیدگی
- سطح خطر
- قدرت مصرف‌کننده

سیستم‌های خورشیدی فوتو ولتاییک می‌توانند از ۱ تا ۱۰۰۰ پنل تشکیل شده باشند. اگر ظرفیت انرژی پایین باشد، می‌توان پنل‌های جدید اضافه کرد؛ و برعکس، اگر ظرفیت بسیار بالاتر از سطح مورد نیاز باشد، می‌توان پنل‌ها را به مشتری دیگری انتقال داد.

یکی از ویژگی‌های جالب انرژی خورشیدی فوتو ولتاییک این است که پنل‌ها از همه نظر مشابه یکدیگر هستند، عبارتی، پیچیدگی سیستم با بزرگ‌تر شدن اندازه‌ی آن افزایش نمی‌یابد، و بازده آن، با تغییر نسبت بازده به ظرفیت کاهش نمی‌یابد این مسئله برای نیروگاه‌های گرمایی صحت ندارد، یعنی نیروگاه‌های حرارتی اندازه‌ی عملیاتی بهینه‌ی خاصی دارند.

مقیاس‌پذیری انرژی‌های تجدیدپذیر بسیار چشمگیر است، به خصوص سیستم‌های خورشیدی فوتو ولتاییک. این سیستم‌ها می‌توانند به شدت ماژولار باشند.

به طور کلی، با توجه به مواد و نوع عملکرد سیستم‌هایی که توسط انرژی خورشید تغذیه می‌شوند، می‌توان آنها را بی‌خطر دانست. با این حال، بعضی از مواد شیمیایی، مانند کادمیوم در سلول‌های خورشیدی Cd-Te {کادمیوم تلوراید} در بیشتر باتری‌ها می‌توانند خطرناک باشند.

ریسک عملکرد نیز یک فاکتور مهم است. از آنجایی که در تجدیدپذیرها فقط مقیاس آن‌ها را افزایش می‌دهیم، هیچ خطر رو به رشدی ندارند. روش‌های متداول گرمایی تولید انرژی، همچون هسته‌ای یا ذغال سنگ، اندازه‌ی بهینه‌ای برای کاربرد با بهترین بازده دارند. این اندازه‌ی بهینه معمولاً به معنی نیروگاه بسیار بزرگی است، که سیستم آن پیچیدگی بیشتری نیز دارد. ساخت یک نیروگاه اتمی ۵۰ مگاواتی سودآور نیست. از سوی دیگر، انرژی‌های تجدیدپذیر را می‌توان فن‌آوری‌هایی بی‌خطر خواند.

مقیاس‌پذیری، قدرت مصرف‌کننده را افزایش می‌دهد. با دسترسی محلی شهروندان به انرژی، قدرت هر شهروند افزایش می‌یابد و وابستگی وی به یک قدرت مرکزی را کاهش می‌دهد. امید به غیرمتمرکز ساختن آب را ناپیوستگی دست کم گرفت، چرا که می‌توان آن را بعنوان افزایش نیروی مردمی در نظر گرفت.

۳۶. آب پاکیزه با استفاده از انرژی خورشیدی و باد: خارج از شبکه‌ی توزیع

این امکان وجود دارد که تولید انرژی در ابتدا با سرمایه‌گذاری کمی آغاز شود. هنگامی که درخواست برای تولید انرژی بیشتر شود، مازول‌های بیشتری اضافه خواهند شد. یکی از موضوعات مهم، زمان بین شروع و اتمام فرآیند تولید است؛ انرژی خورشیدی فوتو ولتایک کوتاه‌ترین مدت فرآیند را بین تمامی تولیدکننده‌های انرژی دارد. علاوه بر این، سوار کردن پنل‌های خورشیدی فوتوولتایک نیاز به هیچ تجهیزات پیچیده یا افراد آموزش دیده‌ای ندارد. بعلاوه، در آینده نیز می‌توان ظرفیت انرژی را افزایش داد.

۴-۳ هزینه توسعه انرژی خورشیدی فوتوولتایک و بادی

همان گونه که در شکل ۱-۲ نشان داده شده است، روند نزولی هزینه تکنولوژی های انرژی تجدیدپذیر، به خصوص انرژی های خورشیدی و بادی، به طور قابل توجهی باعث شدت گرفتن رقابت میان انرژی های تجدیدپذیر و سوخت های فسیلی می شود. امروزه نیز انرژی های تجدیدپذیری مانند انرژی بادی ساحلی، بایو مس، زمین گرمایی و انرژی آبی در رقابت با سوخت های فسیلی هستند و با وجود تخصیص یارانه به نفت و قیمت نسبتاً پایین این منبع انرژی، می توان گفت انرژی های تجدیدپذیر از هر نیروگاه سوخت فسیلی ارزان تر هستند. (IRENA, 2017a). نیاز به توضیح ندارد که چطور انرژی بادی غیرساحلی و انرژی خورشیدی مقیاس کوچک پشت بامی دو برابر گران تر از انرژی بادی ساحلی و خورشیدی فوتوولتایک صنعتی است.

بهای تکنولوژی های انرژی های تجدیدپذیر در سال های اخیر به شدت افت کرده است. قیمت ماژول های خورشیدی فوتوولتایک بین سال های ۲۰۰۹ و ۲۰۱۶ ۸۰٪ افت نموده است. بهای توربین های بادی نیز در بازه ی زمانی مشابه دچار افت تقریبی ۴۰٪ شده است (IRENA, 2017a). این هزینه ها شامل هزینه ی بالانس کردن شبکه ی توزیع یا هزینه ی جبران تولید متناوب نمی شود. مدیریت این هزینه ها، چالش اقتصادی بعدی سیستم های خورشیدی و بادی خواهد بود. همچنین غیر از هزینه خود پنل خورشیدی یا توربین بادی هزینه سیستم های الکتریکی، هزینه ی کسب مجوز و هزینه ی نصب نیز وجود دارد. در یک سیستم خارج از شبکه، هزینه ی ذخیره سازی انرژی نیز باید در نظر گرفته شود (فصل ۱۰ را هم ببینید).

با در نظر گرفتن هزینه های اجتماعی بالای آلودگی ناشی از استخراج یا سوزاندن گاز طبیعی یا ذغال سنگ، رقابت در انرژی های تجدیدپذیر افزایش می یابد. این مورد را در چین می توان مشاهده کرد که انرژی حاصل از باد از نظر ظرفیت از انرژی نیروگاه های اتمی در سال ۲۰۰۹ پیشی گرفت و در سال ۲۰۱۲ نیز سطح تولید

انرژی بادی از انرژی هسته‌ای تولید شده فراتر رفت. (متیوز^۱، ۲۰۱۶)

برآوردهای مرسوم بهای انرژی الکتریکی، هزینه‌های بالای اجتماعی ناشی از آلودگی ناشی از استخراج و سوازدن ذغال سنگ یا گاز طبیعی را در نظر نمی‌گیرند.

۳۷. انقلاب انرژی‌های تجدیدپذیر

حراج‌های زیادی برای عملی ساختن انرژی‌های تجدیدپذیر در بسیاری از کشورها برگزار شده است. در پایان سال ۲۰۱۶، ۶۷ کشور مجری چنین حراج‌هایی بوده و رکوردهای جدیدی از قیمت‌های پایین را برای انرژی خورشیدی فوتو ولتایک و انرژی بادی به ثبت رساندند. برای مثال، در مراکش، متوسط قیمت ۳۰ دلار آمریکا برای هر مگاوات انرژی خورشیدی فوتو ولتایک به ثبت رسید، در حالی که پایین‌ترین قیمت، ۲۴٫۲ دلار آمریکا به ازای هر مگاوات در ابوظبی برای ۳۰۰ مگاوات پیشنهاد شد (IRENA, 2017a). این رویداد همچنین به این معنی است که رکوردهایی برای انرژی‌های ارزان قیمت در سطح ۳۰ دلار آمریکا به ازای هر مگاوات ساعت در این حراج‌ها به ثبت رسیده است. (IEA, 2017a).

انرژی خورشیدی فوتو ولتایک تنها برای نواحی دور افتاده‌ی خارج از شبکه توزیع برق واقع بینانه‌ترین و ارزان‌ترین منبع انرژی نیست. نه فقط (شکل ۱-۲) را ملاحظه کنید). حتی امروزه، در چندین کشور، الکتریسته‌ی ناشی از پنل‌های فوتو ولتایک مقیاس کوچک ارزان تر، برق شبکه‌ی توزیع را تامین می‌کند. امروزه، انرژی خورشیدی فوتو ولتایک از برق تولید شده بوسیله ژنراتورهای گازوئیلی یا نور تولید شده از نفت سفید ارزان تر شده است و در عین حال، کاربر را از مشکلات اجتماعی و محیط‌زیستی مرتبط با سوخت‌های فسیلی مانند هزینه‌های لازم برای انتقال آن‌ها در امان نگه می‌دارد.

هزینه‌ی انرژی بادی نیز می‌تواند با روش‌های متداول تولید انرژی رقابت کند (شکل ۱-۲). به عنوان مثال، در نیوزلند، در سال ۲۰۱۱، هزینه حاشیه‌ای مزرعه‌های بادی برای طولانی مدت تنها بین ۵۶ الی ۷۵ دلار آمریکا در ساعت بود. قیمت انرژی

الکتری در همان بازه‌ی زمانی ۵۳ الی ۶۰ دلار آمریکا به ازای هر مگاوات ساعت بود. از آن زمان تا به حال هزینه انرژی بادی به شدت کمتر شده است (فصل ۱۰، WEC, 2016).

با چندین متخصص، پیرامون آینده‌ی انرژی‌های تجدیدپذیر در مقایسه با سوخت‌های فسیلی مصاحبه شده است (شکل ۲-۱). یکی از سوالات به این صورت بود که آیا روند نزولی بهای انرژی‌های تجدیدپذیر ادامه خواهد داشت و طی ده سال آینده از سوخت‌های فسیلی پیشی خواهند گرفت یا خیر. از این متخصصان ۶۷٪ با این بیانیه موافق و یا به شدت موافق بودند و تنها ۱۳٪ از ایشان با آن مخالف و ۲۰ درصد دیگر نیز ممتنع بودند. متخصصان به شدت درباره‌ی قیمت نفت در آینده تردید داشتند. متقابلاً بهای انرژی‌های تجدیدپذیر در آینده قابل پیش‌بینی و قطعی در نظر گرفته می‌شد.

حتی با این که انرژی خورشیدی فوتوولتاییک و انرژی بادی امروزه نیز از انرژی حاصل دیزل ژنراتورها ارزانتر هستند، تعویض ژنراتورهای مرسوم در بسیاری از مکان‌ها کاری چالش‌برانگیز است. علت نیز این است که دیزل ژنراتورها، مدت زیادی بعنوان تکنولوژی مورد استفاده در نواحی خارج از شبکه کاربرد داشته و بازار دیزل ژنراتورها و زنجیره تامین آن کاملاً بالغ است. در سال ۲۰۱۵، کشورهای در حال توسعه، ۶۰۰۰۰ واحد دیزل ژنراتور با مجموع ظرفیت ۲۹ گیگاوات خریده و نصب کرده‌اند. بیش از نیمی از این توان از واحدهایی (ژنراتورهای) کوچکتر از ۰٫۳ مگاوات تولید می‌شود^۱. علاوه بر این، اثرات ماندگار کربن انرژی تولید شده از دیزل ژنراتورها تقریباً ۲ برابر میانگین اثر ماندگار کربن برق حاصل از شبکه‌ی توزیع آفریقا می‌باشد.

۳۸. آب پاکیزه با استفاده از انرژی خورشیدی و باد: خارج از شبکه‌ی توزیع

علیرغم هزینه‌ی پایین انرژی خورشیدی فوتوولتاییک، هنوز رقابتی ناخوشایند میان این گونه از انرژی و دیزل ژنراتورها وجود دارد. یک دلیل آن نبود فرصت‌های

۱. climatescope, 2017

سرمایه‌گذاری است (فصل ۱۲ را نیز مطالعه کنید). برق تولید شده توسط دیزل ژنراتور، ۲ تا ۳ برابر از برق تولید شده با پنل‌های خورشیدی فوتوولتاییک گرانتر بوده و قیمت سوخت نیز یک فاکتور بسیار مهم محسوب می‌شود. برای انرژی خورشیدی فوتوولتاییک، هزینه‌ی ابتدایی بالاتر است در حالی که سوخت بی‌هزینه‌ای نتیجه می‌دهد. حتی اگر برق تولید شده توسط موتورهای دیزل در طولانی مدت هزینه برتر باشد، هزینه خود ژنراتورها پایین است.

۵-۳ گسترش جهانی انرژی خورشیدی فوتوولتاییک

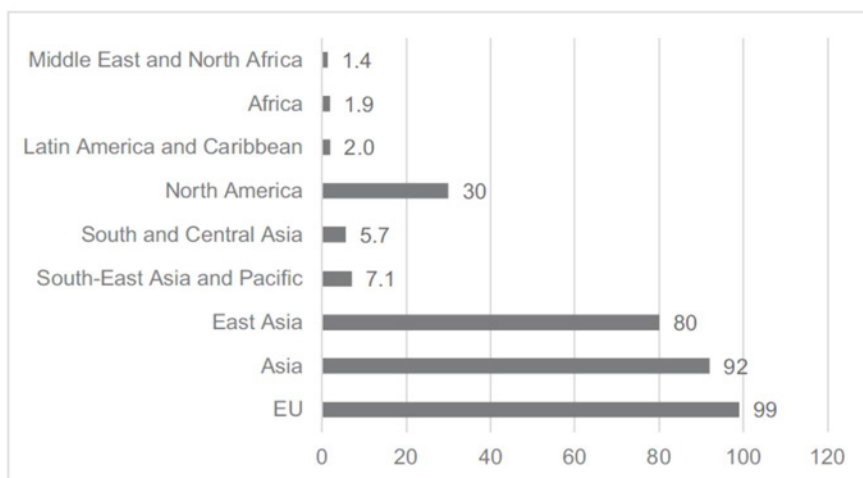
میزان انرژی در دسترس ناشی از تابش خورشید بسیار زیاد است. میانگین جهانی تابش خورشید جذب شده توسط یک مترمکعب در سال قادر است تا به اندازه‌ی یک بشکه نفت (۱۵۹ لیتر)، معادل ۲۰۰ کیلو گرم ذغال سنگ و یا ۱۴۰ مترمکعب گاز طبیعی انرژی تولید کند.

انرژی خورشیدی‌ای که به طور مستقیم از خورشید به دست می‌آید، تشعشع خورشیدی نام دارد. دو نوع تکنولوژی مبتنی بر انرژی خورشیدی می‌توان نام برد: فوتوولتاییک و کالکتورهای گرمایی. یک پنل فوتوولتاییک به طور مستقیم از تشعشع خورشید، الکتریسیته تولید می‌کند. جمع‌کننده‌های گرمایی خورشیدی سال‌هاست که برای گرمایش خانگی و تامین آب گرم استفاده می‌شوند. عبارت تابش خورشیدی واحد اندازه‌گیری انرژی خورشید بر یک محدوده‌ی خاص می‌باشد و معمولاً با وات بر متر مربع بیان می‌شود. خورتابگیری^۱ واحد اندازه‌گیری انرژی حاصل از خورشید است و از میانگین یک بازه‌ی بلند مدت به دست می‌آید و به صورت وات ثانیه بر مترمکعب به ازای هر روز یا کیلو وات ساعت بر مترمکعب به ازای هر روز بیان می‌شود. در برخی متون، این دو عبارت گاهی به صورت متناقض یکدیگر به کار می‌روند.

ظرفیت جهانی الکتریسیته‌ی ناشی از انرژی خورشیدی روندی نمایی به خود

۱. Insolation

دیده و به حدود ۲۲۷ گیگاوات در پایان سال ۲۰۱۵ رسیده است (فصل ۸، WEC, 2016) و در پایان سال ۲۰۱۶، به ۳۲۰ گیگاوات رسید (Fraunhofer, 2016). انرژی خورشیدی، ۱٪ تمام الکتریسیته‌ای که در جهان مصرف می‌شوند را تولید می‌کند. نصب سیستم‌های خورشیدی فوتوولتایک مطمئناً به طور یکسان در سرتاسر قاره‌ها همگن نبوده است؛ کشورهای چین، هند، آلمان و آمریکا در این امر پیشتاز بوده‌اند (IEA, 2016a). شکل ۵-۳ نشان می‌دهد که بیشترین اقدامات نصب سیستم‌های خورشیدی در نواحی‌ای که نسبتاً منابع خورشیدی کمتری دارند بوده است (اروپا و چین)، در حالی که پتانسیل در مناطق با منابع غنی (آفریقا و خاورمیانه) دست نخورده مانده است (فصل ۸، WEC, 2016). پتانسیل عظیمی برای توسعه سیستم‌های خورشیدی فوتو ولتایک در آفریقا، آسیای رو به توسعه و آمریکای جنوبی وجود دارد، جایی که تابش خورشید فراوان است. به این قضیه بیشتر در فصل ۸ پرداخته می‌شود.



{عبارات داخل شکل ۵-۳: خاورمیانه و شمال آفریقا، آفریقا، آمریکای لاتین و کارئیب، آمریکای شمالی، جنوب آسیا و آسیای مرکزی، جنوب شرق آسیا و اقیانوسیه، شرق آسیا، آسیا، اروپا}

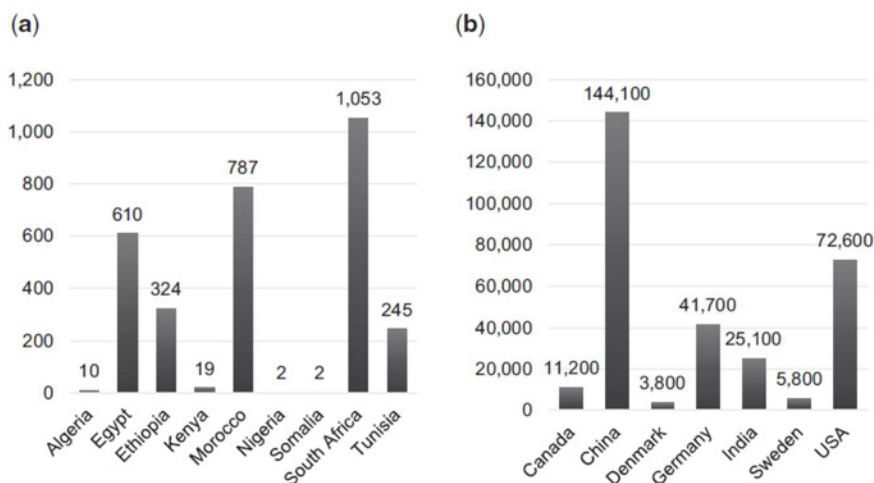
شکل ۵-۳ داده‌های میزان ظرفیت انرژی خورشیدی نصب شده در مناطق مختلف دنیا به گیگاوات در پایان سال ۲۰۱۵. آسیا به صورت کامل و همینطور در قالب سه قسمت اصلی نشان داده شده است. منبع داده: آژانس بین‌المللی انرژی (2016a).

۶-۳ گسترش جهانی انرژی بادی

ظرفیت تولید انرژی بادی دنیا در پایان سال ۲۰۱۵ به ۴۳۵ گیگاوات رسید، که حدود ۷٪ از کل ظرفیت تولید انرژی جهانی می‌باشد (فصل ۱۰، WEC 2016). در تنها یک سال، سال ۲۰۱۵، نرخ رشد بیش از ۱۷٪ بود. پیش‌بینی می‌شود که ظرفیت جهانی انرژی بادی تا سال ۲۰۳۹ به ۹۷۷ گیگاوات برسد. بخش غالب انرژی بادی (۹۰۵ گیگاوات) ساحلی خواهد بود در حالی که انتظار می‌رود ۷۲ گیگاوات آن غیرساحلی باشد.

بخش اعظم ظرفیت انرژی بادی در سال ۲۰۱۵، یعنی ۴۲۲ گیگاوات آن، توسط واحدهای بزرگ ساحلی تولید میشد، که توان هر ماشین به طور میانگین ۲ مگاوات در نظر گرفته می‌شود. انرژی بادی غیرساحلی، حدود ۱۲ گیگاوات، توسط ۴۰۰۰ هزار ماشین با میانگین توان ۳ مگاوات تولید می‌شود. توربین‌های بادی کوچک ساحلی قسمت بسیار کوچکی از ظرفیت، یعنی کمتر از ۱ گیگاوات را عهده‌دار هستند. این ۸۰۰۰۰۰ توربین کوچک به طور میانگین ۱،۲۵ کیلووات انرژی تولید می‌کنند.

طبیعتاً، منابع بادی در مناطق مختلف، متفاوت هستند. گزارش آژانس بین‌المللی انرژی‌های تجدیدپذیر (2016d)، نواحی شمالی، شرقی و جنوبی آفریقا از منابع بادی فوق‌العاده‌ای برخوردارند. با این حال، این ویژگی منحصر بفرد در مقدار انرژی حاصل از توربین‌های بادی در این کشورها انعکاس داده نشده است، همان‌طور که در شکل ۶-۳ می‌بینید، پتانسیل برداشت انرژی بادی باید بسیار بالا باشد. چالشی که پیش روی داریم، وضعیت جغرافیایی نیست بلکه فرصت‌های سرمایه‌گذاری است.



{عبارات داخل شکل ۳-۶ از راست به چپ: ایالات متحده آمریکا، سوئد، هند، آلمان، دانمارک، چین، کانادا، تونس، آفریقای جنوبی، سومالی، نیجریه، مراکش، کنیا، اتیوپی، مصر، الجزیره}

شکل ۳-۶: میزان انرژی بادی ساحلی (به مگاوات) در برخی از کشورهای آفریقایی در مقایسه با میزان انرژی بادی ساحلی در بعضی از کشورهای پر درآمد. در نظر داشته باشید که مقیاس دو جدول به اندازه صد برابر نسبت به یکدیگر متفاوت هستند. منبع داده‌ها شورای جهانی انرژی (2016).

جدول ۱۱

پیش‌تازان افزایش ظرفیت انرژی بادی، چین و کشورهای عضو اتحادیه اروپا هستند. تعهدات چین به COP21 (کنفرانس تغییر اقلیم ۲۰۱۵ سازمان ملل متحد) بیان کرده است که ظرفیت انرژی بادی تا سال ۲۰۲۰ باید به ۲۰۰ گیگاوات، و ظرفیت انرژی خورشیدی به ۱۰۰ گیگاوات برسد. امروزه نیز نشانه‌هایی وجود دارد که چین در تلاش است تا به اهداف بزرگتری تا سال ۲۰۲۰ برسد، یعنی افزایشی ۳۰ الی ۵۰ گیگاواتی در تولید انرژی بادی و هم‌منطور انرژی خورشیدی فوتو ولتایک (IEA, 2016). این امر قطعاً تأثیراتی جهانی خواهد داشت. توربین‌های مقیاس کوچک برای مصارف زیادی به کار می‌روند، از جمله برق‌رسانی به مناطق روستایی و پمپ کردن آب. نصب آن‌ها روندی افزایشی دارد تا جایگزین دیزل ژنراتورهای در نواحی دور افتاده شوند. در ۵ کشور بزرگ دارای توربین‌های مقیاس کوچک حد

بالای ظرفیت بین ۱۵ تا ۱۰۰ کیلووات است. (اتحادیه جهانی انرژی بادی^۱، ۲۰۱۶) تکنولوژی‌های رقیب، مانند تکنولوژی‌های خورشیدی که هر روز قیمت کمتری پیدا می‌کنند، باعث بروز چالش‌هایی برای سیستم‌های بادی کوچک می‌شوند. اما از دل این چالش‌ها فرصت‌هایی برای نوآوری و افزایش بازدهی و کاهش هزینه‌های تکنولوژی‌های بادی کوچک بیرون می‌آید.

در سال، ۲۰۱۶ تکنولوژی بادی ۲۲۶ تراوات ساعت انرژی تولید کرد، که طبق تخمین‌ها از تولید ۱۶۰ میلیون تن دی اکسید کربن جلوگیری نموده و می‌تواند جایگزین نیروگاه‌هایی که با سوخت فسیلی کار می‌کنند شود. این قضیه برابر است با ۹٪ کاهش در انتشار دی اکسید کربن بوسیله بخش انرژی (اتحادیه‌ی انرژی بادی آمریکا^۲، ۲۰۱۷).

۴۱. انقلاب انرژی‌ها تجدیدپذیر

(AVERT^۳ نشان‌دهنده میزان کاهش آلاینده‌گی بوسیله انرژی‌های تجدیدپذیر و افزایش بهره‌وری انرژی است و در قالب آماری محتمل‌ترین کاهش خروجی یک نیروگاه فسیلی بعلت افزایش بهره‌وری و استفاده از انرژی‌های تجدیدپذیر محاسبه می‌شود. همچنین از اراضی برای انرژی بادی بسیار کم استفاده می‌شود، زیرا می‌توان از زمین مورد استفاده برای تولید انرژی بادی، استفاده‌های دیگری نیز نمود (فصل ۱۳ را نیز مطالعه فرمایید).

به خاطر نامنظم بودن طبیعت انرژی بادی و انرژی خورشیدی (فصل ۱۰ را مطالعه فرمایید)، همواره مسئله‌ی عدم وجود تولید و تولید بیش از نیاز به انرژی وجود دارد. DNV GL (۲۰۱۷) توضیح می‌دهد که توجه خیلی کمی به این مسئله می‌شود که مازادی‌های موقتی انرژی بادی و خورشیدی چه تاثیری بر جنبه‌ی

۱. WWEA

۲. AWEA

۳. محاسبات اتحادیه‌ی انرژی بادی آمریکا بر مبنای قاعده‌ای که توسط سازمان حفاظت از محیط زیست آمریکا تنظیم شده می‌باشد.

اقتصادی انرژی‌های تجدیدپذیر می‌گذارد: "هنوز نمی‌دانیم که این امر چه تاثیری دارد. با این حال:

"گرمای بدست آمده بایستی کربن‌زدایی نیز بشود، بنابراین منطقی است که مازاد انرژی‌های تجدیدپذیر را ذخیره کنیم. برای نمونه آب را با آن گرم، یا آب را به بخار تبدیل کرده، تا از آن برای گرمایش استفاده نماییم. هنوز مشخص نیست که اقتصادی‌ترین راه چه خواهد بود"

۷-۳ پیامدهای اقتصادی و ژئوپلیتیکی

انرژی‌های تجدیدپذیر بر دو فاکتور مهم تاثیر می‌گذارند: اقتصاد و ژئوپلیتیک. منابع انرژی تجدیدپذیر محصولات تولید شده هستند (متیوز و تان^۱، ۲۰۱۴). استفاده از تولید انبوه به این معنی است که با افزایش تولید، هزینه‌ها کاهش می‌یابند^۲. علاوه بر این، با افزایش میزان تجربه، می‌توان بازدهی تولید را افزایش داد و همینطور از مشخصه‌های الگوی مقیاس منحنی یادگیری صنعتی پیروی کرد. افزایش میزان تولید به احتمال زیادی باعث کاهش هزینه‌هایی خواهد شد. طبق قوانین تجربی، در بسیاری از محصولات، دو برابر کردن میزان تولید، باعث کاهش ۲۰ درصدی قیمت هر واحد از آن محصول می‌شود. مطمئناً فاکتورهای دیگری بغیر از میزان تولید وجود دارند که بر قیمت تاثیر می‌گذارند.

این حقیقت که تولید (انرژی) می‌تواند در هر محلی اتفاق بیافتد به این معنی است که انرژی‌های تجدیدپذیر می‌توانند انرژی ایمن برای جوامع به ارمغان بیاورند. این فشار ژئوپلیتیکی که یک کشور میزان زیادی ذخیره‌ی سوخت فسیلی دارد، در حالی که کشور دیگر از آن محروم‌اند در واقع فشاری غیرواقعی است. انرژی‌های تجدیدپذیر این وعده را دارند که به این ارتباط شدید امنیت انرژی به مسائل ژئوپلیتیک پایان دهند.

۱. Mathews & Tan

۲. صرفه‌جویی مقیاس

در جدول ۳-۱ دو کشور اصلی به لحاظ ظرفیت کل یا تولید انرژی ارائه شده است.

۴۲. آب پاکیزه با استفاده از انرژی خورشیدی و باد: خارج از شبکه‌ی توزیع

جدول ۳-۱ دو کشور اصلی از لحاظ ظرفیت کل یا میزان تولید انرژی‌های تجدیدپذیر

کشور اول	کشور دوم	نوع انرژی الکتریکی
ایالات متحده آمریکا	دانمارک	انرژی تجدیدپذیر غیر از انرژی آبی
آلمان	دانمارک	ظرفیت انرژی تجدیدپذیر به ازای هر نفر (غیر از انرژی آبی)
آلمان	چین	ظرفیت انرژی خورشیدی فوتو ولتایک
ایتالیا	آلمان	ظرفیت انرژی خورشیدی فوتوولتایک به ازای هر شخص
ایالات متحده آمریکا	چین	ظرفیت انرژی بادی
سوئد	دانمارک	ظرفیت انرژی بادی به ازای هر نفر

منبع: داده‌ها توسط REN21 (2017a).

انرژی‌های تجدیدپذیر این وعده را دارند که به این ارتباط شدید امنیت انرژی به مسائل ژئوپلیتیک پایان دهند.

منابع انرژی در سرتاسر جهان داد و ستد می‌شوند. این قضیه به طور چشمگیری در وبسایت موسسه سلطنتی امور بین‌الملل انگلستان، معروف به کاخ چاتام^۱ نشان داده شده است.^۲ می‌توان تولید انرژی الکتریکی که در گذشته با داد و ستد بین‌المللی ذغال سنگ انجام می‌شد را با گاز طبیعی، نفت خام و اورانیم جایگزین نمود. حالا با رقبای جدیدی مانند باد، نور، و خورشید روبرو هستیم که نمی‌توان آن‌ها را به صورت بین‌المللی داد و ستد کرد. بر خلاف کالاهایی مانند سوخت، فلزات و سایر مواد، که می‌توان آن‌ها را از محلی استخراج کرد و به محلی دیگر، حتی به

۱. Chatham House

۲. [https://resourcetrade. earth/](https://resourcetrade.earth/)

بازارهای بین‌المللی انتقال داد، باد و نور خورشید غیرمادی هستند و معمولاً در مکان کاربریشان یافت می‌شوند. با این حال، انرژی بادی و همينطور انرژی خورشیدی به طور پيوسته در زمینه‌ی تولید انرژی نقش پررنگ‌تری ایفا می‌کنند.

۸-۳ مهارت‌های شغلی برای سوار و اجرای کردن واحدهای کوچک

زمان مورد نیاز برای نصب پنل‌های خورشیدی و تجهیزات اضافی آن نسبت به دیگر روش‌های تولید انرژی بسیار کم می‌باشد. در حالی که سال‌ها طول می‌کشد تا یک نیروگاه گرمایی بزرگ تکمیل شود (هسته‌ای یا ذغال سنگی)، یک سیستم متشکل از پنل‌های خورشیدی جهت کاربردهای کوچک می‌تواند طی چند هفته و یا حتی چند روز تکمیل شود.

بیشتر امور مربوط به نصب را می‌توان توسط کارگران غیرمتخصص مانند کارگرهای محلی انجام داد. بعبارتی، سر هم کردن سیستم‌های انرژی تجدیدپذیر می‌تواند باعث اشتغال زایی افراد بومی آن محل و همينطور افراد ساکن همان شهر شود. نصب توربین‌های بادی بزرگ به تجهیزات ویژه و افراد آموزش دیده‌ی بیشتری نیاز دارد. مسلماً برای نصب توربین‌های کوچک، به تجهیزات پیشرفته‌ای که در راه‌اندازی توربین‌های بزرگ استفاده می‌شود، نیازی نیست.

سوار کردن پنل‌های خورشیدی نیازی به متخصصان به شدت آموزش دیده یا تجهیزات پیشرفته ندارد.

واضح است که توسعه و اجرای انرژی‌های تجدیدپذیر خارج از شبکه‌ی توزیع بدون کمک فنی و افزایش ظرفیت انسانی موفقیت آمیز نخواهد بود. آموزش در سطوح مختلف یکی از موارد اساسی است. در مطلبی که اخیراً توسط دکتر لارنس جونز، معاون رییس برنامه‌های بین‌الملل در موسسه الکتریک ادیسون^۱ پیرامون برق رسانی منتشر شد (جونز^۲، ۲۰۱۸)، پیشنهاد شد که برای دستیابی به "دسترسی

۱. Electric Edison Institute

۲. Jones

همگانی به برق " باید معیار اندازه‌گیری که در قالب "تعداد مهندسين، تکنسین‌ها و غیره به ازای هر مگاوات" بیان می‌شود را در نظر داشته باشیم. دکتر جونز همچنین اشاره می‌کند که کشورهای جنوب صحرای آفریقا و جنوب آسیا باید به طور قابل ملاحظه‌ای تعداد و ظرفیت مهندسين و تکنسین‌هایی که قادر به توسعه، نصب، به کارگیری و تعمیر اجزای شبکه‌ی توزیع برق و تجهیزات توزیع برق خارج از شبکه باشند را افزایش دهند. یک تحلیل فراگیر حول فرصت‌های شغلی در زمینه انرژی‌های تجدیدپذیر در هند توسط شورای انرژی، آب و محیط زیست^۱ (۲۰۱۷) ارائه شده و در آن به فرصت‌های شغلی در انرژی‌های تجدیدپذیر در فصل ۱۲،۲ پرداخته شده است.

۳-۹ مطالعه‌ی بیشتر

آژانس بین‌المللی انرژی^۲ و آژانس بین‌المللی انرژی‌های تجدیدپذیر^۳ منابعی کلیدی برای بسیاری از اطلاعات پیرامون انرژی‌های تجدیدپذیر هستند. IEA (2017b)، IRENA (2016c, 2017 a) و REN21 (2017a, 2017b) داده‌های زیادی را ارائه می‌کنند. IRENA (2016a) اطلاعات آماری زیادی از انرژی‌های تجدیدپذیر در کشورهای مختلف دارد.

سیستم‌های خورشیدی خانگی با جزئیات در (2013) Lighting Africa و BNEF و (2016) Lighting Global تشریح شده‌اند. شورای انرژی جهانی منبعی غنی از اطلاعات درباره‌ی توسعه‌ی انرژی خورشیدی و بادی می‌باشد (WEC, 2016). و ارادی (2017) و و ارادی و همکاران (2018) اطلاعات درون سازمانی و مروری فراگیر بر انرژی خورشیدی و نقش آن در آفریقا خاورمیانه ارائه می‌کند.

۴۴. آب پاکیزه به وسیله‌ی انرژی خورشیدی و باد: خارج از شبکه‌ی توزیع

۱. CEEW

۲. IEA

۳. IRENA

خبرنامه‌ی انرژی پست^۱ منبعی فوق العاده از اطلاعات درباره‌ی عرصه‌ی به سرعت در حال تغییر انرژی‌های تجدیدپذیر می‌باشد.

مقالات زیادی درباره‌ی شبکه‌های توزیع کوچک برای نواحی روستایی وجود دارد. انجمن ملی تعاونی برق روستایی^۲ کتابچه‌ی راهنمایی برای طراحی شبکه‌های کوچک توزیع برق در نواحی روستایی منتشر کرده است (Inversin, 2000). یک کتابچه‌ی راهنمای خوب برای متصل کردن شبکه‌های توزیع کوچک (یا پیکو گرید) کمتر از ۲۰۰ کیلووات توسط گریسن و همکاران^۳ (2013) منتشر شده است. گزارش فراگیری که توسط USAID (2014) انجام شده نکات مهمی راجع به شبکه‌های توزیع کوچک در نواحی روستایی کشورهای رو به توسعه را به تحریر درآورده است. چالش‌های پیش رو، ترکیبی از تکنولوژی، تامین سرمایه، و مدیریت می‌باشند. مطالعه‌ی هفت سیستم توزیع کوچک برق‌رسانی به مناطق روستایی در گزارش سازمان ملل که توسط اشنیتزر و همکاران^۴ (۲۰۱۴) انجام شد، رکورد بالاترین سطح ارزش را به خود اختصاص داد. ۵ پرونده‌ی برق‌رسانی در هندوستان، یک پرونده برق رسانی در مالزی و یک پرونده از برق‌رسانی در هائیتی. تجارب برق‌رسانی در مناطق روستایی توسط سیستم‌های توزیع کوچک برای کنیا (کیروبی و همکاران^۵، ۲۰۰۹) بنگلادش (یادو و کروکشنک^۶، ۲۰۱۰) و نپال (پالیت و چاوری^۷، ۲۰۱۱) گزارش شده‌اند. لازم به ذکر است که مسائل فنی تنها قسمتی از راه‌حلی کامل هستند. امکان تامین مالی، هزینه‌های بالا و پیش‌بینی نشده و نبود صلاحیت و اعتماد می‌توانند باعث شکست خوردن یک سیستم شوند، حتی اگر جنبه‌های فنی راضی‌کننده

۱. Energy Post: <http://energypost.eu>

۲. NRECA

۳. Greacen et al

۴. Schnitzer et al

۵. Kirubi et al

۶. Yadoo & Cruickshank

۷. Palit & Chaurey

باشند (کوست و همکاران^۱، ۲۰۰۷).

- فصل چهارم: تامین آب
- فصل پنجم: تصفیه‌ی آب
- فصل ششم: نمکزدایی و گرم کردن آب
با گرمای خورشید
- فصل هفتم: تصفیه آب استفاده شده

کلیه عملیات آبی نیاز به انرژی دارند. سرتاسر چرخه‌ی تامین آب منجمله مراحل پمپ کردن آب و انتقال، تصفیه، مصرف و جمع‌آوری و تصفیه‌ی آب مصرف شده به انرژی وابسته است. بنابراین، در دسترس بودن انرژی الکتریکی محلی برای دستیابی به آب پاک بسیار ضروریست. علاوه بر این، انرژی در کاربرد عقلانی و حتی در صورت امکان، استفاده مجدد از آب نقش مهمی ایفا می‌کند.

پمپ کردن یکی از بخش‌های بیشتر عملیات‌های آبی است و یک عامل پیش نیاز برای انتقال آب محسوب می‌شود. موارد مربوط به کاربرد انرژی در پمپاژ آب در فصل ۴ مورد بحث قرار می‌گیرند. استفاده‌های مختلف از آب‌های سطحی یا زیرزمینی نیازمند کیفیت‌های مختلفی از آب است: آب مورد استفاده برای آبیاری می‌تواند کیفیت پایین‌تری نسبت به آب آشامیدنی داشته باشد؛ آب خاکستری ناشی از شست و شو می‌تواند برای مصارف دیگر دوباره استفاده شود. چندین روش تصفیه‌ی آب به‌طور مختصر در فصل ۵ تشریح می‌شود. همیشه به انرژی الکتریکی برای دستیابی به آب آشامیدنی نیاز نیست: تقطیر بوسیله انرژی خورشیدی در فصل ۶ مورد بحث قرار می‌گیرد، لازم به ذکر است که تقطیر خورشیدی روشی ارزان و اثبات شده و سنتی برای دستیابی به آب آشامیدنی می‌باشد. آب استفاده شده باید تصفیه شود و در این رابطه، بعضی از

تکنولوژی‌های تصفیه‌ی سنتی به طور خلاصه در فصل ۷ تشریح می‌شوند. تمرکز ما بر روی انرژی مورد نیاز برای تکنولوژی‌های مختلف می‌باشد.

فصل



تامین آب

"آب نیروی محرکه‌ی همه‌ی طبیعت است"

لئوناردو داوینچی ۱۴۵۲-۱۵۱۹

حتی امروزه نیز افراد بسیاری هستند که به سختی آب مورد نیاز برای امرار معاش خود را تامین می‌کنند. تامین آب به وسیله‌ی لوله‌کشی نیاز به ظرفیت پمپاژ و انرژی الکتریکی دارد. پمپاژ زیر بنای تامین آب و تصفیه و آبیاری می‌باشد. برخی از ویژگی‌های پایه‌ای پمپاژ در قسمت ۴-۱ مورد بررسی قرار گرفته‌اند. در قسمت ۴-۲ به بعضی از این ویژگی‌ها در زمینه نواحی در حال توسعه پرداخته می‌شود. پارامترهای کلیدی عملیات پمپاژ در قسمت ۴-۳ تشریح می‌شوند و بازده پمپ در قسمت ۴-۴ بیان می‌شود. طبیعتاً پمپاژ اجزای ضروری متعددی دارد که بعضی از این اجزای کلیدی در قسمت ۴-۵ تشریح می‌شوند.

۴-۱ پمپاژ

پمپ کردن آب - چه آب بهداشتی، چه آب آلوده - یک عمل کلیدی چه در عملیات‌های غیرمتمرکز و چه در عملیات‌های متمرکز می‌باشد. برای تامین آب باید

از منبع - رود یا دریاچه - منتقل شود یا از زیر زمین بیرون کشیده شود تا تصفیه شود. در نواحی روستایی، پمپاژ آب برای آبیاری مهم‌ترین مسئله است. پمپاژ آب به منظور تامین، استفاده مجدد و تصفیه آب از مصارف اصلی انرژی برق در نواحی روستایی است. مصرف انرژی معمولاً پرهزینه‌ترین قسمت چرخه عمر یک سیستم پمپاژ است، چرا که پمپ‌ها بیش از ۲۰۰۰ ساعت در سال کار می‌کنند. تامین انرژی الکتریکی برای پمپاژ آب در نواحی روستایی کشورهای در حال توسعه کاری بیهوده نیست. هر چند، محصولات جالبی بر پایه‌ی انرژی خورشیدی در حال حاضر در دسترس هستند.

برای تامین آب در مقیاس‌هایی کوچک، فشار مورد نیاز برای توزیع آب را می‌توان از قرار دادن یک پمپ یا یک مخزن در ارتفاع و استفاده از انرژی پتانسیل بدست آمده تامین کرد. اگر قرار است آب آلوده با روش نمک‌زدایی تصفیه شود، نیاز قابل توجهی به انرژی پمپاژ وجود دارد؛ (به ۳-۵ و ۵-۸ مراجعه فرمایید). هر عملیات تصفیه‌ی آب مصرف شده (پساب) یا بازچرخانی و استفاده مجدد آن از انرژی پمپاژی استفاده می‌کند (فصل ۷). مشخص است که تکنولوژی پمپاژ قسمتی اساسی از هر سیستم آبی می‌باشد و داشتن پمپاژی پربازده برای هر عملیات یک امر حیاتی است.

در میان مزایای پمپاژ به وسیله‌ی انرژی خورشیدی فوتو ولتاییک چهار مورد از آن‌ها چشمگیرتر هستند: کارکردن آن‌ها بدون نیاز به نظارت، هزینه‌های پایین نگهداری، نصب آسان و عمر زیاد. جنبه‌ی تکنولوژیک و همینطور جنبه‌ی دوام اقتصادی در بررسی‌های فراگیر تکنولوژی‌های پمپاژ خورشیدی در نظر گرفته شده است (Chandel et al, 2017; Sontake & Kalamkar 2016; Varadi et al, 2018 chapter 5.2).

محققین فاکتورهای تاثیرگذار بر عملکرد سیستم‌های پمپاژ خورشیدی فوتولتاییک و تحلیل رفتن مازول‌های فوتولتاییک و تکنیک‌های افزایش بازده را مشخص کرده‌اند. این مسئله که سیستم‌های پمپاژ خورشیدی از لحاظ اقتصادی بادوام‌تر از سیستم‌های بر پایه‌ی دیزل برای آبیاری و تامین آب در مناطق روستایی دور افتاده و شهری هستند، تایید شده است (IRENA, 2016e). زمان بازگشت سرمایه در برخی سیستم‌های پمپاژ آب خورشیدی فوتولتاییک بین ۴ تا ۶ سال بوده است. البته که

این مسئله به شرایط محلی بستگی دارد، که پیش‌تر به آن پرداخته خواهد شد. هزینه‌ی سیستم‌ها با توجه به مقیاس، هدف و پیکربندی بسیار متفاوت است. منطقی‌تر می‌باشد که ابتدا هزینه‌ی سرویس‌هایی که قرار است به صورت خارج از شبکه به مشترک ارائه شوند را با هزینه‌ی سرویس‌های انرژی که در حال حاضر در دسترس مصرف‌کننده هستند مقایسه شوند.

۲-۴ پمپاژ در مناطق در حال توسعه

اهمیت انرژی الکتریکی مورد نیاز برای پمپاژ به طور چشمگیری در کشور هندوستان نمایان شده است، که در آنجا نزدیک به ۲۰٪ از ظرفیت انرژی تولیدی برای اهداف کشاورزی و پمپاژ آب استفاده می‌شود (CEA, 2016). کشور هندوستان از نزدیک به ۲۶ میلیون پمپ کشاورزی برخوردار است، که حداقل ۱۲ میلیون از این پمپ‌ها از برق شبکه استفاده نموده و ۱۰ میلیون پمپ دیگر دارای سیستم دیزلی هستند (IRENA, 2015b). کشاورزان تنها نزدیک به ۱۳٪ از بهای واقعی برق را پرداخت می‌کنند (Casey, 2013). باری که یارانه‌ی انرژی الکتریکی به کشور تحمیل می‌کند هر روز سنگین‌تر می‌شود. این یارانه‌ها استفاده‌ی بی‌بازده از آب را تشویق می‌کنند و باعث هدر رفتن منابع آب زیر زمینی می‌شوند. با کاهش سطح منبع آب زیرزمینی، انرژی مورد نیاز برای پمپاژ افزایش می‌یابد، بنابراین انرژی مورد نیاز برای استخراج آب افزایش می‌یابد.

هندوستان اعلام نموده که قصد دارد بسیاری از ۲۶ میلیون پمپ آب زیرزمینی خود را با پمپ‌های آبیاری خورشیدی جایگزین کند (Tweed, 2014). این امر به منزله یک صرفه جویی عظیم در ظرفیت منابع انرژی الکتریکی حال حاضر و کاهش انرژی حاصل از سوزاندن گازوئیل و در نتیجه کاهش انتشار CO₂ به میزان گسترده است. با این حال، پیامد نتیجه اخیر این است که پمپ‌هایی که از خورشید انرژی می‌گیرند تهدیدی جدید برای منابع آب‌های زیرزمینی هستند: از آن جایی که هزینه‌ی عملیاتی {هزینه‌ای که صرف به کار گرفتن و عملیاتی نگه داشتن} پمپ‌هایی که از انرژی خورشیدی فوتوولتاییک نیرو می‌گیرند قابل چشم‌پوشی است و در دسترس

بودن انرژی قابل پیش‌بینی است، می‌تواند باعث برداشت بیش از حد از آب‌های زیرزمینی شود. برای مبارزه با این عواقب ناخواسته، کشاورزانی که برای خرید پمپ‌های خورشیدی یارانه دریافت می‌کنند باید به آبیاری قطره‌ای روی بیاورند.

زمانی که "سوفت" رایگان باشد و سوسه‌کننده است که از آب برای آبیاری بیش از حد استفاده شود. بنابراین، کشاورزان هندی‌ای که برای پمپ‌های آب فورشیدی یارانه دریافت می‌کنند باید به آبیاری قطره‌ای روی بیاورند.

در جنوب صحرای آفریقا حدوداً ۴۰٪ از کل جمعیت، معادل بیش از ۳۰۰ میلیون نفر، به منابع آب آشامیدنی حفاظت شده (نسبت به آلودگی‌ها، مخصوصاً فاضلاب) دسترسی ندارند (UN Water, 2014). در تحلیلی از داده‌های ۳۵ کشور در جنوب صحرای آفریقا بدست آمد (که ۸۴٪ جمعیت این ناحیه را در خود جای داده است)، مشاهده شد که در این جامعه اختلافات قابل توجهی بین یک پنجم ثروتمند و فقیر در مناطق شهری و روستایی به چشم می‌خورد که بیش از ۹۰٪ از گروه یک پنجم ثروتمند در مناطق شهری از منابع آب حفاظت شده استفاده می‌کنند و بیش از ۶۰٪ به آب لوله‌کشی دسترسی دارند. از طرفی در نواحی روستایی، آب لوله‌کشی در ۴۰٪ از فقیرترین خانه‌ها وجود ندارد، و کمتر از نیمی از جمعیت از آب حفاظت شده استفاده می‌کنند.

در محدوده‌ی ساحل صحرای آفریقا (نام محدوده‌ای در صحرای بزرگ آفریقا) نزدیک به دو دهه است که از ایستگاه‌های پمپاژ خورشیدی استفاده می‌شود که دسترسی بهتری هم به آب و هم به الکتریسیته برای دو میلیون نفر فراهم می‌کند (IRENA, 2012). این محدوده سالانه بارش کمی دریافت نموده و سفره‌ی آب زیر زمینی در بهترین حالت ۱۰۰ متر پایین‌تر از سطح زمین است.

انرژی تامین شده که به وسیله‌ی آن آب‌های زیرزمینی استخراج می‌شود به مردم کمک کرده است تا با شرایط خشکسالی طولانی مدت کنار بیایند. جمعیت ناحیه‌ی

ساحل در غرب آفریقا به خاطر عدم دسترسی به آب آشامیدنی طی یک دوره‌ی ده ساله که به سال ۲۰۰۹ ختم شد، ۱۶٪ کاهش پیدا کرد.

در کنیا تنها ۶٪ از زمین‌های کشاورزی آبیاری می‌شوند و دلیل اصلی آن نبود انرژی برای پمپاژ است. تقریباً ۲٫۹ میلیون نفر کشاورز در کنیا وجود دارد. یک پروژه در حال انجام، که توسط "شرکاء انرژی‌های تجدیدپذیر و بهره‌وری انرژی" (REEEP) حمایت می‌شود، در تلاش است تا آبیاری با استفاده از انرژی خورشیدی را در آنجا عملیاتی کند (IRENA, 2015b). یک سیستم متداول می‌تواند تا ۲۰ مترمکعب در روز پمپاژ کند و تا عمق ۱۵ متری فعالیت کند. هزینه‌ی آورده چنین سیستمی در حدود ۴۰۰ دلار آمریکا می‌باشد. با احتساب صرفه‌جویی ناشی از عدم استفاده از سوخت‌های فسیلی بازگشت سرمایه حدوداً ۲ سال زمان می‌برد. هدف این برنامه نصب ۳۰۰۰۰ سیستم پمپاژ تا انتهای سال ۲۰۱۸ است. این سیستم نتایج اجتماعی مفیدی نیز دارد: به عنوان مثال، زن‌ها و بچه‌ها از پمپ کردن دستی و حمل آب خلاص می‌شوند. اما مانند هند، خطر برداشت بی‌رویه از منابع آب زیرزمینی به خاطر هزینه‌های عملیاتی ناچیز پمپ‌های خورشیدی فوتولتائیک وجود دارد.

همان‌گونه که وارادی و همکاران (۲۰۱۸)، فصل ۲-۵ نیز اذعان داشتند، بیش از ۳۰ تولیدکننده‌ی پمپ‌های آب خورشیدی در دنیا وجود دارد. پمپ‌ها را می‌توان از طریق اینترنت خریداری کرد، ولی سیستم‌ها در بیشتر کشورهای آفریقایی و آسیایی به صورت محلی در دسترس هستند.

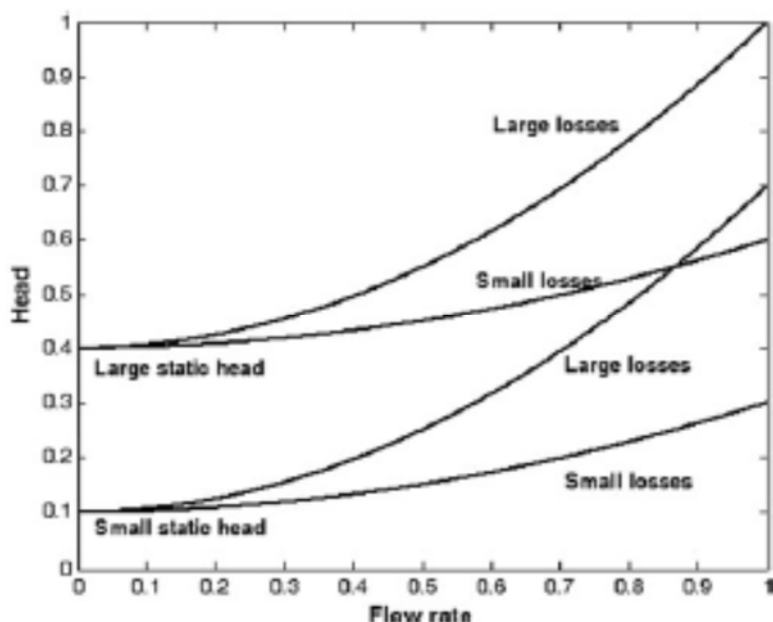
۳-۴ مشخصه‌های پمپاژ

رایج‌ترین‌ترین پمپ، پمپ سانتریفیوژ می‌باشد، که اصول کار این نوع پمپ تبدیل انرژی مکانیکی موتور به انرژی جنبشی (به عبارت دیگر انرژی مرتبط با سرعت سیال یا نرخ جریان) در آب است. این امر باعث ایجاد اختلاف فشار در بین آب ورودی و خروجی پمپ می‌شود. در این جا مجال ذکر بسیاری از مشخصه‌های پمپ نیست؛ برای مطالعه می‌توانید جزئیات بیشتر را در فصل ۱۶ کتاب اولسون (2015) بیابید. این مشخصه‌های سیستم یا مشخصه‌های بار هیدرولیکی هستند که میزان فشار

تولیدی توسط پمپ را به منظور حرکت جریان مشخص می‌کنند. فشار شامل فشار استاتیک و همینطور فشار دینامیک است. فشار استاتیک (که به آن ارتفاع استاتیک هم می‌گویند) هنگامی که نرخ جریان صفر باشد خود را نشان می‌دهد و به این بستگی دارد که آب چقدر توسط پمپ باید بالا آورده شود. به عبارت دیگر، در یک چاه عمیق نسبت به یک چاه کم عمق، به فشار استاتیک بیشتری برای بالا آوردن آب نیاز است.

فشار دینامیک به سرعت آب در لوله و به عبارت دیگر به نرخ جریان بستگی دارد. هر چقدر سرعت بالاتر باشد فشار دینامیک نیز بالاتر است. اگر لوله پهن باشد، نیروی از دست رفته بوسیله اصطکاک در لوله کم است و فشار دینامیک به آهستگی و همگام با افزایش نرخ جریان افزایش می‌یابد. متقابلاً، اگر لوله باریک باشد سرعت آب وقتی که نرخ جریان افزایش می‌یابد با سرعت بالاتری زیاد می‌شود. در نتیجه همراه با نرخ جریان، فشار دینامیک سریع‌تر افزایش می‌یابد.

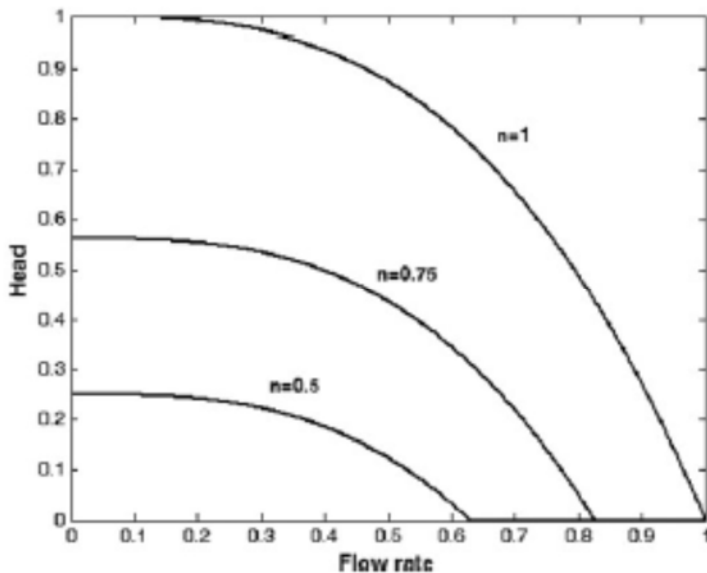
در واقع، فشار دینامیک و اتلاف انرژی بوسیله اصطکاک به مربع سرعت آب (v) و به عبارت دیگر به مربع نرخ جریان (Q) بستگی دارند. بنابراین اگر نرخ جریان دو برابر شود، توان مورد نیاز برای تامین فشار دینامیک باید چهار برابر افزایش یابد. فشار استاتیک و دینامیک در شکل ۱-۴ به نمایش درآمده‌اند.



{عبارات داخل شکل: Head: ارتفاع، Flow Rate: نرخ جریان، Large losses: اتلاف زیاد، Small losses: اتلاف کم، Small static head: هد استاتیک کم، Large static Head: هد استاتیک زیاد}

در شکل ۴-۱، منحنی سیستم‌های مختلف که بار وارده بر پمپ را نشان می‌دهند به تصویر کشیده شده است. اگر آب فقط به مقدار (ارتفاع) کمی بالا آورده شود فشار استاتیک نیز کم خواهد بود و برعکس. اگر لوله باریک باشد، اتلاف انرژی به نسبت بالا بوده و فشار دینامیکی مورد نیاز به سرعت با نرخ جریان افزایش می‌یابد.

منحنی پمپ، که منحنی QH نام دارد، فشاری که یک پمپ می‌تواند تولید کند را تحت تابعی از نرخ جریان بیان می‌کند. شکل ۴-۲ این منحنی مشخصه‌های پمپ نام دارد. فشارهای استاتیک و دینامیک تحت عنوان هد بیان می‌شوند. هد با ارتفاع ستون مایع اندازه‌گیری می‌شود و متناسب با فشاری است که توسط پمپ ایجاد شده است. به بیانی دیگر: هد نشان می‌دهد که در فشاری خاص، پمپ تا چه ارتفاعی می‌تواند آب را بالا ببرد. هر چقدر که نرخ جریان بیشتر باشد هدیکه می‌تواند توسط پمپ ایجاد شود کمتر خواهد بود.



{عبارات داخل شکل Head: هد Flow Rate: نرخ جریان}

شکل ۲-۴ مشخصه‌های نوعی پمپ یا منحنی‌های QH در سرعت‌های مختلف پمپ (n). Q بیان‌کننده‌ی نرخ جریان و H بیان‌کننده‌ی فشار می‌باشد، که با اندازه‌ی هد {به متر} بیان می‌شود.

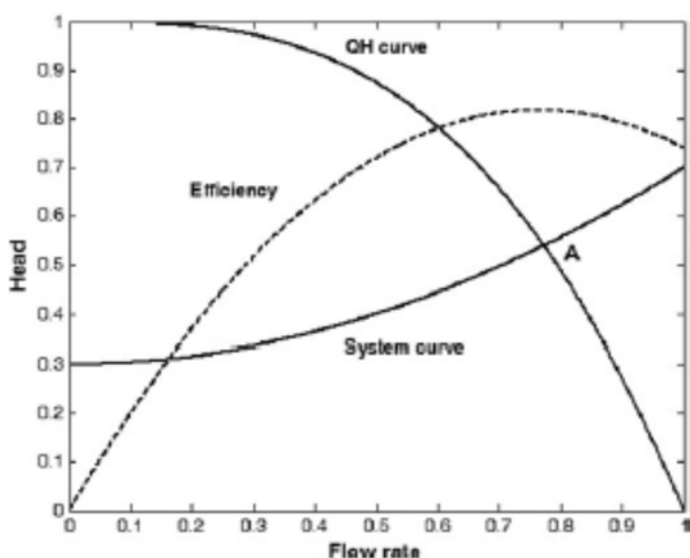
رابطه‌ی بین هد (H، با m {متر} بیان شده) و فشار (p، که با $Pa = N/m^2$ بیان می‌شود) برابر است با

$$H = \frac{p}{\rho \cdot g} \quad (4.1)$$

که در آن ρ چگالی مایع (kg/m^3)، و g شتاب گرانشی (m/s^2) می‌باشد. این فرمول بیان می‌کند که پمپاژ در فشار ۱ بار (=۱۰^۵ پاسکال) مطابق است با ستونی آبی ($\rho = 1000 \text{ kg/m}^3$) به ارتفاع ۱۰٫۲ متر.

اگر سرعت دورانی (n) پمپ تغییر کند، طبق شکل ۴٫۲، منحنی QH نیز تغییر می‌کند، سرعت پایین‌تر به این معنی است که پمپ، هد کمتری در همان نرخ جریان تولید می‌کند، یا در همان نرخ جریان، هد کمتری تولید می‌کند. اگر هدف این باشد که پمپ فقط در یک نرخ جریان و میزان هد خاص کار کند، شیب منحنی QH اهمیتی ندارد.

نقطه‌ی عملکرد (یا نقطه‌ی وظیفه) یک پمپ به وسیله‌ی نقطه برخورد منحنی QH پمپ و مشخصه‌های سیستم مشخص می‌شود، همان گونه که در شکل ۳-۴ نشان داده شده است. منحنی QH توان تولید پمپ را نشان می‌دهد، در حالی که منحنی سیستم (بار) بیان می‌کند که چه فشاری مورد نیاز است.



{عبارات داخل شکل ۳-۴: Head: هد، QH Curve: منحنی QH، Efficiency: بازده، System curve: منحنی سیستم، Flow Rate: نرخ جریان}

شکل ۳-۴ نقطه عملیاتی (نقطه وظیفه) A به وسیله‌ی تقاطع منحنی QH و منحنی سیستم مشخص می‌شود. همچنین بازده یک پمپ سانتیفریوژی رایج نشان داده شده است. این شکل نشان می‌دهد که یک پمپ باید به نحوی طراحی شود که به حداکثر بازده در نقطه‌ی وظیفه دست یافت. به بیان دیگر، بازده باید نزدیک به حداکثر خود در نرخ‌های جریان رایج باشد.

۴-۴ بازدهی پمپ

بازدهی پمپ به نرخ جریان و طراحی پمپ بستگی دارد.

نیروی الکتریکی که به موتور الکتریکی متصل به پمپ وارد می‌شود توان ورودی نام دارد.

نیرویی که به شفت پمپ منتقل میشود نیروی مکانیکی است (نیروی شفت) که بسته به اتلاف انرژی موتور کمی کمتر از توان ورودی می باشد. توان نامی یک موتور توان مکانیکی آن موتور در نقطه‌ی عملیاتی آن است و کمی کمتر از توان الکتریکی مصرف شده می باشد. معمولاً بازده یک موتور بالای ۹۰٪ در نظر گرفته می شود.

توان مکانیکی به توان هیدرولیک P_{hydr} یا عبارتی توانی که پمپ به مایع در قالب جریان منتقل می کند تبدیل می شود. این بازده به نرخ جریان بستگی دارد و در شکل ۳-۴ به تصویر در آمده است. در این شکل می توانید ملاحظه کنید که پمپ باید به نحوی طراحی شود که حد اکثر بازده را در عادی ترین نرخ های جریان داشته باشد.

در رایج ترین انواع پمپ، عبارت نرخ توان قابل دسترس معمولاً همان توان شفت می باشد و با وات یا کیلووات اندازه گیری می شود.

بازده یک پمپ در مقیاس بزرگ ممکن است حدود ۸۹٪ باشد. پمپ های مقیاس کوچک با عملکرد بالا می توانند به بازده ۸۵٪ برسند، ولی عملکرد پمپ های کوچک ارزان ممکن است به طور چشمگیری پایین تر باشد.

توان هیدرولیک مورد نیاز برای بالا بردن آب به اندازه ی H به متر از فرمول زیر به دست می آید:

$$P_{hydr} = Q \cdot H \cdot \rho \cdot g \quad (4.2)$$

در این فرمول نیروی هیدرولیک با وات (W) ، Q دبی یا نرخ جریان (m^3/s) ، H هد (m) ، ρ چگالی جریان (kg/m^3) و g شتاب گرانشی (m/s^2) نشان داده می شود. بدیهی است که انرژی الکتریکی مورد نیاز باید بیشتر از نیروی هیدرولیک باشد. طبیعتاً در مجموع بازدهی پمپ بر خلاف آنچه بصورت نظری محاسبه می گردد به تجهیزات واقعی بستگی دارد و به همین دلیل در اینجا بازدهی را ۸۰٪ که مقدار رایج آن است در نظر می گیریم.

مثال ۱-۴: توان مورد نیاز برای پمپاژ آب زیر زمینی:

فرض کنید که منابع آب زیر زمینی در عمق ده متری قرار دارند ($H=10$). ما باید ۱ مترمکعب بر ساعت آب تامین کنیم ($Q=1/3600 \text{ m}^3/\text{s}$). چگالی آب 1000 kg/m^3 و $g=9.81 \text{ m/s}^2$ می باشد.

توان هیدرولیک مورد نیاز برابر است با:

$$P_{\text{hydr}} = (1/3600) \cdot 10 \cdot 1000 \cdot 9.81 = 27 \text{ W}$$

لازم است که مقداری اتلاف هد در لوله را در محاسبات در نظر بگیریم. می توانیم این مقدار را تا ۱۰٪ فرض کنیم. نیروی الکتریکی مورد نیاز، با در نظر گرفتن بازده ۸۰٪ موتور نسبت به پمپ و ۱۰٪ اتلاف هد به صورت زیر می شود:

$$P_{\text{el}} = 27 / (0.8 \cdot 0.9) = 37.5 \sim 38 \text{ W}$$

توان متناسب با هد (عمق) می باشد بنابراین بالا آوردن آب تا ارتفاع ۲۰ متر به دو برابر هر دو توان یعنی، توان هیدرولیک (54 W) و 76 W نیروی الکتریکی نیاز دارد. همچنین دو برابر کردن نرخ جریان به معنی دو برابر کردن توان مورد نیاز است. بنابراین، برای بالا آوردن ۱۰ مترمکعب آب در ساعت از عمق ۱۰ متری به نیروی هیدرولیکی برابر با

$$P_{\text{hydr}} = (10/3600) \cdot 100 \cdot 1000 \cdot 9.81 = 2725 \text{ W} \sim 2.7 \text{ kW}$$

و حدود 3.8 kW ($2.7 / (0.9 \cdot 0.8) \sim 3.8 \text{ kW}$) انرژی الکتریکی نیاز داریم. برای به دست آوردن انرژی (به ژول) Q را با حجم کل V (m^3) در محاسبات جایگزین می کنیم.

مثال ۲-۴: انرژی لازم برای پمپاژ آب زیر زمینی:

بیایید انرژی لازم برای بالا آوردن ۱ مترمکعب آب از عمق ۱۰ متری را محاسبه نماییم. این کار نیاز به:

$$E_{\text{hydr}} = 1 \cdot 10 \cdot 1000 \cdot 9.81 = 9.8 \cdot 10^4 \text{ J}$$

که در این معادله J نماد انرژی می باشد و با ژول اندازه گیری می شود. با احتساب ۱۰٪ اتلاف در لوله و بازده ۸۰٪ موتور نسبت به پمپ انرژی الکتریکی مورد نیاز ورودی حدودا $13/6 \cdot 10^4$ ژول می باشد. تبدیل $(Ws=)$ یا وات ثانیه) به kWh که واحد رایج تری برای انرژی الکتریکی می باشد به صورت زیر است:

$$1 \text{ kWh} = 1000 \text{ (W)} \cdot 3600 \text{ (seconds)} = 3.6 \cdot 10^6 \text{ Ws} \\ = 3.6 \cdot 10^6 \text{ J} = 3.6 \text{ MJ}$$

بنابراین انرژی الکتریکی $13/6 \cdot 10^4 \text{ J}$ مطابق است با $3/8 \cdot 10^{-2} \text{ kWh}$. روش دیگر محاسبه انرژی ضرب کردن توان (38 W) در زمان است:

$$E_{\text{el}} = 38 \cdot 3600 \text{ Ws} = \frac{38 \cdot 3600}{1000 \cdot 3600} = 0.038 \text{ kWh}$$

همانطور که پیشتر نیز ذکر شد، انرژی مورد نیاز متناسب با هد و حجم آب می‌باشد. بنابراین، به جای بالا آوردن آب به اندازه‌ی ۱۰ متر ما محاسبات لازم برای ۱۰۰ متر هد را انجام می‌دهیم و به جای یک مترمکعب ده مترمکعب آب را بالا می‌آوریم. این کار نیازمند ۱۰۰ برابر انرژی (هیدرولیک) بیشتر یا $0.27 \cdot 100 = 2.7 \text{ kWh}$ می‌باشد؛ به عبارت دیگر، این کار نیازمند 2.7 kWh توان هیدرولیک برای یک ساعت می‌باشد. انرژی الکتریکی مورد نیاز برای یک سیستم پمپاژ با بازده ۸۰٪ و اتلاف انرژی در لوله به اندازه ۱۰٪، 3.8 kWh می‌باشد.

اگر پمپ در طول ساعات آفتابی روز (۸ ساعت) کار کند، انرژی مورد نیاز برای ۸ ساعت تولید شده است (فقط $1/8$ مترمکعب آب در هر ساعت پمپ شده است)، که $3.8/8 = 0.48 \text{ kWh}$ انرژی از سیستم خورشیدی فوتوولتایک طلب می‌کند. این مقدار $1/8$ توان محاسبه شده در مثال ۴،۱ می‌باشد.

در سیستم‌های پمپاژ خورشیدی فوتوولتایک، دو نوع پیکربندی سیستم رواج دارد. در نوع اول یک پمپ که در آب غرقه است آب را به یک مخزن در بالا هدایت می‌کند که این مخزن حکم یک ذخیره‌کننده‌ی انرژی را دارد و فشار مورد نیاز برای سیستم آبیاری تحت فشار را فراهم می‌کند. نوع دیگر پیکربندی بدین صورت است که مخزن آبی وجود ندارد و آب به صورت مستقیم به شبکه‌ی آبیاری پمپاژ می‌شود.

مثال ۳-۴: تجربیات ناشی از پمپاژ خورشیدی

در هندوستان از سیستم‌های پمپاژ آب تغذیه شده توسط انرژی خورشیدی فوتوولتایک برای آبیاری و تامین آب آشامیدنی استفاده می‌شود (Roul, 2007). بیش

از نیمی از پمپ‌های مورد استفاده از موتورهای با توان بین ۲ تا ۳٫۷ کیلووات برخوردارند. معمولاً، آرایشی از پنل‌های خورشیدی فوتوولتاییک که بیشینه‌ی توان آن‌ها ۱٫۸ کیلووات باشد (فصل ۲-۸ را ببینید) برای آبیاری استفاده می‌شوند. چنین سیستمی می‌تواند ۱۴۰ مترمکعب آب را در روز از حداکثر ۱۰ متر تامین کند. بیایید این نیاز به انرژی را با انرژی نظری هیدرولیک مقایسه کنیم (۲-۴). با فرض این که پمپ ۸ ساعت در روز کار می‌کند و تنها ۶۰٪ از بیشینه‌ی انرژی خورشیدی قابل استفاده است.

$$P_{\text{hydr}} = \frac{140 \cdot 0.6}{8 \cdot 3600} \cdot 10 \cdot 1000 \cdot 9.81 \text{ W} = 286 \text{ W}$$

ظاهراً سیستم‌های فوتوولتاییک/موتور/پمپ بسیار کم بازده هستند، یا این که آرایش سیستم انرژی خورشیدی با حاشیه‌ی امن زیادی طراحی شده است.

مثال ۴-۴: قانونی تجربی برای پمپاژ آب به وسیله‌ی انرژی خورشیدی

یک قانون تجربی رایج بیان می‌کند که یک پمپ خورشیدی با ۱۰۰۰ وات توان بیشینه می‌تواند حدود ۴۰ مترمکعب آب را در روز از یک منبع آب که تا ۱۰ متر عمق داشته باشد پمپ کند.

مجدداً با استفاده از (۲-۴)، در می‌یابیم که انرژی هیدرولیک تولید شده برابر است با:

$$Q_{\text{hydr}} = 40 \cdot 10 \cdot 1000 \cdot 9.81 \text{ J} \approx 4 \text{ MJ} \approx 1.1 \text{ kWh}$$

با فرض ۸ ساعت تابش خورشید، ۸۰٪ بازده موتور-پمپ و ۱۰٪ افت لوله، توان الکتریک مورد نیاز برابر با ۰.۱۹ kW خواهد بود. به عبارت دیگر، حاشیه‌ی امن زیادی در نظر گرفته شده است.

معمولاً، ۴۰ مترمکعب آب در روز برای آبیاری یک هکتار زمینی که در آن محصولات زراعی رایج کاشته شده باشند کافی است.

۵-۴ اجزای یک سیستم پمپاژ خورشیدی فوتوولتاییک

در سیستم پمپاژی که از انرژی خورشیدی فوتوولتاییک انرژی می‌گیرد بیش‌ترین

هزینه به پنل‌ها تعلق دارد، در حالی که هزینه پمپ بسیار ناچیز و حاشیه‌ای است. البته که ابعاد منبع انرژی به دبی جریان مورد نیاز (مترمکعب بر ساعت) و میزان تابش خورشید بستگی دارد.

۱-۵-۴ پنل‌های خورشیدی

یکی از مزایای اصلی پنل‌های خورشیدی تخت این است که می‌توانند بدون نیاز به دنبال کردن جهت خورشید مقدار انرژی چشمگیری از لحاظ اقتصادی را تولید کنند. نیاز کم آن‌ها به تعمیر و نگهداری به دلیل نداشتن قطعات متحرک، در هزینه‌های کلی آن‌ها به چشم می‌آید.

معمولاً، غالب پنل‌ها تحت پوشش گارانتی هستند که ماژول آن‌ها به این صورت است که تا ده سال ۹۰٪ و تا ۲۵ سال ۸۵٪ توان خروجی نامی ذکر شده را تولید کنند. این یک عمر عملیاتی شگفت‌انگیز است و از بسیاری از سایر تجهیزات بیشتر می‌باشد. پیچیدگی کم نصب و به کارگیری یک سیستم خورشیدی فوتوولتاییک و امنیت سلول‌های خورشیدی و هزینه‌های تولید همگی دلایل موفقیت توسعه‌ی تکنولوژی خورشیدی فوتوولتاییک می‌باشد. البته اگر تجهیزات در نواحی دورافتاده باشند ارزش تجاری گارانتی محدود می‌شود. با این حال، وجود چنین ضمانتی برای این محصولات نشان‌دهنده قابلیت اعتماد به این سیستم‌ها می‌باشد.

۲-۵-۴ اینورترها (تجهیزات الکترونیکی‌ای که جریان مستقیم را به متناوب تبدیل می‌کنند) و کنترل‌کننده‌های پمپ

پنل‌های خورشیدی جریان مستقیم (DC) تولید می‌کنند و پمپ ممکن است از نوع جریان مستقیم (DC) یا جریان متناوب (AC) باشد. برای یک پمپ (AC)، جریان مستقیم (DC) حاصل از پنل خورشیدی باید از جریان مستقیم به متناوب تبدیل شود.

این عمل توسط یک اینورتر انجام می‌شود، که یک دستگاه برقی است. بر خلاف

آن، یک پمپ (DC) به اینورتر نیاز ندارد. پمپ‌های (DC) برای کاربردهای مقیاس کوچک و معمولاً کوچک‌تر از ۳ کیلووات رایج‌تر هستند که این مقدار برای یک خانوار یا یک سیستم آبیاری کوچک مناسب است.

موتورهای (DC) نسبت به همتایان (AC) خود بازده بالاتری دارند. کنترل سرعت یک موتور دی سی به طور سنتی ساده‌تر است. البته امروزه نصب یک موتور ای سی به همراه یک کنترل‌کننده سرعت متغیر اقتصادی‌تر به نظر می‌رسد. علاوه بر این، موتورهای دی سی قطعات متحرک زیادی دارند که تعویض آن‌ها هزینه‌بر است. آن‌ها جاروبک‌ها و کوموتاتورهایی دارند که عمر عملیاتی محدودی داشته و باید به طور مرتب تعویض شوند. یک موتور ای سی با کنترل‌کننده الکترونیک دارای توانی قابل اعتمادتر و در عین حال اقتصادی‌تر می‌باشد. همچنین جاروبک ندارد و طراحی آن مستحکم است.

تکنولوژی اینورترها در بازه وسیعی از سطوح مختلف توان به همگان اثبات شده و معمولاً بازده بالایی به اندازه ۹۸٪ و حتی بالاتر نیز دارند. اینورترهای سیستم‌های خورشیدی فوتوولتائیک معمولاً در معرض شرایط بسیار سختی قرار می‌گیرند. مثلاً کار کردن زیر نور خورشید در ترکیب با دماهایی بالاتر از ۴۰ درجه سانتیگراد. گرد و غبار چالشی دیگر است. وقتی که یک اینورتر کوچک به طور مستقیم به یک مازول فوتوولتائیک متصل می‌شود و در پشت آن نصب می‌گردد، ممکن است با شرایط سختی همراه باشد. دما ممکن است به ۸۰ درجه سانتیگراد برسد. در این شرایط قطعات الکترونیکی باید آماده باشند تا به اندازه مازول‌های فوتوولتائیک (از نظر طول مدت زمان) کار کنند، یعنی حداقل ۲۰ سال. بنابراین، مهم است که حاشیه طراحی به اندازه‌ای باشد که کارکرد برای مدتی طولانی را تضمین کند. تک تک قطعات می‌بایست با شرایط سخت کنار بیایند. با یک طراحی مناسب عمر مفید یک اینورتر ۲۰ سال می‌باشد.

یک فرآیند استانداردسازی روند تست قطعات سیستم فوتوولتائیک که در سطح بین‌المللی نیز مورد قبول واقع شده است وجود دارد. استاندارد IEC1215 خواص الکتریکی و حرارتی اجزا را شرح می‌دهد و می‌تواند به طول عمر مورد انتظار نیز

اشاره‌ای داشته باشد.

پمپ همچنین به یک کنترلر نیاز دارد تا توانی که به پمپ می‌رسد را با توانی که از منبع انرژی حاصل می‌شود تطبیق دهد. به طور کل، کنترلر باید توانایی کنترل ولتاژ را داشته باشد تا اگر ولتاژ منبع خیلی کم یا خیلی زیاد شود پمپ را خاموش کند. در فصل ۱۱ به جزئیات بیشتری پیرامون تجهیزات کنترلی پرداخته خواهد شود.

۶-۴ مطالعه بیشتر

بسیاری از تولید کنندگان پمپ اطلاعاتی را پیرامون اصول پمپاژ و تجهیزات آن ارائه می‌کنند. Grundfos Pump Handbook توضیحاتی عالی راجع به اصول پمپاژ ارائه می‌کند (www.grundfos.com).

تکنولوژی پمپاژ که آرایش آن مبتنی بر انرژی خورشیدی باشد در حال حاضر در دسترس است. یک نمونه‌ی آن در سایت زیر قابل مطالعه می‌باشد.
(www.grundfos.com/market-areas/water/lifelink.html)

یکی دیگر از تولید کنندگان پمپ به نام Xylem (<https://www.xylem.com>) ارائه دهنده یک ابزار انتخاب پمپ با استفاده از اینترنت به نام Xylect است. برای راهنمایی مصرف کننده‌ها جهت انتخاب یک پمپ مناسب. اطلاعات کاربردی زیادی در یوتیوب وجود دارد. عبارت سیستم‌های پمپاژ خورشیدی را جست و جو کنید.



فصل

تصفیه‌ی آب

"تا منابع آبی که در اختیار داریم را از دست ندهیم، ارزش ان را درک نمی‌کنیم"

توماس فولر، عضو کلیسا و تاریخ دان (۱۶۰۸-۱۶۶۱)

فاصله میان منابع آب در دسترس و نیازهای خانگی، شهری و صنعتی ما روز به روز بیشتر می‌شود. از مهمترین دلایل اصلی این رشد فاصله، می‌توان به تغییرات آب و هوایی و رشد جمعیت اشاره نمود. انتظار می‌رود که در دو دهه‌ی آتی تعداد افرادی که دچار کمبود آب هستند بین یک تا ۴ میلیون افزایش یابد. از مناطقی که بیشتر با این مساله رو به رو هستند، می‌توان شمال آفریقا، خاورمیانه، شمال چین، جنوب هند، پاکستان و بخش‌های خاصی از ایالات متحده و مکزیک را نام برد. در همین حال، تقریباً ۴۰٪ از مردم جهان در فاصله‌ای کمتر از ۱۰۰ کیلومتر با دریا زندگی می‌کنند و ۶۰٪ از بزرگترین شهرهای ساحلی دنیا به آب شیرین دسترسی ندارند.

آب سطحی یا زیر زمینی در نواحی دورافتاده ممکن است کیفیت پایینی داشته باشد و باید آلودگی‌های آن از بین برده و یا کاهش داده شود. تصفیه آب بایستی در سطح کیفیت مناسبی انجام گیرد، که میزان این تصفیه به نوع کاربرد آب بستگی

دارد. طبیعتاً، آب آشامیدنی می‌بایست استانداردهای سطح بالاتری نسبت به آب مورد استفاده برای آبیاری یا شست و شو داشته باشد. در قسمت ۱-۵ نگاهی کلی به تکنولوژی‌های تصفیه‌ی آب خواهیم داشت. فیلتراسیون، معمولاً اولین مرحله در خالص‌سازی آب می‌باشد و در قسمت ۲-۵ به آن می‌پردازیم.

۶۲. آب پاکیزه با استفاده از انرژی خورشیدی و باد: خارج از شبکه‌ی توزیع

یکی از تکنولوژی‌های کلیدی در تولید آب شیرین، نمک‌زدایی است که در قسمت ۳-۵ به آن می‌پردازیم. ضد عفونی که در قسمت ۳-۵ توصیف می‌شود، قدم مهم دیگر در راستای حذف عوامل بیماری‌زا و حفاظت از سلامتی انسان‌ها می‌باشد.

۱-۵ تولید آب پاکیزه

انرژی مورد نیاز برای تولید آب پاکیزه به کیفیت منبع اولیه آب بستگی دارد. معمولاً، منابع آب قابل دسترسی در کشورهای در حال توسعه آلوده هستند و متعاقباً انرژی مورد نیاز برای تصفیه‌ی این آب‌ها تا یک سطح قابل قبول نیاز به صرف انرژی زیادی دارد.

۱-۱-۵ منابع آب زیرزمینی

آب‌های زیرزمینی، منبع اصلی آب در بسیاری مناطق در حال توسعه‌ی جهان هستند و مشکلی جدی این قضیه، سطح رو به کاهش این منابع در بسیاری از مناطق است. همان‌گونه که در بخش ۲-۴ به آن اشاره شد، آب‌های زیرزمینی به طور ناپایداری در بسیاری از مناطق پمپاژ شده‌اند. این قضیه دو نتیجه بدنبال دارد: منابع آبی در حال تحلیل رفتن هستند و انرژی مورد نیاز برای پمپاژ آن‌ها در حال افزایش است. در بسیاری از مناطق، آبی که از سفره‌های آبی پمپاژ شده است برای هزاران سال زیر زمین بوده است و در حال حاضر با نرخی بسیار بالاتر از نرخ جبران آن مصرف می‌شود. ممکن است نسل‌ها و یا قرن‌ها طول بکشد تا این سفره‌ها دوباره با آب باران پر شوند. چنین منبعی تجدیدنپذیر است و چنین عملیاتی را می‌توان حفاری آب‌های زیر زمینی نامید. البته که آبیاری بر منابع آب زیر زمینی تاثیر می

گذارد. از آن جایی که آبیاری غالباً در مناطق خشک و یا بایر انجام می‌شود، ریسک کاهش سطح آب‌های زیرزمینی بسیار بالاست، از آن جا که سرعت مصرف این منابع بسیار بالاتر از سرعت جایگزینی مقدار مصرف شده می‌باشد.

۲-۱-۵ آب شور

به علت افزایش جمعیت و همین‌طور تغییرات آب و هوایی، نیاز به استفاده از آب دریا به عنوان منبع آب شیرین به شدت افزایش یافته است. استفاده از آب دریا به عنوان یک منبع تامین آب شیرین می‌تواند پتانسیل بسیار خوبی در نواحی ساحلی باشد. غلظت نمک در آب دریا معمولاً ۳,۵٪ یا ۳۵۰۰۰ ppm است. بسیاری از سفره‌های آبخیز یا منبع آب زیر زمینی آبی، لب شور^۱ دارند که باید با زدودن نمک از آن قابل آشامیدن شوند.

۶۳. تصفیه‌ی آب

مشکل رو به رشد دیگری که در تامین آب با آن مواجه هستیم، هجوم آب دریا به سفره‌های آب زیر زمینی است. گاهی اوقات منابع آب‌های زیرزمینی تحلیل رفته‌اند، و بعضاً، افزایش سطح آب دریا که توسط تغییرات آب و هوا ایجاد شده این مشکل را تشدید می‌کند. در جدول ۵-۱ می‌توانید سطح معمول شوری آب‌های مختلف را ملاحظه نمایید.

جدول ۵-۱ شوری آب‌های مختلف

شوری (ppm=mg/l)	
۳۵۰۰۰	آب دریا
۳۵۰۰۰-۱۰۰۰۰	آب به شدت شور
۱۰۰۰۰-۱۰۰۰	آب لب شور
۱۰۰۰<	آب شیرین

۱. شوری آن بین آب دریا و آب شیرین می‌باشد

۳-۱-۵ آب آلوده

تضمین ایمنی نوشیدن آب‌های تصفیه شده یک امر حیاتی است. بسیاری از منابع آب سطحی یا زیر زمینی در مناطق دورافتاده آلوده بوده و آلودگی‌های آن‌ها تنها ناشی از کربن ارگانیک (COD) (تقاضای اکسیژن شیمیایی) یا مواد مغذی (ازت یا فسفر) نیست، بلکه از باکتری‌های بیماری‌زا، ویروس‌ها، تک یاخته‌ها و کرم‌ها نیز می‌باشد. بسیاری از منابع به خاطر وجود فلزات سمی مانند فلوراید یا آرسنیک که می‌توانند خطرات جدی برای سلامتی ایجاد کنند به شدت آلوده هستند. زدودن آلوده‌کننده‌هایی که ایمنی و سلامتی را به خطر می‌اندازند، امری واضح است. منابع آب سطحی معمولاً برای دفع زباله استفاده می‌شوند و معمولاً منابع آبی با منابع تخلیه فاضلاب برخورد کرده که باعث ایجاد آلودگی‌های باکتریولوژیک می‌شود. این مسئله نه تنها برای تولیدات کشاورزی و نواحی روستایی و معیشتی، بلکه برای امنیت مواد غذایی نیز چالش ایجاد می‌کند.

تصفیه‌ی آب آلوده به انرژی بیشتری نیاز دارد.

حذف عوامل آلوده‌کننده نیاز به مصرف انرژی دارد. تصفیه‌ی بیولوژیک، حذف آلودگی‌های (COD) از هر کیلوگرم از (COD) نیاز به صرف میزان خاصی از انرژی دارد. گندزدایی آب به روش‌های مختلفی قابل انجام است. یکی از راه‌های اصولی آن، استفاده از اشعه فرابنفش (UV) می‌باشد. روش دیگر، استفاده از فیلترهایی با اندازه‌های مختلف است. هر دوی این روش‌ها، چه برای تولید اشعه فرابنفش چه برای ایجاد فشار برای به کار به انداختن غشاهای فیلتر نیاز به انرژی الکتریکی دارند.

۴-۱-۵ تکنولوژی‌های تصفیه‌ی آب

حفاظت از سلامت انسان‌ها یکی از مهم‌ترین اهداف سیستم‌های تصفیه‌ی آب

است. هدف هر نوع از تصفیه باید کاهش یا غیرفعال نمودن ارگانیس‌هایی که توانایی ایجاد بیماری را دارند باشد. جداسازی غشایی یکی از روش‌های حذف مواد آسیب‌زا از آب است. در قسمت ۲-۵ به این جنبه خواهیم پرداخت. روش دیگری که می‌توان نام برد، حذف عوامل بیماری‌زا بوسیله ضدعفونی کردن می‌باشد، که در قسمت ۴-۵ به آن می‌پردازیم.

داشتن منابع شور یا لب شور به این معنی است که مولکول‌های کوچک باید از آب جدا شوند تا این منابع تبدیل به آب قابل آشامیدن یا قابل استفاده برای آبیاری شود. به این عمل، نمک‌زدایی می‌گویند و در قسمت ۳-۵ به آن می‌پردازیم. دو تکنولوژی اصلی برای تولید آب شیرین از آب شور یا لب شور عبارتند از:

- تقطیر، یا روش‌های گرمایی (تصفیه گرمایی)
- اسمز معکوس (فرآیند غشایی)

تقطیر، قدیمی‌ترین روش برای دستیابی به آب بدون نمک است. این روش از یک منبع گرمایی برای تبدیل آب به بخار و یک منبع سرما برای تبدیل بخار به آب بدون نمک می‌باشد. صرف‌نظر از مقدار نمک در آب ورودی، آب تولید شده حاوی مقداری کمتر از 10mg/L نمک است.

بیش از صد سال از کاربری پدیده‌ی اسمز و اسمز معکوس می‌گذرد. ولی در سال ۱۹۶۰، با توسعه‌ی غشاهای مصنوعی، این اصول به یک واقعیت صنعتی تبدیل شدند. اولین غشاها از سلولز استات ساخته شده بودند. از آن موقع تا به حال تعداد زیادی غشای ارگانیک از جنس پلیمر، و حتی غشاهای معدنی به این لیست اضافه شده‌اند. یک غشای اسمز معکوس، تنها به آب اجازه می‌دهد که از آن عبور کند و جلوی املاح را می‌گیرد. نمک‌زدایی غشایی از پمپ‌های پرفشاری که از الکتریسیته انرژی می‌گیرند استفاده می‌کند تا به کمک یک غشا، آب شیرین را از آب شور یا لب شور جدا کند. به عبارت دیگر: پروسه‌ی اسمز معکوس از انرژی الکتریکی نیرو می‌گیرد. تکنولوژی غشایی، علی‌الخصوص اسمز معکوس در ۶۰٪ از ظرفیت نصب شده

استفاده می‌شود و بازار فن‌آوری‌های نمک‌زدایی را همچنان در تسخیر خود دارند. به عنوان مثال، طبق گفته‌ی اتحادیه‌ی بین‌المللی نمک‌زدایی^۱، در سال ۲۰۱۷ تکنولوژی غشایی مسئول ۲,۲ میلیون مترمکعب آب در روز از ظرفیت قراردادی سالانه بوده است. در حالی که فرآیندهای گرمایی تنها ۰,۱ میلیون مترمکعب آب در روز در همین بازه را به خود اختصاص داده بودند.

۲-۵ جداسازی غشایی

تکنولوژی غشایی تاثیر عظیمی بر تصفیه‌ی آب دارد. غشاهای نیمه نفوذپذیر برای جداکردن فیزیکی مواد استفاده می‌شوند. وارد کردن فشار بر سرتاسر غشا می‌تواند باعث پیشروی فرآیند شود. سپس کوچکترین مولکول‌ها و ذرات در یک محلول از غشا درون غشا رد می‌شوند، در حالی که مولکول‌ها و ذرات بزرگتر در پشت غشا باقی می‌مانند. جداسازی غشایی فشار محور به چهار نوع مختلف تقسیم‌بندی گردند:

- میکروفیلتراسیون (MF) ذرات بین ۰,۱ تا ۰,۵ میکرون را غربال می‌کند (10^{-6} m)
- اولترا-فیلتراسیون (UF) ذرات بین ۰,۰۵ تا ۰,۰۵ میکرون را غربال می‌کند
- نانو-فیلتراسیون (NF) ذرات بین 0.5×10^{-3} تا 1×10^{-3} میکرون را غربال می‌کند.
- اسمز معکوس (RO) مولکول‌هایی تا اندازه‌ی حدودا ۱ انگستروم (10^{-4} micron) را غربال می‌کند. در این اندازه "ذرات" تک مولکول هستند.

میکروفیلتراسیون می‌تواند مواد جامد معلق، گونه‌هایی که وزن مولکولی بالایی دارند، باکتری‌ها، عوامل بیماری‌زا مانند کریپتوسپرویدیوم^۲ و جیاردیا^۳ را از آب نوشیدنی حذف کنند. کریپتوسپرویدیوم انگلی است که معمولا در آب دریاچه‌ها و

۱. www.idadesal.org

۲. cryptosporidium

۳. giardia

رودخانه‌ها، مخصوصاً زمانی که این منابع آب توسط فاضلاب یا فضولات حیوانی آلوده شده باشند یافت می‌شوند. تکنیک‌های میکروفیلتراسیون و اولترافیلتراسیون به هیچ ماده‌ی شیمیایی‌ای برای غیرفعال کردن میکروب‌ها نیاز ندارند.

تصفیه‌ی آب به وسیله اولترافیلتراسیون می‌تواند ماکرو مولکول‌ها، ملوئیدها، ویروس‌ها، پروتئین‌ها و پکتین‌ها را حذف کند. اولترافیلتراسیون تمام مواد معدنی طبیعی، مانند کلسیوم (Ca^{2+}) یا - مهم‌تر از آن - شوری آب دریا را حذف نمی‌کند. نانوفیلتراسیون می‌تواند مولکول‌های کوچک و یون‌های چند ظرفیتی مانند کلسیوم (Ca^{2+}) و منیزیم (Mg^{2+}) را بزدايد، در حالی که برای از بین بردن نمک‌های محلول، یون‌های کوچکتر، رنگ و گونه‌های مولکولی‌ای که وزن کمی دارند بایستی از اسمز معکوس استفاده کرد.

پارامتر دیگری که ۴ نوع فیلتراسیون غشایی را از هم متمایز می‌کند فشاری است که این غشاها معمولاً تحت آن فعالیت می‌کنند. شار^۱ به فشار تغذیه^۲ بستگی دارد. ماکرو و اولترافیلتراسیون به فشار نسبتاً کمی احتیاج دارند، در حالی که فشار بسیار بالاتری در نانو فیلتراسیون و اسمز معکوس استفاده می‌شود. معمولاً، نانو فیلتراسیون به ۱-۴ مگاپاسکال (۱۰-۴۰ بار) فشار نیاز دارد، در حال که اسمز معکوس به ۵-۸ مگاپاسکال (۱۵-۸۰ بار) فشار احتیاج دارد. در فشارهایی بالاتر از فشار مطلوب منافذ بسته می‌شوند و غشا فشرده می‌شود.

می‌توان از غشاها برای تصفیه‌ی انواع مختلف آب‌های آلوده، مانند آب خاکستری (آب پسماند حاصل از شست و شو که فاقد فاضلاب باشد)، آب سیاه (آبی که فاضلاب و عوامل بیماری‌زای فاضلابی به همراه دارد) و حتی ادرار استفاده کرد. به این موضوع در قسمت ۲-۷ پرداخته شده است.

۱. مقدار آب تصفیه شده، نفوذ کرده، که با لیتر بر متر مربع غشاء بر ساعت اندازه‌گیری می‌شود

۲. فشاری ورودی، فشاری که آبی که می‌خواهد وارد غشا بشود باید داشته باشد

۳-۵ نمک‌زدایی^۱

در سرتاسر جهان، آب مصرفی حدود ۳۰۰ میلیون نفر از ۱۹۳۰۰ کارخانه‌ی آب شیرین‌کن واقع در ۱۵۰ کشور مختلف تامین می‌شود. در مقایسه با سایر کشورهای جهان، کشورهای خاورمیانه بیشترین میزان سرمایه‌گذاری را در آب شیرین‌کن داشته و هر روز فن‌آوری‌های بیشتری در چنین مناطقی که با کم‌آبی روبرو هستند استفاده می‌شود. طبق گفته‌ی اتحادیه‌ی بین‌المللی نمک‌زدایی، روزانه حدود ۸۷ میلیون مترمکعب آب شیرین طی فرآیند نمک‌زدایی تولید می‌شود. اگر این مقدار آب به طور مساوی بین ۷,۶ میلیارد نفر جمعیت جهان توزیع گردد، می‌توان برای همه مردم روزانه بیش از ۱۱ لیتر آب تامین نمود. طبق برنامه‌ریزی‌ها، مقرر شده است که نمک‌زدایی از سال ۲۰۱۸ تا ۲۰۲۲، ۱۲٪ رشد سالانه داشته باشد. امروزه ظرفیت جهانی آب شیرین‌کنی برای تامین روزانه ۱۱ لیتر آب برای هر نفر کافیست.

۱-۳-۵ تامین انرژی برای نمک‌زدایی

امروزه بیشتر انرژی مصرفی در فرآیند نمک‌زدایی از سوخت‌های فسیلی تامین می‌شود و کمتر از ۱٪ آن از انرژی‌های تجدیدپذیر تامین می‌شود (ایرنا و IEA-ETSAP، ۲۰۱۳). تامین انرژی نمک‌زدایی بوسیله سوخت‌های فسیلی نیز مشکلات خود را دارد، از جمله می‌توان به این مساله اشاره نمود که انرژی تولید شده از نیروگاه‌های گازی و ذغال سنگی خود نیاز به مصرف آب دارند. نمی‌توان به صورت مداوم از یک منبع آب برای تولید یک منبع آب دیگر استفاده کرد. بنابراین، بایستی آب را یک منبع انرژی و، انرژی را یک منبع برای آب در نظر بگیریم. این مسئله که سوخت‌های فسیلی از دیدگاه اقتصادی و محیط زیستی برای تولید آب امری پایدار نیستند حتی در کشورهای غنی از نفت مانند عربستان سعودی نیز شناخته شده است، به طوری که شاه عبدالله برای آب شیرین‌کن خورشیدی در

۱. شیرین و تصفیه کردن آب

سال ۲۰۱۰ اقدامات گسترده‌ای انجام داد (ایرنا، 2015b). هدف این پروژه، جدا از افزایش امنیت منابع آب کشور، کمک به توسعه‌ی تکنولوژی‌های نمک‌زدایی خورشیدی کم‌هزینه نیز می‌باشد. گسترش رو به رشد این فن‌آوری باعث می‌شود که هزینه نمک‌زدایی خورشیدی در بلند مدت منطقی‌تر باشد. بیش از ۵۰٪ از هزینه‌ی انرژی ورودی، هزینه‌ی غالب نمک‌زدایی است. با در نظر گرفتن هزینه‌های رو به رشد انرژی و قریب‌الوقوع بودن تمام شدن منابع انرژی رایج، استفاده از انرژی‌های تجدیدپذیر برای تولید آب پاکیزه، چشم‌اندازی امیدوارکننده و جذاب می‌باشد. این مسئله به خصوص در مورد انرژی‌های خورشیدی واقعیت دارد، چرا که مناطقی که دچار کمبود آب هستند معمولاً سطح بالایی از تابش خورشیدی را دریافت می‌کنند. تنها منبع آب برای دستگاه‌های آب شیرین کن، آب دریا نیست، بلکه همان‌گونه که در جدول ۲-۵ ملاحظه می‌کنید، برای تصفیه آب زیرزمینی لب شور نیز که در بسیاری از مناطق دنیا که دچار کم‌آبی هستند به طور رایجی کاربرد دارند.

جدول ۲-۵ منابع آب آشامیدنی برای نمک‌زدایی (به صورت جهانی)

نمک‌زدایی از	درصد
آب دریا	۵۹
آب لب شور	۲۱
آب رودخانه	۹
آب خالص مورد استفاده‌ی صنعت	۵
آبی که دوباره مصرف می‌شود	۵<

منبع: ویکی‌پدیا

در بسیاری از مناطق درحال توسعه‌ی جهان مقدار زیادی آب لب شور و انرژی خورشیدی وجود دارد. در مناطقی که با کمبود آب آشامیدنی روبرو هستند، می‌توان از خورشید بعنوان یک گزینه مناسب برای تامین انرژی تأسیسات نمک‌زدایی آب‌های لب شور واقع در محل استفاده کرد.

۲-۳-۵ تقطیر - روش‌های گرمایی

جدا کردن نمک‌ها و مواد معدنی حل شده در آب دریا یا آب لب شور با حرارت دادن آب امکان‌پذیر می‌باشد. این فرآیند، تطیر نام دارد و اصول اولیه‌ی آن، گرم کردن آب، تبخیر کردن آن و سپس مجدداً مایع کردن آن می‌باشد، که از این فرآیند آب شیرین تولید می‌شود. از این اصول در کشورهای گرم و خشک در طول قرن‌ها با استفاده نور خورشید به کار گرفته می‌شده‌اند. در زمان قدیم، دریانوردان با استفاده از سیستم‌های تقطیر اولیه آب آشامیدنی خود را تامین می‌کردند. مخترعینی مانند لئوناردو داوینچی و توماس جفرسون با تقطیر آب دریا آزمایش‌های متعددی انجام دادند. ارسطو، در قرن چهارم پیش از میلاد، روشی را برای تبخیر آب ناخالص و سپس مایع کردن آن برای به دست آوردن آب آشامیدنی تشریح کرده است (Kalogirou, 2005).

تقطیر به مقدار قابل توجهی انرژی گرمایی نیاز دارد و باید با کاربری‌های گرماساز دیگر جفت شود. عمدتاً تقطیر توسط کشورهای تولیدکننده نفت و گاز توسعه یافته است، جایی که در آن می‌توان تشکیلات انرژی گرمایی را به سیستم‌های تقطیر متصل کرد و با حرارت حاصله، آب را تبخیر می‌نمودند. مزیت این تکنیک این است که نیاز به پیش تصفیه‌ی خاصی قبل از تبخیر آب نیاز نیست.

امروزه تقطیر با ظرافت بیشتری انجام می‌شود، و رایج‌ترین روش آن، تقطیر ناگهانی چند مرحله‌ای می‌باشد (MSF) که در آن آب را گرم کرده و فشار آن را کاهش داده تا آب "به طور ناگهانی" به بخار تبدیل شود. تقطیر ناگهانی چند مرحله‌ای به مقدار زیادی انرژی نیاز دارد تا آب شیرین تولید کند (معمولاً ۱۲-۱۵ کیلو وات در ساعت و گاهی اوقات حتی تا ۲۵ کیلو وات در ساعت به ازای هر مترمکعب). به دو نوع انرژی برای به کار انداختن یک کارخانه‌ی تقطیر گرمایی نیاز است:

نیروی حرارتی کم، که بیشتر نقش انرژی ورودی را ایفا می‌کند، الکتروسیته، که از آن برای به حرکت در آوردن پمپ‌های سیستم استفاده می‌شود. از انرژی خورشیدی فوتوولتاییک یا باد می‌توان برای تامین انرژی مورد نیاز این پمپ‌ها استفاده

کرد. پمپ‌ها به ۳-۵ کیلوولت در ساعت به ازای هر مترمکعب نیاز دارند. روش دیگر تصفیه‌ی تقطیری، تقطیر چند اثری می‌باشد (MED). در این روش آب از چند تبخیرکننده متوالی عبور می‌کند که از بخار تولید شده در هر مرحله از توالی، برای انجام عمل تبخیر در مرحله بعد استفاده می‌شود.

تکنولوژی‌های چند مرحله‌ای ناگهانی و چند اثری، فرآیندهایی صنعتی بوده و هزینه آنها بیشتر برای عملیات‌های کلان مناسب هستند تا عملیات‌های کوچکتر. تقطیر چند اثری نسبت به تقطیر ناگهانی بازده بالاتری دارد.

تکنولوژی‌های گرمایی همچنان فن‌آوری غالب در کشورهای حوزه‌ی خلیج فارس و آفریقای شمالی هستند، ولی در مقیاس جهانی، روش‌های شیرین‌سازی مبتنی بر فن‌آوری غشایی رایج‌تر می‌باشند.

کارخانه‌های تقطیر آب پسماند (شورآب) کمتری نسبت به روش‌های غشایی، مانند اسمز معکوس تولید می‌کنند، و در آن‌ها فیلتر یا غشایی که مسدود شوند وجود ندارد. به مسئله‌ی شورآب در ادامه بیشتر می‌پردازیم.

انرژی استفاده شده در فرآیندهای تقطیر یا در قالب عملیات (انرژی برق) و یا در قالب انرژی حرارتی (معمولاً به صورت بخار با دمای پایین) می‌باشند. این حالت‌های انرژی متمایز بوده و نمی‌توان صرفاً با جمع کردن مقدارشان با یکدیگر، انرژی "کل" مورد نیاز به دست آورد. طبق قانون دوم ترمودینامیک، انرژی الکتریکی می‌تواند به گرما تبدیل شود، ولی گرمای دما-پایین نمی‌تواند به الکتریسیته تبدیل شود.

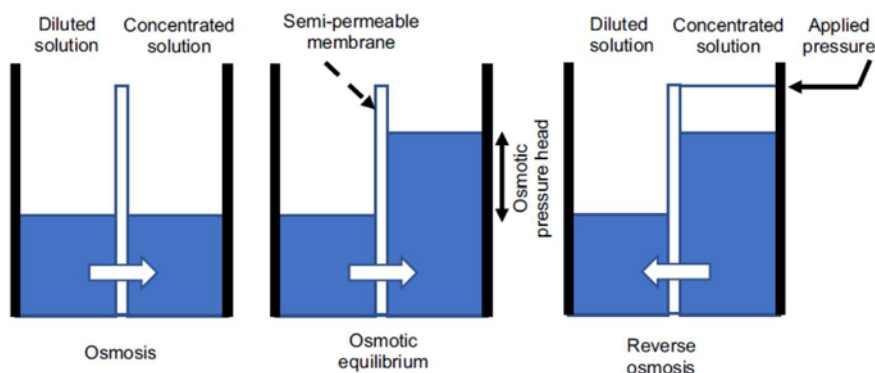
۶۹. تصفیه‌ی آب

۳-۳-۵ اسمز معکوس

واحدهای اسمز معکوس با طراحی ماژولار خود در دامنه‌ی ظرفیتی گسترده‌ای کاربرد دارند. از تکنولوژی اسمز معکوس از کاربری خانگی گرفته تا تصفیه ۶۰۰۰۰ مترمکعب در روز استفاده می‌شود. این مقیاس‌پذیری در کنار مقیاس‌پذیری انرژی خورشیدی فوتوولتاییک و انرژی بادی ترکیب جالبی را نتیجه می‌دهند. کارخانه‌های بزرگ از صدها واحد در قفسه‌هایی مجزا تشکیل شده‌اند. ظرفیت

یک نیروگاه بزرگ از ۱۰۰۰۰۰ مترمکعب در روز یا ۱ مترمکعب تجاوز می‌کند. در حالی که واحدهای بسیار کوچکی با هدف نرخ جریان‌هایی به میزان اندک ۰,۱ مترمکعب در روز یا ۴ لیتر در ساعت ساخته شده‌اند. واحدهای کوچک برای یک منزل، تصفیه آب مورد نیاز موجودات دریایی که در خانه نگه داشته می‌شوند، و در نواحی روستایی یا جزایری که دیگر منابع تامین آب در دسترس نمی‌باشند، استفاده می‌شوند.

اسمز طبیعی (یا اسمز مستقیم) نحوه جابجایی آب بین دو محلول با غلظت‌های متفاوت را تعیین می‌کند. اساس عملکرد پوست انسان و ارگان‌های بدن، مانند حفظ توازن آب در تمامی موجودات و گیاهان نیز اسمز معکوس است. پروسه‌ی اسمز معکوس را به این صورت می‌توان توضیح داد که مانند شکل ۱-۵، یک مانع نیمه نفوذپذیر مانند یک غشاء بین دو محلول با دو سطح نمک محلول متفاوت قرار می‌گیرد. در اسمز طبیعی، اگر فشار خارجی اعمال نشود آب تمایل دارد تا از محلول با غلظت پایین‌تر به محلول با غلظت بالاتر جریان پیدا کند.



{عبارات داخل شکل:

Osmotic equilibrium تعادل اسمزی
 Osmotic pressure head فشار هد
 اسمزی

Diluted solution محلول رقیق
 Concentrated solution محلول غلیظ

Reverse osmosis اسمز معکوس
 Applied pressure فشار اعمال شده

Semi permeable membrane غشاء نیمه نفوذپذیر
 Osmosis اسمز

شکل ۵-۱: نمایش اسمز و اسمز معکوس. پیکان‌ها نشان دهنده ی جهت جریان آب می‌باشند.

همانطور که در شکل ۵-۱ مشاهده می‌نمایید، در اسمز معکوس، آب در خلاف جهت اسمز طبیعی جریان می‌یابد، که منجر به افزایش نیاز به فشار می‌شود.

۷۰. آب پاکیزه با استفاده از انرژی خورشیدی و باد: خارج از شبکه ی توزیع

به آب شور فشاری وارد می‌شود که (Δp) از فشار اسمزی بیشتر شود $(\Delta \pi)$. سپس آب غلیظ از غشای نیمه نفوذپذیر رد می‌شود و ذرات جامد نمک را پشت سر می‌گذارد. فشار اسمزی مورد نیاز برای آب دریا با ۳٫۵٪ نمک، ۲٫۶ مگا پاسکال (یا ۲۶ بار) می‌باشد. آب لب شور از آن جایی که فشار اسمزی آن کمتر است، به انرژی کمتری نیز نیاز دارد. بعبارت دیگر، سیستم اسمز معکوس زمانی آب شور را به شیرین تبدیل می‌کند که به فشاری بالاتر از فشار اسمزی دست پیدا کنیم. در واقع، شار آب از درون غشا متناسب با اختلاف فشار بین فشاری که پمپ اعمال می‌کند $(P\Delta)$ و فشار اسمزی $(\Delta \pi)$ می‌باشد.

$$J_w = C \cdot (\Delta p - \Delta \pi)$$

که در آن J_w شار می‌باشد (l/m^2 غشا بر ساعت) و C اصطلاحاً ثابت نفوذپذیری می‌باشد. متعاقباً نرخ جریان (دبی جریان) برابر است با:

$$Q = J_w \cdot A = C \cdot (\Delta p - \Delta \pi) \cdot A$$

که در آن A سطح مقطع غشا می‌باشد. نفوذپذیری به دما بستگی دارد. هر چقدر دما بالاتر باشد نفوذپذیری نیز بالاتر خواهد بود. میزان تغییر در نفوذپذیری حدود ۳٪ به ازای هر درجه ی سلسیوس می‌باشد. در نتیجه، فشار مورد نیاز برای دستیابی به یک مقدار شار یا ظرفیت مشخص در دماهای بالاتر پایین‌تر خواهد بود.

قسمت کوچکی از ماده ی حل شده به همراه آب از غشا رد می‌شود. حدوداً ممکن است ۲٪ نمک طعام ($NaCl$) از درون فیلتر در دستگاه اسمز معکوس رد شود.

فشار واقعی مورد نیاز و هزینه‌های متعاقب انرژی مورد نیاز نمک‌زدایی ۲-۳ برابر بیشتر از فشار اسمزی به دلایلی مانند راندمان پایین، اتلاف مواد و رسوب در غشا می‌باشند. فشار عملیاتی رایج برای نمک‌زدایی آب دریا در بازه ی ۵٫۵-۶٫۲

مگاپاسکال قرار دارد (یا ۵۵-۶۲ بار) ولی فشارهایی در بازه‌ی ۹,۶-۸,۳ مگا پاسکال نیز (۶۹-۸۳ بار) یافت می‌شوند.

از آن جایی که فشار اسمزی کمی مورد نیاز است نمک‌زدایی آب لب شور نیز به انرژی کمتری احتیاج دارد. این انرژی مورد نیاز تقریباً به صورت خطی با میزان نمک حل شده کاهش می‌یابد. فشار اسمزی مورد نیاز (به بار) به صورت تجربی با فرمول زیر به دست می‌آید.

$$\Delta\pi \approx 0.7 \cdot 10^{-3} \cdot C$$

که در آن C غلظت نمک می‌باشد (mg/l). برای شوری ۱٪ فشار اسمزی حدوداً ۰,۷۵ مگاپاسکال (یا ۷,۵ بار) می‌باشد.

انرژی مورد نیاز برای نمک‌زدایی تقریباً به صورت خطی با کاهش نمک حل شده کاهش می‌یابد.

سیستم‌های اسمز معکوس آب لب شور معمولاً به فشاری در بازه‌ی ۵,۱-۲,۵ مگاپاسکال (۱۵-۲۵ بار) نیاز دارند. متعاقباً انرژی کمتری نیز برای نمک‌زدایی آب لب شور نسبت به آب شور نیاز است. همچنین، به علت فشار پایین دستگاه‌های تصفیه آب لب شور، می‌توان در فرآیند اسمز معکوس از قطعات پلاستیکی ارزان استفاده نمود. بنابراین، هزینه کل تامین آب از آب لب شور به طور قابل ملاحظه‌ای از تامین آب از آب دریا کمتر است، و این سیستم‌ها به صورت تجاری ارائه می‌شوند. نیروی پمپاژ مورد نیاز متناسب با نرخ جریان آب ورودی و اختلاف فشار بین خروجی و ورودی پمپ اصلی می‌باشد. کارخانه‌های اسمز معکوس به کیفیت آب ورودی مانند درصد شوری، میزان گل آلود بودن و دما حساسند. انرژی نه تنها برای دستیابی به فشار بالای کافی برای پروسه‌ی اسمز معکوس، بلکه برای پمپ‌هایی که آب را برای نمک‌زدایی به نیروگاه می‌رساند و فیلترهای که برای پیش تصفیه استفاده می‌شوند، نیاز است. تا ۷۲٪ از کل انرژی مورد نیاز برای نمک‌زدایی آب دریا به وسیله‌ی غشاهای اسمز معکوس توسط پمپ‌های فشار بالا استفاده می‌شود.

(ووچکف^۱، ۲۰۱۲). بنابراین بسیار مهم است که از بالا بودن راندمان پمپ‌ها اطمینان خاطر حاصل شود.

۴-۳-۵ غشاهای اسمز معکوس

در یک غشای اسمز معکوس آب از درون یک سازه‌ی پلیمری که همیشه آب دوست بوده و توسط آب "متورم" می‌شود، حرکت می‌کند. غشاهای اسمز معکوس به صورت ماژول‌های اسپایرال - وندی (مارپیچ) چیده می‌شوند تا واحد غشا به صورت یک لوله به نظر برسد.

پیش تصفیه آب ورودی بسیار مهم است تا ذرات معلق به وسیله‌ی پیش فیلترها حذف شوند و مواد شیمیایی پیش از فیلترهای اسمز معکوس به آب اضافه شوند. یک فرآیند پیش تصفیه با کارکرد مناسب، کلید تولید قابل اعتماد آب شیرین است. این کار نیاز به شست و شوی غشاها را کاهش می‌دهد و باعث افزایش عمر ماژول‌های اسمز معکوس می‌شود. ولی باز هم غشاها ممکن است به خاطر آب ورودی که شدیداً گل‌آلود است دچار رسوب شوند که این خود باعث مسدود شدن غشاها به وسیله‌ی ذرات معلق، ارگانسیم‌های دریایی و محصولات متابولیسم آن‌ها می‌گردد. علاوه بر این، ته نشین شدن مواد ارگانیک طبیعی و ذرات معدنی نیز می‌تواند بر سطح غشا رسوب ایجاد نمایند.

۷۲. آب پاکیزه با استفاده از انرژی خورشیدی و باد: خارج از شبکه‌ی توزیع

رسوب‌گیری همچنین جریان آب را محدود می‌کند و نهایتاً بر ترمیم غشا توسط آب تاثیر می‌گذارد. همچنین می‌تواند باعث آسیب دیدن غشا شود. می‌توان با اضافه کردن مواد شیمیایی یا ضد رسوب‌ها، از رسوب‌گذاری جلوگیری نمود. وجود رسوب باعث افزایش مصرف انرژی می‌شود. تمیز کردن به صورت مرتب و تزریق مواد شیمیایی عمر غشاهای اسمز معکوس را کاهش می‌دهند.

حتی با وجود یک طراحی پیش تصفیه‌ی خوب، شست و شوی مرتب ماژول‌ها

امری بسیار حیاتی است. در صورت شست و شو به صورت گذری و ناکامل، تعداد دفعات شست و شو بایستی افزایش یابد.

پروسه‌ی نمک‌زدایی دو جریان آب ایجاد می‌کند، یکی آب شیرین (با شوری پایین) و دیگری با نمک بیشتر. تقریباً نیمی از آب ورودی، تبدیل به آب شیرین، و در نتیجه میزان شوری نیمه‌ی دیگر، دو برابر شوری آب ورودی خواهد شد. جریان دوم، شور آب نام دارد و مسئله‌ی اصلی در نحوه دفع آن است. شور آب از آب دریا غلیظ‌تر است. همان‌گونه که پیش‌تر گفته شد، در پروسه‌ی نمک‌زدایی، مواد شیمیایی مانند ضد رسوب‌ها و منعقدکننده‌ها به آب دریا اضافه می‌شوند. این مواد شیمیایی از غشا رد نمی‌شوند و در شور آب باقی می‌مانند.

با رهاسازی شور آب، فعالیت‌های بیولوژیکی آغاز شده و میکرو ارگانیسم‌ها شروع به تغذیه از مواد شیمیایی می‌کنند. این امر باعث مصرف اکسیژن محلول در آبی که شور آب را دریافت می‌کند می‌شود. فسفات و نیتрат نیز در حین تجزیه مواد شیمیایی موجود در پساب آزاد می‌شوند، که بیش از اندازه باعث بالا رفتن سطح این مواد در جریان وارده به پساب می‌گردد. بنابراین، اگر شوراب به دریا ریخته شود، برای زندگی دریایی و آبزیان ایجاد خطر می‌کند. نمک زیاد برای آبزیان مرگبار است، همان‌طور که مصرف آب دریا برای حیوانات و محصولات زراعی می‌تواند کشنده باشد. علاوه بر این، شور آب معمولاً حرارت بسیار بالاتری دارد، بنابراین، دفع آن می‌تواند تأثیراتی منفی بر خشکی و همین‌طور دریا داشته باشد. یکی از راه‌های کاهش تأثیر منفی بالقوه‌ی نمک و مواد شیمیایی موجود در شوراب، ترکیب پساب با سرعت بسیار بالا با آب‌های اطراف است.

یک کارخانه‌ی نمک‌زدایی واقع در کنار دریا عملاً دسترسی نامحدودی به آب دریا دارد. از سوی دیگر، می‌توان از کارخانه‌های نمک‌زدایی واقع در خشکی برای استفاده‌ی دوباره از آب و تولید آب آشامیدنی از آب مصرف شده، در جاهایی که منابع مرسوم کافی نیستند، استفاده نمود. برای کارخانه‌های واقع در خشکی، دفع (شوراب) باید به دقت انجام شود. نگرانی اصلی زیست محیطی درباره‌ی دفع آب غلیظ در آب‌های سطحی و فاضلاب‌ها، افزایش نمک در آب‌های گیرنده می‌باشد، چه این آب‌ها آب‌های سطحی باشند چه آب‌های زیر زمینی.

۷۳. تصفیه‌ی آب

گاهی اوقات مقدور است که شوراب در یک حوض تبخیر جمع‌آوری شود. در مناطق دارای آب و هوای گرم، آب موجود در شوراب تبخیر می‌شود و می‌توان نمک را جمع‌آوری کرده و برای مصارف دیگر استفاده نمود.

۵-۳-۵ انرژی‌های تجدیدپذیر برای نمک‌زدایی

انرژی مورد نیاز برای نمک‌زدایی ۳ کاربرد دارد: برای انجام پیش تصفیه، تامین انرژی مورد نیاز پمپ‌های فشار بالا برای فرآیند اسمز معکوس و غلبه بر مقاومت غشاها نسبت به جریان آب. در این فرآیند بایستی از انرژی الکتریکی استفاده شود که می‌توان آن را از منابع مختلفی تامین نمود. نمک‌زدایی بر پایه‌ی انرژی‌های تجدیدپذیر، روشی پایدار برای تولید آب شیرین است. در حال حاضر انرژی موجود می‌تواند انرژی لازم برای تولید تقریباً ۱٪ آب شیرین از منابع تجدیدپذیر و آن هم عمدتاً در تاسیسات‌های مقیاس کوچک را تامین کند. لیکن کارخانه‌های بزرگتر هر روز بیشتر به استفاده از انرژی تجدیدپذیر روی می‌آورند.

عموماً به ۳-۵ کیلووات در ساعت بر مترمکعب انرژی برای کل پروسه تصفیه‌ی آب دریا به روش اسمز معکوس نیاز است (ایرنا و IEA-ETSAP، ۲۰۱۳). بعضی از منابع حاکی از آنند که می‌توان برای نمک‌زدایی آب دریا به ۱٫۵-۲ کیلووات در ساعت بر مترمکعب انرژی دست یافت. به طور نظری، حداقل انرژی مورد نیاز برای تصفیه به روش اسمز معکوس، ۱ کیلووات در ساعت بر مترمکعب است، در حالی که به نظر می‌رسد حداقل انرژی مورد نیاز به صورت عملی برای تصفیه‌ی آب لب شور، حدود ۱٫۵ کیلووات ساعت بر مترمکعب و یاب‌ه طور دقیق‌تر چیزی بین ۰٫۵-۲٫۵ کیلووات ساعت بر مترمکعب باشد.

انرژی خورشیدی فوتوولتاییک و انرژی بادی می‌توانند انرژی مورد نیاز را فراهم کنند، ولی با در نظر گرفتن متناوب بودن تولید انرژی، ذخیره‌ی انرژی الکتریکی خود یک چالش قابل توجه محسوب می‌شود. (فصل ۱۰). یک جنبه‌ی مهم قضیه این است که انرژی تولید شده مازاد می‌تواند در قالب آب بدون نمک ذخیره شود، که این

راهکار ذخیره‌سازی می‌تواند بر قیمت در زمان فزونی تولید تاثیر بگذارد. نمک‌زدایی گرمایی به انرژی الکتریکی و در عین حال به انرژی گرمایی نیاز دارد، و مجموع انرژی مورد نیاز آن - از تمام انرژی مصرفی در روش تصفیه‌ی غشایی بیشتر است. نمک‌زدایی آب دریا از طریق تقطیر چند مرحله‌ای ناگهانی معمولاً ۸۰ کیلووات در ساعت بر مترمکعب انرژی گرمایی (یا ۲۹۰ mJ/m³) به علاوه‌ی ۲٫۵-۳٫۵ کیلووات در ساعت بر مترمکعب انرژی الکتریکی مصرف می‌کند. (IEA-ETSAP & IRENA, 2013)

با در نظر داشتن هزینه‌های به شدت رو به کاهش تکنولوژی‌های تجدیدپذیر، حتی امروزه نیز نمک‌زدایی به وسیله انرژی‌های تجدیدپذیر می‌تواند با سیستم‌های رایج در نواحی دورافتاده که هزینه‌ی انتقال انرژی و توزیع آن از هزینه‌ی تولید انرژی خارج از شبکه بیشتر است رقابت کند.

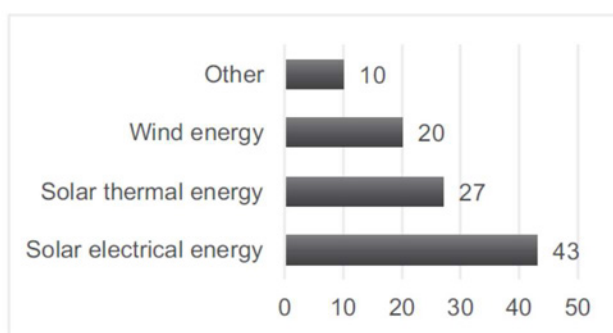
۷۴. آب پاکیزه با استفاده از انرژی خورشیدی و باد: خارج از شبکه‌ی توزیع

نمک‌زدایی بر پایه‌ی انرژی‌های تجدیدپذیر بیشتر بر پایه تکنولوژی اسمز معکوس می‌باشد، و فرآیند رایج بعدی، فرآیند گرمایی تقطیر چند مرحله‌ای ناگهانی است. با توجه به کاربری‌های امروزی، تکنولوژی خورشیدی فوتولتاییک بعنوان منبع انرژی نیمی از ظرفیت نصب شده محسوب می‌شوند، بعد از آن، انرژی خورشیدی گرمایی و انرژی بادی قرار دارند. بهترین ترکیب منبع انرژی تجدیدپذیر و تکنولوژی نمک‌زدایی را می‌توان با استفاده صحیح از موقعیت جغرافیایی، میزان شوری آب، انرژی‌های تجدیدپذیر در دسترس و ابعاد کارخانه بدست آورد. البته که نیازها به پمپ و پیش تصفیه‌ی آب ورودی فاکتورهای دیگری هستند که باید در نظر گرفته شوند.

همچنان نیز هزینه‌ی سلول‌های خورشیدی بیشترین قسمت هزینه می‌باشد، ولی باتری‌هایی که برای نگهداری انرژی الکتریکی استفاده می‌شوند را نیز ناپایستی فراموش نمود (فصل ۱۰ را ببینید). باتری‌ها نیاز به نگهداری دارند. هر پیشرفتی در ظرفیت ذخیره‌سازی، تاثیر عمیقی بر عملیات‌های خورشیدی فوتولتاییک خواهد

داشت. از سوی دیگر، "سوخت" رایگان است، بنابراین درمقابل دیزل و برق شبکه تکنولوژی‌های تجدیدپذیر با گذشت زمان می‌توانند هزینه سرمایه‌گذاری شده برای راه‌اندازی آنها را بازگردانند.

انرژی خورشیدی متناسب‌ترین انرژی تجدیدپذیر برای استفاده در کنار تکنولوژی نمک‌زدایی می‌باشد. انرژی خورشیدی می‌تواند گرما و الکتریسیته‌ی مورد نیاز برای فرآیند نمک‌زدایی را تولید کند. همان گونه که در شکل ۲-۵ نشان داده شده است، در سرتاسر جهان، منابع انرژی مختلفی برای نمک‌زدایی استفاده می‌شوند.



(عبارات داخل شکل:

Wind power: انرژی بادی

Solar electrical energy: انرژی خورشیدی الکتریکی

Other: سایر منابع)

Solar thermal energy: انرژی خورشیدی گرمایی

شکل ۲-۵: منابع انرژی تجدیدپذیر برای نمک‌زدایی در سرتاسر جهان (به %). مرجع داده‌ها: آلكایسی و همکاران^۱ (۲۰۱۷)

کاهش چشمگیر هزینه‌های تولید به کمک استفاده از اسمز معکوس که با انرژی خورشیدی تغذیه شده شاهدهی بر ماندگاری بالای تجاری این فن‌آوری است، که نمونه آن را می‌توان در ابوظبی مشاهده کرد.

۱. Alkaiasi et al.

۷۵. تصفیه‌ی آب

هزینه‌ی تراز شده‌ی نمک‌زدایی در مقیاس بالا (> ۱۰۰۰۰۰ مترمکعب بر روز) ۰,۹۱ دلار آمریکا بر مترمکعب (۳,۳ درهم عمارات بر مترمکعب)، و هزینه‌ی متوسط تولید آب که امروزه برابر با ۱,۴۲ دلار آمریکا بر مترمکعب است (۵,۱۶ درهم عمارات بر مترمکعب) (مسدر^۱، ۲۰۱۸).

انرژی، بزرگترین هزینه‌ی متغیر در کارخانه‌های تصفیه‌ی آب دریا به روش اسمز معکوس بحساب می‌آید، به طوری که از یک سوم تا بیش از نیمی از هزینه‌ی آب تولید شده را شامل می‌شود. طبق نتیجه تحقیقات ووتچکو (۲۰۱۶)، انتظار نمی‌رود که در سال‌های آتی، پیشرفت چشمگیری در تکنولوژی داشته باشیم که باعث کاهش شدید هزینه‌ی نمک‌زدایی آب دریا شود. با این حال، هزینه‌های تولید و هزینه‌های پیشرفت تکنولوژی مرتب در حال کاهش است.

همان‌گونه که جدول ۳-۵ نشان می‌دهد، هزینه‌ها به طور چشمگیری طی سال‌های آتی کاهش پیدا خواهند کرد.

جدول ۳-۵ هزینه‌های اسمز معکوس در پروژه‌های مقیاس متوسط و مقیاس بزرگ پیش‌تاز (ووتچکو، ۲۰۱۶)

تا سال ۲۰۳۵	تا سال ۲۰۲۱	سال ۲۰۱۶	
۰,۳-۰,۵	۰,۶-۱	۰,۸-۱,۲	هزینه‌ی آب دلار آمریکا بر مترمکعب (USD/m ³)
۲,۱-۲,۴	۲,۸-۳,۲	۳,۵-۴	میزان مصرف انرژی الکتریکی کیلووات ساعت بر مترمکعب (kWh/m ³)

همان‌گونه که اشاره شد، منبع انرژی، شوری منبع آب، اندازه‌ی کارخانه و قیمت زمین فاکتورهایی هستند که بر هزینه‌ی نمک‌زدایی تاثیر می‌گذارند. به طور معمول نمک‌زدایی ۰,۵-۳ دلار آمریکا بر مترمکعب هزینه دارد.

مثال ۱-۵: انرژی مورد نیاز برای نمک‌زدایی در مقیاس کوچک

فرض کنید که به روزانه یک مترمکعب آب دریایی نمک‌زدایی شده نیاز داریم. با محافظه کاری، این امر به ۸ کیلووات ساعت انرژی برای تصفیه با تکنولوژی اسمز معکوس نیاز دارد. با در نظر گرفتن این که آرایه‌ی انرژی خورشیدی فوتولتاییک ما می‌تواند ۶ ساعت برق‌رسانی کند، این امر به ۱,۳-۱,۴ کیلووات انرژی الکتریکی نیاز داد. در یک کشور استوایی یا نیمه استوایی، آرایه‌ای خورشیدی با حداکثر ۲ کیلووات توان برای تامین متوسط انرژی در طول روز کافی است. اگر نیروگاه را تا ۰,۱ مترمکعب در روز کوچک کنیم، انرژی مورد نیاز ۰,۲ کیلووات خواهد بود.

۶-۳-۵ ساز و کار و مسائل سرویس و نگهداری

اولین نصب و راه‌اندازی‌های تجهیزات نمک‌زدایی به روش اسمز معکوس که از انرژی‌های تجدیدپذیر نیرو می‌گیرند نکات مهمی را به ما نشان داد (سیپولینی^۱ و همکاران، ۲۰۱۵) تکنولوژی خورشیدی فوتولتاییک فقط در روشنایی روز انرژی تولید می‌کند.

این مسئله برای طراحی منابع انرژی تجدیدپذیر و همین‌طور برای عمر عملیاتی غشاها عواقبی به دنبال دارد (فصل ۱۰ را نیز ببینید)

از مسائل اصلی می‌توان به سرویس و نگهداری، و تمیز کردن پنل‌های خورشیدی، سختی پمپ‌ها و ماژول‌های اسمز معکوس اشاره کرد. اساسی‌ترین مشکلات عملیاتی که گزارش شده‌اند عبارتند از:

- رسوب در ماژول‌های غشاها که نیاز به شست و شو یا تعویض دارد؛
- بوستر پمپ‌ها در سیستم اسمز معکوس (تولید فشار بالا)
- بیشترین خرابی‌های گزارش شده، خرابی در تجهیزات الکترونیکی و سنسورها می‌باشد.

۴-۵ ضد عفونی

ضد عفونی، یک عملیات حیاتی در چرخه تامین آب می باشد. ما در این جا بر پتانسیل استفاده از اشعه فرابنفش به عنوان یک فرصت بالقوه مهم و واقع گرایانه که توانایی مقابله با چالش عوامل بیماری زای درون آب را دارد، تاکید می کنیم.

۱-۴-۵ تکنولوژی های ضد عفونی کردن

حذف ارگانیسم های زیان آور درون آب برای محافظت از سلامتی انسان ها امری حیاتی است. در ضد عفونی کردن آب، ارگانیسم های زیان بار را غیرفعال کرده یا می کشیم. پاتوژن ها (هر نوع عامل بیماری زا) بیماری هایی که توسط آب منتقل می شوند مانند وبا، فلج اطفال، تیفوس، هپاتیت و چندین بیماری باکتریایی، ویروسی و انگلی دیگر را ایجاد می کنند. طبیعتا مهم ترین اولویت، کاهش چشمگیر تمامی میکروارگانیسم های بادوام آب می باشد.

ضد عفونی را می توان به وسیله ی ضد عفونی کننده های شیمیایی و همینطور به وسیله ی ضد عفونی کننده های فیزیکی انجام داد. رایج ترین ضد عفونی کننده های فیزیکی، نور فرابنفش، تشعشع الکترونیکی گرما هستند و از رایج ترین مواد شیمیایی برای ضد عفونی کردن می توان به کلر، کلر دی اکسید و اوزون اشاره کرد. یکی از اقدامات رایج نهایی برای حذف عوامل بیماری زا از آب آشامیدنی در سیستم های منابع آب شهری، غیرفعال سازی آلودگی های میکروبی منابع آب خام با روش های شیمیایی است. به طور سنتی، در بیشتر کشورهای غربی به طور گسترده ای از کلرزنی برای ضد عفونی کردن منابع آب استفاده می شود. برای نرخ های پایین جریان آب (از اندازه ی خانگی تا یک روستا) روش های تصفیه ی اصلی، استفاده از ازن، تابش نور فرابنفش و کلر می باشند. تکنیک هایی مثل فیلتراسیون ممکن است بتوانند ارگانیسم عفونت زا را از آب جدا کنند. با این حال، فیلتراسیون، جایگزین مناسبی برای ضد عفونی کردن نیست.

۷۷. تصفیه ی آب

۲-۴-۵ ضد عفونی با اشعه فرابنفش

یکی از برتری‌های اصلی استفاده از نور فرابنفش در مناطق دور افتاده این است که به هیچ ماده‌ی شیمیایی مصرفی‌ای نیاز ندارد. سرویس و نگهداری آن راحت و سر راست است و ریسک استفاده بیش از حد نیز ندارد. تابش فرابنفش هیچ چیزی در آب باقی نمی‌گذارد و به طور گسترده‌ای در جوامع کوچک برای ضد عفونی کردن استفاده می‌شود. نور فرابنفش یکی از معدود تکنولوژی‌های مقرون به صرفه برای منابع آب مقیاس کوچک است و به طور موثری باکتری‌ها، ویروس‌ها و سایر میکروارگانیسم‌های خطرناک را از بین می‌برد. یک لامپ فرابنفش نور خورشید را تقلید می‌کند. در طبیعت، نور خورشید بعضی از باکتری‌ها را از بین می‌برد و به طور طبیعی آب را تصفیه می‌کند.

بازده ضد عفونی به وسیله‌ی تابش فرابنفش بستگی به شدت و طول موج تابش دارد. اگر آب دارای رنگ یا کدر باشد، میکروارگانیسم‌ها کمتر در معرض تابش قرار می‌گیرند، و در نتیجه بازدهی ضد عفونی کاهش می‌یابد. البته این یک ایراد است که بایستی در این صورت، پیش از فرآیند تابش فرابنفش، آب از فرآیند پیش تصفیه عبور داده شود. مشکل دیگر این است که تست ساده‌ای برای نتیجه‌ی ضد عفونی وجود ندارد.

ضد عفونی با نور فرابنفش معمولاً به این صورت است که آب از درون لوله‌های شفاف عبور می‌کند. تنها چند ثانیه تابش نور فرابنفش به آب کافیهست. دوز فرابنفش (میزان انرژی آن) معمولاً به صورت میلی ژول بر سانتیمتر مربع= میلی وات ثانیه (شدت تابش فرابنفش در میلی وات بر سانتی مترمکعب بر سانتیمتر مربع بیان می‌شود، محصول حاصل از شدت و میزان در معرض پرتو فرابنفش بودن. دوز رایج برای غیرفعال کردن اکثر باکتری‌های موجود در آب ۲۰-۴۰ میلی وات ثانیه بر سانتیمترمربع می‌باشد (EPA, 2011). دپارتمان سلامت و امور انسانی آمریکا حد اقل میزان در معرض تابش اشعه قرار گرفتن در سیستم‌های ضد عفونی فرابنفش را ۱۶ میلی وات ثانیه بر سانتیمتر مربع اعلام کرده است. بیشتر تولیدکننده‌ها، لامپ‌هایی با توانایی تولید ۳۰-۵۰ میلی وات ثانیه بر سانتی مترمکعب را ارائه می‌کنند. در

مجموع، به عنوان مثال، باکتری‌های گلیفرم، در ۷ میلی وات ثانیه بر سانتیمترمکعب از بین می‌روند (Oram, 2014).

طول موج معمول ۲۵۴ نانومتر می‌باشد. یک لامپ فرابنفش رایج کم فشار توان نامی‌ای بین ۴۵ تا ۸۰ وات را دارد و حدود ۱۲۰۰۰ ساعت (۱۵ ماه) عمر می‌کند. دمای عملیاتی آن نیز حدود ۴۰ درجه سلسیوس می‌باشد.

میزان توان رایج مورد نیاز برای ضد عفونی کردن آب با نور فرابنفش ۱۰-۲۰ وات بر مترمکعب در هر ساعت می‌باشد. به عنوان مثال، فرض کنید که بایستی یک مترمکعب آب که طی ۶ ساعت تابش خورشید تولید شده است را ضد عفونی کنید. با نرخ جریان ۱,۶ مترمکعب بر ساعت این امر به منبع نوری ۳,۴ واتی برای لامپ فرابنفش نیاز دارد، که مقدار نیروی بسیار کمی در مقایسه با نیروی مورد نیاز برای نمک‌زدایی می‌باشد.

هزینه‌ی ضد عفونی با سیستم‌های نور فرابنفش بسیار کمتر از تصفیه با ازون یا فیلتر کردن غشایی می‌باشد.

در تصفیه با ازون، هزینه‌ی اولیه تقریباً ۵ برابر و هزینه‌ی عملیاتی نگهداری تقریباً ۳ برابر بیشتر می‌باشد. هزینه‌ی اولیه‌ی فیلتراسیون غشایی ده برابر و هزینه‌ی عملیاتی نگه داشتن آن ۸ برابر بیشتر است. استفاده از تکنولوژی اسمز معکوس بهترین روش تصفیه محسوب می‌شود، چرا که غشاها می‌توانند تمامی ذرات، حتی تا کوچکترین مولکول‌ها را حذف کنند، که البته روش پرهزینه‌ای است.

۵-۵ مطالعه‌ی بیشتر

متون زیادی راجع به نمک‌زدایی وجود دارند. برای غیرم تخصصین، در فصل ۳-۵ کتاب، وارادی^۱ و همکاران (۲۰۱۸) تشریح خوبی از نمک‌زدایی و ضد عفونی کردن وجود دارد. برن و گری^۲ (۲۰۱۴) تشریح و توضیحات فراگیری درباره‌ی اسمز معکوس

۱. Varadi

۲. Burn and Gray

ارائه می‌کنند.

اتحادیه‌ی تکنولوژی غشا آمریکا (AMTA) بروشورهای زیادی درباره‌ی غشاهای اسمز معکوس، فیلتراسیون و نمک‌زدایی، که شامل برنامه‌ریزی، به کار گرفتن و نگهداری هستند و مطالعه‌ی آن‌ها ساده است تولید کرده است. (AMTA, 2018)

کتاب لیهر^۱ و همکاران (۲۰۱۸) در مورد یک پروژه بلندپروازانه در نیمبیا نوشته شده که در آن، تجارب جمع‌آوری آب باران و سیلاب، نمک‌زدایی آب‌های زیرزمینی، تخلیه فاضلاب و استفاده‌ی دوباره از آب را ثبت کرده است. نه تنها راهکارهای تکنولوژی بلکه جنبه‌های اجتماعی، مشکلات مدیریت و حکومت، دوام آوردن از نظر اقتصادی و ارزیابی پایداری را تشریح کرده است.

بازرگان (۲۰۱۸) مقدمه‌ای وسیع و بررسی‌ای اجمالی را بر نمک‌زدایی ارائه می‌کند و هم مسائل فنی و هم مسائل غیرفنی را پوشش می‌دهد.

دریولی^۲ و همکاران (۲۰۱۱) مبانی تکنولوژی اسمز معکوس و نمک‌زدایی را تشریح می‌کند. بونشو و هوینکیس (۲۰۱۲)^۳ درباره‌ی قابلیت به کارگیری انرژی‌های تجدیدپذیر برای تولید آب شیرین، موانع متعدد و چگونگی غلبه بر آن‌ها بحث می‌کند. محمودی و همکاران (۲۰۱۷) گزارش جامع درباره‌ی انرژی‌های تجدیدپذیر و نمک‌زدایی ارائه می‌کند. و شتات^۴ و همکاران (۲۰۱۳) فرصت‌های جهانی نمک‌زدایی با استفاده از انرژی خورشیدی را بررسی نموده‌اند.

۱. Liehr

۲. Drioli

۳. Bundschuh and Hoinkis

۴. Shatat



فصل

نمک‌زدایی و گرم کردن آب با گرمای خورشید

"انرژی خورشیدی آخرین انرژی است که مالکی نداشته و کسی برای استفاده از آن درخواست مالیات ندارد"

بانی ریت، خواننده و ترانه سرای آمریکایی

"زمان آن رسیده که بشریت وارد منظومه‌ی خورشیدی شود"

دن کوایل، معاون رییس جمهور آمریکا ۱۹۸۹-۱۹۹۳

همیشه لازم نیست تا برای تولید آب پاکیزه از انرژی الکتریکی استفاده شود. در بخش ۱-۶، به تقطیر خورشیدی به عنوان مکملی در کنار دیگر روش‌های تامین آب پرداخته می‌شود. گرم کردن آب با کالکتورهای خورشیدی سال‌هاست که انجام می‌شود. و در بخش ۲-۶ نشان داده می‌شود که انرژی خورشیدی می‌تواند مکملی برای انرژی الکتریکی برای گرمایش و آشپزی باشد.

۱-۶ تقطیر خورشیدی برای تامین آب پاکیزه

تقطیر خورشیدی یک فرآیند ساده‌ی تبخیر-میعان و یک تکنیک ساده و کاربردی برای دستیابی به آب پاکیزه در مناطق دور افتاده‌ی خشک می‌باشد و به انرژی الکتریکی نیاز نداشته و تنها انرژی خود را از گرمای خورشید دریافت می‌کند. مزایای تقطیر خورشیدی عبارتند از: هزینه‌های پایین سرمایه‌گذاری، سرویس و نگهداری کم و نیاز کم به انرژی خارج از شبکه‌ی توزیع و قطعاً تاثیر مثبت بر محیط زیست. با این حال، بعلاوه هزینه بالای انتقال آب، تقطیر خورشیدی بهره‌وری پایینی دارد؛ لیکن برای تامین نیازهایی با مقیاس کوچک، مانند یک روستای کوچک یا یک خانه، گزینه قابل قبولی محسوب می‌شود. همچنین تقطیر خورشیدی مکملی برای تامین ظرفیت منابع آبی با کمک انرژی الکتریکی است، تا بتوان از انرژی الکتریکی برای مقاصد دیگری استفاده شود.

اساس کار سیستم تقطیر خورشیدی را می‌توان با یک گلخانه‌ی ساده نشان داد. مقدار ثابتی از آب لب شور یا شور در حوضچه‌ای با کف تاریک محصور می‌شود. حوضچه می‌تواند از بتن یا پلاستیک تقویت شده با فیبر ساخته شده باشد. جنس سقف از یک ماده‌ی شفاف مانند شیشه یا پلاستیک می‌باشد. آب شور یا لب شور به حوضچه ریخته می‌شود. آب تقطیر شده {بخار، سپس مایع شده} در انتهای پایینی سقف جمع‌آوری می‌شود. اشعه‌های خورشید که از درون سقف شیشه‌ای رد می‌شوند توسط کف حوضچه جذب شده و آب را گرم می‌کنند. فشار بخار افزایش می‌یابد و بخار آب در زیر سقف به صورت مایع درآمده و متراکم می‌شود. این آب تقطیر شده از طریق یک کانال به درون یک حوضچه‌ی ذخیره‌سازی هدایت می‌شود. این فرآیند یک استفاده‌ی مستقیم از اثر گلخانه‌ای است. علاوه بر این، سقف همه‌ی بخار را محصور می‌کند، از هدر رفتن آن جلوگیری می‌کند و مانع از رسیدن باد به آب آلوده و خنک شدن آن می‌شود.

غلظت نمک با تبخیر آب حوضچه افزایش می‌یابد. بنابراین، سیستم باید تخلیه شود، که انجام این عمل در شب مناسب‌تر است. طراحی‌های مختلفی برای سیستم‌های تقطیر خورشیدی وجود دارد و بعضی از پرترفدارترین این طراحی‌ها

توسط کلوگیر^۱ (۲۰۰۵) و الکراقولی و کازمرسکی^۲ (۲۰۱۱) تشریح و بررسی شده‌اند. میزان تولید سیستم‌های تقطیر خورشیدی رایج حدود ۳-۴ لیتر بر مترمربع در روز می‌باشد (دانیلز^۳، ۱۹۷۷) ولی ۸-۱۰ لیتر بر مترمربع توسط طراحی‌های ساده و کاربردی گزارش شده است.

مزیت اصلی سیستم‌های تقطیر خورشیدی، سادگی و کم هزینه بودن آن‌ها است. از آن جایی که بازده تقطیر خورشیدی بازده پایین است، به فضای بیشتری نسبت به روش‌های نمک‌زدایی‌ای که در بخش ۳-۵ به آن‌ها پرداختیم نیاز دارد تا بتواند همان میزان آب را تولید کند.

۲-۶ آب گرم کردن به وسیله‌ی خورشید

کالکتورهای گرمای خورشیدی یا گرم کردن آب به وسیله‌ی خورشید مدت زیادی است که به عنوان منبعی برای گرم کردن آب استفاده می‌شوند. این تکنولوژی بسیار ساده است و در کشورهای بسیاری به طور رایج استفاده می‌شود. حتی اگر بتوانیم برای مصارفی همچون آشپزی از انرژی الکتریکی استفاده کنیم، همچنان انرژی گرمایی خورشیدی روش اصلی گرم کردن آب باقی خواهد ماند.

کالکتورهای گرمای خورشید را می‌توان روی پشت بام‌ها نصب نمود، چرا که در هر آب و هوایی در سرتاسر دنیا به خوبی کار می‌کنند. در مناطق آفتابی آفریقا و آسیا، این کالکتورها طبیعتاً مکملی مهم برای سیستم انرژی خورشیدی فوتوولتایک می‌باشند.

سیستم‌های گرمایش خورشیدی فعال از یک کالکتور و یک سیال جاذب اشعه‌های خورشید استفاده می‌کنند. فن‌ها یا پمپ‌ها، هوا یا مایع جاذب گرما را در درون کالکتورها به گردش در می‌آورند، و سپس سیال گرم شده را مستقیماً به یک

۱. Kalogirou

۲. Al-Karaghoul and Kazmerski

۳. Daneils

اتاق یا سیستم ذخیره‌ی گرما انتقال می‌دهند. سیستم‌های گرم کن آب خورشیدی معمولاً دارای مخزنی برای نگهداری آبی که با خورشید گرم شده هستند. سیستم‌های خورشیدی گرم‌کننده‌ی آب یا هوا معمولاً از کالکتورهای غیرمتمرکزی برخوردارند. عبارت دیگر، ناحیه‌ی کالکتورهای صفحه تخت رایج‌ترین کالکتورهای غیرمتمرکز هستند و می‌توانند آبی با دمایی بیشتر از ۹۰ درجه سلسیوس تولید کنند.

سطح جذب‌کننده، راندمان گرم‌کن خورشیدی را تعیین می‌کند. سطح جذب‌کننده باید ترکیبی از میزان جذب بالا (درصد انرژی جذب شده) و بازتاب کم (درصدی بازتاب انرژی از سطح جذب‌کننده) باشد. در دو انتهای صفحه‌ی فلزی جذب‌کننده، لوله‌های مسی ضخیم‌تر، که به آنها هدر می‌گویند، به عبور و تخلیه آب گرم شده از سیستم و رسیدن آب سرد کمک می‌کند.

اصول عملکرد کالکتورهای صفحه تخت نسبتاً پایدار است، ولی بهبودهای چشمگیری در طراحی سیستم‌ها، مخصوصاً صفحه‌های جذب‌کننده اتفاق افتاده است. انواع اصلی کالکتورهای گرمایی عبارتند از:

سیستم خورشید گرمایی لوله‌های تو خالی: این سیستم یکی از پرتعدادترین سیستم‌های خورشید گرمایی در حال توسعه است. خود کالکتور از ردیف‌های لوله‌های شیشه‌ای عایق شده که لوله‌های مسی در هسته‌شان قرار دارد تشکیل شده‌اند. آب درون کالکتور گرم شده و سپس از طریق لوله‌هایی به مخزن آب فرستاده می‌شود. این نوع کالکتور بالاترین راندمان و البته بالاترین هزینه را دارد.

سیستم خورشید گرمایی صفحه تخت: این نوع سیستم از دهه‌ی ۱۹۵۰ تاکنون مورد استفاده بوده‌اند. اجزای اصلی یک پنل صفحه تخت شامل یک صفحه‌ی تخت تیره رنگ جاذب با یک پوشش عایق، یک مایع انتقال دهنده‌ی حرارت برای انتقال حرارت از جذب‌کننده به مخزن آب و عایق پشت مخزن می‌باشد.

۸۲. آب پاکیزه با استفاده از انرژی خورشیدی و باد: خارج از شبکه‌ی توزیع

ویژگی تخت بودن صفحه پنل خورشیدی این است که مساحت سطح

جذب‌کننده‌ی گرما را افزایش می‌دهد. ماده‌ی انتقال‌دهنده حرارت، درون لوله‌های مسی یا سیلیکونی که تعبیه شده در صفحه حرکت می‌کند. طراحی سیستم صفحه تخت در مقایسه با طراحی سیستم لوله‌های توخالی جاگیرتر، کم هزینه‌تر و بهره‌وری پایین‌تری دارد. یک سیستم صفحه تخت SWH می‌تواند در هر آب و هوایی فعالیت کرده و طول عمر آن حدوداً ۲۵ سال است.

سیستم SWH دارای یک مخزن ذخیره‌سازی است. در سیستم‌هایی که اجزای آن نزدیک به هم قرار دارند، یک مخزن ذخیره‌سازی به همراه کالکتور روی پشت بام نصب می‌شوند. مخزن در بالای کالکتور قرار می‌گیرد تا از مزیت اصل ترموسایفینگ^۱ استفاده شود. کالکتور با کمک این اصل، آب گرم را به سمت بالا و به سمت مخزن ذخیره‌سازی هدایت می‌کند. آب سرد که چگال‌تر است ابتدا در کالکتور جریان یافته، گرم می‌شود و سپس مجدداً به مخزن باز می‌گردد. از آن جایی که آب گرم شده چگالی کمتری دارد، به بالای مخزن می‌رود. کالکتورهای صفحه تختی که روی پشت بام نصب می‌شوند و از اصل ترموسایفینگ استفاده می‌کنند بسیار پرطرفدار هستند. از آن جایی که همه اجزای این سیستم ثابت هستند، سرویس و نگهداری آن ساده و بسیار قابل اعتماد است. نیاز به انرژی الکتریکی چگونه؟ بله، ممکن است که به انرژی الکتریکی نیاز باشد تا (۱) بتوان آب سرد را تا سطحی که بتواند در مخزن جریان یابد بالا آورد و (۲) از داغ شدن بیش از حد سیستم جلوگیری می‌کند. اگر مخزن ذخیره‌سازی پر از آب داغ شود، می‌تواند به داغی بیش از اندازه سیستم بیانجامد و در نتیجه، دریچه‌ای بسته می‌شود که تا زمانی که آب سرد بیشتری وارد سیستم نشده است، از ورود آب داغ جلوگیری شود.

۳-۶ مطالعه‌ی بیشتر

چند روش کاربردی تقطیر خورشیدی در www.youtube.com به نمایش در

۱. حرکت طبیعی آب گرم به سمت بالا

آمده‌اند (عبارت تقطیر خورشیدی را جستجو کنید). کالوگيرو^۱ (۲۰۰۴) بازدید از چندین مدل کالکتور گرمای خورشید و کاربردهای آن‌ها را ارائه نموده است. می‌توانید نمایش‌های عملی و کاربردی و همین‌طور سخنرانی‌هایی آکادمیک درباره‌ی سیستم‌های خورشید گرمایی را در www.youtube.com بیابید (عبارت Solar Thermal^۲ را جستجو کنید)

۱. Kalogirou

۲. خورشید گرمایی

فصل



تصفیه آب استفاده شده

"آب پاک یکی از نمونه‌های بارز نیاز و وابستگی به انرژی است. و اگر مشکل تامین آب را حل کنید، مشکل تامین غذا را حل کرده‌اید"

ریچارد اسمالی، دانشمند آمریکایی، ۱۹۴۳-۲۰۰۵

هنگامی که از توسعه انرژی مسئولانه صحبت می‌کنیم، آب پاکیزه و هوای پاکیزه اولویت‌های اصلی هستند. طی چند دهه گذشته شاهد پیشرفت چشمگیری در تصفیه فاضلاب (یا آب مصرف شده) بوده‌ایم. تا کنون، سیستم‌های تصفیه مرکزی فاضلاب که به واسطه شبکه وسیع فاضلاب شهری با مصرف‌کننده‌های شهری متصل می‌شد، روش رایج مورد استفاده در شهرها بوده است. حال، پیشرفت چشمگیری در غیرمتمرکز کردن تصفیه بدست آمده، و این مسئله که سیستم‌های تصفیه مرکزی دچار محدودیت‌هایی است بر همگان آشکار شده است. این امر باعث می‌شود که اهمیت یافتن راه‌حلی برای برطرف کردن ناتوانی تصفیه آب در مناطق دور افتاده واضح گردد. تصفیه مقیاس کوچک باید بهره‌وری بالا و در عین حال هزینه پایینی داشته باشد. کمبود آب باعث می‌شود که تصفیه آب‌های فاضلابی مجدداً تحت بررسی قرار گیرد. هر قطره آب با ارزش است.

همان گونه که در فصول اول تا سوم گفته شد بسیاری از مردم همچنان امروزه به بهداشت مناسبی دسترسی ندارند. علاوه بر این، دسترسی به آب پاکیزه و بهداشت برای دستیابی به هدف توسعه پایدار ششم سازمان ملل بسیار ضروریست.

۸۴. آب پاکیزه با استفاده از انرژی خورشیدی و باد: خارج از شبکه توزیع

در دسترس بودن انرژی، تنها یکی از نیازمندی‌های اساسی است. اگر برای هر خانه برق تامین شود، می‌توان بسیاری از مشکلات بهداشتی را در مناطق دور افتاده به صورت محلی و بدون کمک دولت یا دیگر موسسات برطرف کرد.

فلسفه‌ای که باید تصفیه آب مصرف شده را هدایت کند این است که فاضلاب زباله نیست، بلکه منبعی است تجدیدپذیر که می‌توان با بازیافت آن انرژی، مواد مغذی و آب بدست آورد. این مسئله باید هدایت‌کننده توسعه استفاده از آب مصرف شده باشد. موارد زیر را در نظر بگیرید:

- بازیابی و به کارگیری محتوای انرژی حاضر در آب؛
- بازیابی مواد مغذی؛
- تولید آب برای استفاده دوباره

می‌توان به هر سه جنبه با استفاده از تکنولوژی‌های اثبات شده در ترکیب با انرژی‌های تجدیدپذیر و در ابعادی واقع گرایانه دستیابی پیدا کرد. موضوع تصفیه غیرمرکزی آب در قسمت ۱-۷ توضیح داده شده است. در بخش ۲-۷ برخی از فن‌آوری‌های مرتبط، و جنبه‌های انرژی برای تصفیه آب در قسمت ۳-۷ به طور اجمالی معرفی شده‌اند.

۱-۷ منابع اصلی آب مصرف شده

تصفیه‌خانه‌های غیرمتمرکز بر پایه ماژول‌هایی که از عوامل بیرونی بی‌نیاز هستند بنا شده‌اند که با استفاده از آنها می‌توان به راهکارهایی مقیاس‌پذیر و با بهره‌وری بالا در جهت برطرف کردن مشکلات تصفیه هر نوع آب مصرف شده دست یافت. برای پیدا کردن تکنولوژی‌های مناسب تصفیه آب به صورت غیرمرکزی لازم است که

منابع مختلف آلودگی آب شناسایی شوند. روش مرسوم تصفیه آب مصرف شده تا به امروز، تصفیه یک جریان دور ریز در سیستم فاضلاب بوده است. یک سیستم غیرمتمرکز می‌تواند به شکلی طراحی شود که مجهز به تاسیساتی جدا برای تصفیه هر نوع آب آلوده باشد. به این صورت ممکن است که ما به ادرار، مدفوع و آب خاکستری به عنوان منابع متفاوتی از آب مصرف شده به جای اجزای یک نوع آب مصرف شده بنگریم. بهتر است به جای در نظر گرفتن این منابع بعنوان دور ریز، آنها را مفید بدانیم. هنگامی که فرصت‌های سرمایه‌گذاری تصفیه در نظر گرفته شوند نیز از اهمیت این منابع آگاه‌تر می‌شویم. (فصل ۱۲ را ببینید)

بسته به نوع منبع، می‌توان آب مصرف شده را به روش‌های مختلف تصفیه کرد. در این موقعیت، سه منبع اصلی آب بدست آمده از خانه‌ها را در نظر می‌گیریم:

- ادرار
- آب خاکستری حاصل از شست و شو
- آب سیاه بدست آمده از فاضلاب توالت

۸۵. تصفیه آب مصرف شده

ادرار منبع مهمی از مواد مغذی پایدار و معمولاً آلودگی آن از آبی که با مدفوع آلوده شده باشد کمتر است. ادرار که از حاملان اصلی نیتروژن، فسفر و پتاسیم است، می‌تواند کود بسیار خوبی باشد. ادرار باید از مدفوع که می‌تواند برای تولید زیست گاز استفاده شود، جدا شود. ادرار را می‌توان در مخازن تا زمانی که برای کشاورزی مورد نیاز باشند ذخیره کرد؛ و اگر برای مدتی طولانی ذخیره و نگهداری شود، سطح سلامت و بهداشت آن برای مصارف کشاورزی افزایش می‌یابد (WHO, 2006). ممکن است در مناطق دور افتاده، فضای نگهداری به راحتی در دسترس باشد، ولی فراهم‌سازی فضای ذخیره‌سازی در مناطق شهری و پیش‌شهری می‌تواند دشوار باشد. یک تانک ذخیره‌سازی نیاز به پمپ دارد و نیاز به تعمیر و نگهداری آن نباید دست کم گرفته شود (تیلی^۱، ۲۰۱۳)

۱. Tilley

آلودگی‌های زیادی در آب خاکستری وجود دارد، که فریدلر و همکاران^۱ (۲۰۱۳) نگاهی اجمالی بر آن‌ها انداخته است. غلظت بالایی از مواد ارگانیک از سینک آشپزخانه وارد آب می‌شوند. اجزای اصلی آن باقی مانده‌های غذا، روغن‌ها و چربی‌ها، مواد شوینده و لوله بازکن‌ها می‌باشد. و همینطور آب خاکستری حاصل از شست و شو است که در آن می‌توان شامپوها، صابون‌ها، مواد نگدارنده و رنگ‌ها را یافت. آب نیز ممکن است حاوی فلزات سنگینی مانند روی و مس حاصل از لوله‌کشی‌های داخلی باشد.

مدفوع و آب سیاه حاوی غلظت بالایی از مواد ارگانیک می‌باشد و منابعی کاربردی از زیست انرژی می‌باشند. تصفیه بی‌هوازی، یک روش استخراج این انرژی ذاتی و تولید زیست گاز است. با این حال باید توجه ویژه‌ای به کار گرفت تا عوامل بیماری‌زا کاهش یافته یا از بین بروند.

طبیعتاً، جدا کردن آب مصرف شده در دسته‌بندی‌های مختلف برای تصفیه جداگانه باعث افزایش پیچیدگی فرآیند می‌شود، لیکن از اهمیت آن برای حفظ منابع ارزشمند آبی نمی‌کاهد.

۲-۷ تصفیه آب مصرف شده

امروزه طیف وسیعی از روش‌ها و فرآیندها برای تصفیه آب مصرف شده در مقیاس کوچک وجود دارد. علاوه بر روش‌های سنتی، تکنولوژی‌های تصفیه مختلفی در رابطه با محصولات (آبی) خاص تولید شده‌اند. با این حال، نه تنها همانطور که تیلی (۲۰۱۳) به آن اشاره نموده است، علاوه بر استفاده از این فن‌آوری‌ها، بایستی تدابیری برای تامین مالی و مدل‌های تجاری این کاربرد اندیشیده شود. جای تاکید دارد که لزوماً هیچ تکنولوژی خاصی را نمی‌توان از سایر فن‌آوری‌ها بهتر خواند. نکته کلیدی، تناسب تکنولوژی با شرایط محلی و انگیزه کاربران برای استفاده از آن است. ما در اینجا تکنولوژی‌هایی را که طراحی و به کارگیری آن‌ها ساده و احتمالاً برای

۱. Friedler et al.

قشر کم درآمد مقرون به صرفه می‌باشند را تشریح می‌کنیم. در درجه اول، به جنبه انرژی می‌پردازیم.

۸۶. آب پاکیزه با استفاده از انرژی خورشید و باد: خارج از شبکه توزیع

۱-۲-۷ مخزن‌های گنداب (سپتیک تانک)

یک مخزن گنداب (سپتیک تانک) از یک مخزن پلاستیکی یا بتنی ساخته شده است. طراحی مخزن معمولاً شامل دو اتاقک مجزا می‌باشد که توسط یک دیوار منفک از هم جدا شده‌اند و مجرای در این دیوار، تقریباً در میانه کف و سقف مخزن وجود دارد. آب مصرف شده وارد اتاقک اول می‌شود و در آن، مواد جامد ته‌نشین می‌شوند. این مواد به صورت بی‌هوازی تجزیه شده (توضیح در ادامه) که باعث کاهش حجم این مواد می‌گردد. آب از درون دیوار جداکننده جریان می‌یابد و وارد اتاقک دوم شده و غالب فرآیند ته‌نشینی انجام می‌شود. آب اضافی، که اکنون نسبتاً تمیز است، از خروجی مخزن به یک محوطه تخلیه گنداب، تخلیه می‌شود.

ناخالصی‌های باقی مانده در خاک به دام افتاده و از بین می‌روند. آب اضافی از طریق نفوذ به خاک، تبخیر و جذب توسط ریشه‌های گیاهان و نهایتاً ورود به آب‌های زیرزمینی یا سطحی از بین می‌رود. اندازه محوطه تخلیه مورد نیاز باید به نسبتی مستقیم با حجم آب استفاده شده تغییر یابد. از سوی دیگر، اگر خاک، تخلخل بالاتری داشته باشد، می‌توان محوطه تخلیه را نسبت به محوطه‌ای که خاک آن تخلخل کمتری دارد، کوچک‌تر در نظر گرفت. می‌توان تمام سیستم گندابی را تنها به وسیله جاذبه به کار انداخت، که البته در برخی موارد، به یک پمپ بالا آورنده نیاز می‌شود.

واضح است که یک مخزن گندابی (سپتیک تانک) دو عیب دارد: انرژی درونی مواد ارگانیک (آلی) و پساب مورد استفاده قرار نمی‌گیرند.

محتوای ارگانیک (آلی) فاضلاب طی تجزیه بی‌هوازی به زیست‌گاز تبدیل می‌شود (غالباً به متان). این گاز از مخزن خارج و وارد هوا، و در نتیجه باعث ایجاد یک

اثر گلخانه‌ای ناخواسته می‌شود. این نکته را مد نظر داشته باشید که پتانسیل گرمایش زمین متان ۳۰-۹۰ برابر بسته به مقیاس زمانی بیشتر از دی اکسید کربن می‌باشد.

مشکل دیگر این است که پساب دوباره مورد استفاده قرار نمی‌گیرد. طبیعتاً، یک مخزن گندابی را می‌توان بعنوان اولین قدم در طرح استفاده دوباره از آب در نظر گرفت، اما اتلاف رفتن انرژی ارگانیک همچنان مشکلی ماندگار است. علاوه بر این، لجن ته‌نشین شده در یک مخزن گندابی (سپتیک تانک) بایستی معمولاً هر سه تا ۵ سال یک بار تخلیه شود.

۲-۲-۲ سیستم‌های لجن فعال

در گذشته از اکسیداسیون بیولوژیکی جهت از بین بردن مواد آلی (ارگانیک) بوسیله تغذیه آنها با اکسیژن و کربن درون آب استفاده می‌شد. تقریباً نیمی از ماده آلی (ارگانیک) صرف رشد میکروارگانیسم‌ها و به عبارت دیگر صرف افزایش حجم آنها می‌شود. نیمه دیگر به دی اکسید کربن تبدیل می‌گردند.

هوادهی برای تامین اکسیژن مورد نیاز میکروارگانیسم‌ها برای تامین انرژی کمپرسوری که هوای فشرده تولید می‌کند، نیاز به انرژی الکتریکی دارد که این معمولاً نیاز اصلی انرژی در سیستم‌های تصفیه مرسوم است. طرح‌های تصفیه زیادی وجود دارند که از فرآیندهای بیولوژیکی هوای استفاده می‌کنند. هوای حل شده در آب، نیاز ارگانیسم‌ها به اکسیژن مورد نیاز برای متابولیسمشان را تامین می‌کند. تامین اکسیژن باید به مقدار کافی بالا باشد تا نیاز میکروارگانیسم‌ها را برطرف نماید. با این حال، تشدید هوادهی تاثیر مثبت زیادی برای این فعالیت بیولوژیک ندارد و صرفاً باعث اتلاف انرژی در فرآیند هوادهی می‌شود. بنابراین، در هوادهی می‌بایست توازن بین نیاز بیولوژیکی به اکسیژن و نیاز به صرفه جویی در انرژی را برقرار کرد. انگیزه جایگزینی تصفیه هوای بی‌تصفیه با تصفیه بی‌هوای، اهمیت انرژی مصرف شده و نرخ واکنش بیولوژیکی در فرآیند تصفیه هوای است. فرآیند در تصفیه هوای

تقریباً ده برابر سریعتر اتفاق می‌افتد. در نتیجه، حجم تصفیه‌خانه می‌تواند کوچکتر باشد، ولی استفاده از این روش بر هزینه‌ها تاثیر می‌گذارد. بنابراین، زمانی که فضا در دسترس باشد، منطقی است که تصفیه‌هوازی را با تصفیه بی‌هوازی جایگزین کنیم. حتی نکته مهم‌تر این است که در تصفیه بی‌هوازی، انرژی موجود در مواد ارگانیک تبدیل به بایو گاز (زیست گاز) می‌شود که به منبع مهمی از انرژی تبدیل خواهد شد. سیستم‌های مرسوم آبی که وارد سیستم می‌شود نه تنها حاوی مواد آلی (ارگانیک)، بلکه دارای نیتروژن نیز هستند که اصولاً به شکل آمونیوم NH_4^+ (60-80%) به تصفیه‌خانه می‌رسد. بیشتر تصفیه‌خانه‌هایی که نیتروژن را از آب می‌زدایند، آمونیوم را به نیتروژن آزاد تبدیل می‌کنند که از سطح آب دفع می‌شود. فرآیند حذف نیتروژن نسبت به فرآیند حذف کربن ارگانیک آهسته‌تر است و در دو مرحله اصلی نیتریفیکاسیون و دینیتریفیکاسیون اتفاق می‌افتد. در مرحله نیتریفیکاسیون، آمونیوم به نترات NO_3^- تبدیل می‌شود (یک فرآیند اکسایش)، و در مرحله دینیتریفیکاسیون (یک فرآیند کاهش)، که اکسیژن اجازه ورود به آن را ندارد) نترات به گاز نیتروژن N_2 کاهش می‌یابد.

غلظت اکسیژن محلول باعث کنترل میزان حذف کربن، نیتریفیکاسیون و دینیتریفیکاسیون می‌شود. در حذف کربن و نیتریفیکاسیون، نرخ فرآیند با افزایش غلظت اکسیژن افزایش می‌یابد. با این حال، نرخ فرآیند محدودیتی دارد و غلظت بالاتر اکسیژن محلول هیچ اثر زیست‌شناختی خاصی ندارد اما باعث اتلاف انرژی که کمپرسورها (بلوئر) صرف هوادهی راکتور بیولوژیکی می‌کنند می‌شود. با غلظت پایین اکسیژن محلول، میکروارگانیسم‌ها خفه می‌شوند و نرخ فرآیند به طور چشمگیری کاهش می‌یابد.

۸۸. آب پاکیزه با استفاده از انرژی خورشیدی و باد: خارج از شبکه توزیع

در شرایط بحرانی ارگانیسم‌ها می‌میرند. خلاف آن در مرحله دینیتریفیکاسیون اتفاق می‌افتد، عبارتی هر چقدر میزان اکسیژن حل شده بالاتر باشد نرخ فرآیند پایین‌تر خواهد بود.

معمولا هوادهی ۵۰٪ تا ۶۰٪ از نیاز انرژی تصفیه فاضلاب را در بر می‌گیرد ولی تا کنون سطح ۷۵٪ نیز گزارش شده است. این حقیقت نشان می‌دهد که چرا کنترل هوادهی کلید ذخیره انرژی می‌باشد (اولسون^۱، ۲۰۱۵)

از آن جایی که بیشتر نیتروژن موجود در آب مصرف شده به خاطر ادرار می‌باشد، جدا کردن ادرار نیاز به نیتریفیکاسیون و دنیتریفیکاسیون را حذف می‌کند، همان گونه که در قسمت قبل به آن اشاره کردیم. همچنین جداسازی ادرار، نیاز به انرژی مواد آلی (ارگانیک) را کاهش می‌دهد.

واضح است که روش‌هایی وجود دارند که نسبت به فرآیند لجن فعال مصرف انرژی بهینه‌تری داشته و می‌توان از آنها در مناطق دور افتاده استفاده نمود. انرژی الکتریکی بایستی برای اهدافی غیر از اکسایش مواد ارگانیک استفاده شود. به جای آن، انرژی درونی کربن ارگانیک را می‌بایست از طریق تجزیه بی‌هوازی به زیست گاز (بایو گاز) و نهایتاً به انرژی تبدیل نمود.

۳-۲-۷ تجزیه بی‌هوازی

سیستم‌های تجزیه بی‌هوازی خانگی و مزرعه‌ای با استفاده از زیست گاز (بایو گاز) قادر به تامین انرژی ارزان قیمت برای آشپزی و روشنایی هستند. مواد ارگانیکی که غذای مورد نیاز تجزیه بی‌هوازی را تامین می‌کنند از مدفوع، آب سیاه، مدفوع خوک‌ها و حیوانات، پسماندهای غذا و پسماند محصولات کشاورزی تامین می‌شوند. تولید زیست گاز از تصفیه بی‌هوازی یکی از اجزاء کلیدی بازیابی منابع است. زیست گاز می‌تواند برای مصارفی همچون تامین گرما و آشپزی به انرژی تبدیل شود.

باکتری‌های بی‌هوازی یکی از قدیمی‌ترین گونه‌های حیات بر روی کره زمین هستند. همان باکتری‌های بی‌هوازی که در طبیعت، گاز طبیعی تولید می‌کنند در فرآیندهای تکنیکی نیز قادر به تولید متان هستند. پیش از این که فوتوسنتز گیاهان سبز مقدار زیادی اکسیژن را وارد جو کند، باکتری‌های بی‌هوازی تکامل پیدا کردند.

۱. Olsson

این باکتری‌ها، مواد آلی (ارگانیک) را در نبود اکسیژن هضم، و زیست گاز را به عنوان پسماند این فرآیند تولید می‌کنند. تجزیه بی‌هوازی به طور طبیعی در مرداب‌ها، خاک‌های پر آب و زمین‌های برنج، آبگیرهای عمیق و در دستگاه گوارش موریانه‌ها و حیوانات بزرگ رخ می‌دهد.

۸۹. تصفیه آب مصرف شده

در فرآیند بی‌هوازی، میکروارگانیسم‌ها فرآیند تبدیل مواد ارگانیک منجر به تولید زیست گاز می‌شود را تقویت می‌کنند. این فرآیندها که شامل تخمیر می‌شوند به شدت پیچیده هستند و هنوز دانش کافی از آنها در دست نیست. در حال حاضر فعالیت‌های زیادی در زمینه تحقیق بر روی فرآیندهای بی‌هوازی در حال انجام است تا میزان دانش و آگاهی از میکروبیولوژی و مکانیزم داخلی که در فرآیندهای بی‌هوازی رخ می‌دهد، افزایش یابد.

چندین فاکتور بر نرخ تجزیه و تولید زیست گاز تاثیر می‌گذارند که مهمترین آنها، دماست. کلنی باکتری‌های بی‌هوازی می‌توانند دمایی بین زیر دمای انجماد تا دمایی بالاتر از ۶۰ درجه سلسیوس را تحمل کنند و گونه‌های مختلف باکتری در بازه‌های مختلف حرارتی رشد می‌کنند. در بازه دمای ۳۵-۴۰ درجه سلسیوس، باکتری‌های مزوفیلیک قرار دارند. بعضی از باکتری‌ها، مانند ترموفیل‌ها می‌توانند در دمایی در حدود ۵۰-۶۵ درجه سلسیوس نیز دوام بیاورند. باکتری‌های مزوفیل در مقایسه با باکتری‌های ترموفیل معمولاً نسبت به تغییرات شرایط محیط مقاوم‌تر هستند. بنابراین، سیستم‌های تجزیه مزوفیلی نسبت به سیستم‌های تجزیه ترموفیلی پایدارتر هستند. با این حال، در دماهای بالاتر، نرخ‌های واکنش سریع‌تر و متعاقباً گاز آزاد شده نیز بیشتر است. زمان کمتری نیز صرف محبوس نگاه داشتن هیدرولیکی می‌شود. بنابراین، تحت شرایط ترموفیلی، به راکتورهایی با حجم کمتر نیاز است. در دماهای پایین‌تر، از ۳۵ تا ۰ درجه سلسیوس، فعالیت باکتریایی، و در نتیجه تولید زیست گاز به تدریج کاهش می‌یابد. تغییرات ناگهانی دمای راکتور به فعالیت باکتریایی آسیب می‌رساند؛ بنابراین، هضم‌کننده باید در دمای ثابتی نگاه داشته شود.

در این جا هضم‌کننده‌های مورد نظر ما در مناطق استوایی و یا نیمه استوایی قرار دارند، بنابراین این هضم‌کننده‌ها برای ادامه فعالیت خود به ندرت به گرمایی اضافی نیاز دارند.

علاوه بر تولید انرژی از طریق زیست گاز، تجزیه بی‌هوازی مزایای بیشتری نیز دارد، برای نمونه، تجزیه بی‌هوازی ظرفیت بسیار بالایی برای تصفیه آهسته بسترهای تجزیه‌پذیر با غلظت‌های بالا دارد و می‌تواند به طور موثری عوامل بیماری‌زا را کاهش دهد.

۴-۲-۷ جداسازی غشایی

درباره جداسازی غشایی در فصل‌های ۲-۵ و ۳-۵ توضیح داده شده است. با در نظر گرفتن تمامی طیف فرآیندهای غشایی، حذف کردن ذرات در ابعاد میکرون مانند میکروارگانیزم‌ها و ذرات معلق مقدور می‌باشد. می‌توان ضدعفونی را به صورت جزئی یا کلی نیز انجام داد. همان‌گونه که در فصل ۵ به آن اشاره شد، تکنولوژی غشایی بسیار کم‌حجم بوده و کیفیتی پایدار تحت بازه وسیعی از آلوده‌کننده‌ها در اختیار ما می‌گذارد. جداسازی غشایی به منبع انرژی بستگی دارد. چالش اصلی ثابت نگه داشتن ظرفیت عملیاتی (مقدار آب تصفیه شده خروجی) است.

۹۰. آب پاکیزه با استفاده از انرژی خورشیدی و باد: خارج از شبکه توزیع

بنابراین، مسدود شدن و شست و شوی غشاها بالاترین اهمیت را دارد. زلزلی و بردفورد-هارتکی^۱ (۲۰۱۳) بررسی اجمالی مفیدی بر تکنولوژی غشایی مورد استفاده برای تصفیه آب مصرف شده انجام داده‌اند.

۵-۲-۷ ضد عفونی

پیشتر در بخش ۴-۵ به مبحث ضدعفونی اشاره شده است. هدف هر سیستم

۱. Leslie and Bradford-Hartke

بهداشتی بایستی کاهش یا غیرفعال کردن عواملی که احتمال بیماری‌زا بودن دارند، باشد. از آنجایی که هدف یک سیستم غیرمرکزی معمولاً استفاده دوباره از آب می‌باشد، برای نمونه، کاهش عوامل بیماری‌زا در صورت استفاده از آب خاکستری برای بهداشت شخصی امری حیاتی می‌شود. همان‌گونه که در فصل ۱-۷ به آن اشاره شد، دستورالعمل‌هایی جهانی برای بهداشت آب وجود دارد (WHO, 2006). اشتنستروم^۱ (۲۰۱۳) مسائلی اساسی در باره کاهش عوامل بیماری‌زا موجود در آب را شرح داده است. ذخیره‌سازی ادرار به عنوان روشی موثر برای کاهش عوامل بیماری‌زا ذکر شده است. از سوی دیگر، برای دفع مدفوع، زمان بسیار بیشتری برای کاهش ریسک عوامل بیماری‌زا نیاز است. سالم‌سازی به مدت زمان ذخیره‌سازی، PH و دما بستگی دارد و مدت زمان ذخیره‌سازی معمولاً بیش از یک سال می‌باشد. بنابراین، تصفیه بی‌هوازی چه برای تولید انرژی و چه برای کاهش عوامل بیماری‌زا برتری دارد.

۳-۷ جوانب مرتبط با انرژی

ساز و کارهای اصلی که در تصفیه آب استفاده شده به انرژی الکتریکی وابسته هستند عبارتند از:

- پمپاژ
- هوادهی
- ضد عفونی

در فصل ۴ درباره انرژی مورد نیاز برای فرآیند پمپاژ توضیحاتی ارائه شد. ۳ جنبه حیاتی عبارتند از نرخ جریان مورد نیاز، بالا آوردن آب، و زمانبندی پمپاژ. انواع مختلف آب استفاده شده در مخازن نگهداری می‌شوند و بیشتر این آب‌ها را می‌توان به وسیله جاذبه به این مخزن‌ها رساند. ضرورت زمانبندی تخلیه مخازن باید بسیار پایین باشد که این ویژگی در شرایطی که تولید الکتریسیته متداوم نیست سودمند

۱. Stenström

است.

برای تصفیه‌خانه‌های لجن فعال، انرژی مورد نیاز در سوئد، آلمان و سوییس به ترتیب ۱۵ و ۴۵ کیلووات ساعت به ازای هر شخص در سال می‌باشد، که این نیاز در تصفیه‌خانه‌های کوچک سطح بالاتری دارد.

فرآیند هوادهی، مصرف‌کننده اصلی انرژی الکتریکی می‌باشد (لینگستن^۱ و همکاران، ۲۰۱۱، بالمر^۲، ۲۰۱۰). با در نظر گرفتن میزان مصرف ۴۵ کیلووات انرژی در ساعت در کشورهای پیشرفته اروپایی غربی، هر شخص به طور متوسط به سالانه ۲۶ وات نیاز دارد، که میزانی نزدیک به انرژی مصرفی یک لامپ کم مصرف می‌باشد. به عنوان مثال، در سوئد، به ازای هر یک خانوار، یک تصفیه‌خانه لجن فعال در طی سال گذشته در حال کار بوده است (گیلبالد^۳، ۲۰۱۸). از آن جایی که بیشتر این انرژی توسط یک لامپ فرابنفش برای ضد عفونی کردن استفاده می‌شده است، یک منبع انرژی ۶۰ واتی، بیش از متوسط نیاز آن بوده است. در مقایسه با دیگر کاربردها، انرژی مورد نیاز برای هوادهی اندک می‌باشد. با این حال، هوادهی به یک منبع دائم و پیوسته انرژی نیاز دارد. این مسئله باید در مورد منابع انرژی که از باد یا انرژی خورشید تغذیه می‌شوند در نظر گرفته شود، بنابراین، ذخیره‌سازی انرژی مساله بسیار مهمی است.

تصفیه بی‌هوازی به انرژی الکتریکی بسیار کمی نیاز دارد که بیشتر آن برای مخلوط کردن لجن درون تجزیه‌کننده استفاده می‌شود. این مقدار مصرف انرژی در مقایسه با دیگر مقادیر تقریباً قابل چشم‌پوشی است.

جداسازی غشایی نیاز به انرژی الکتریکی برای کمپرسور دارد تا فشار مورد نیاز برای فرآیند غشایی را تامین کند. همان گونه که در بخش ۳-۵ نیز گفته شد، فشار مورد نیاز به اندازه حفره‌های غشاها بستگی دارد. برای میکرو و اولترافیلتراسیون، فشار مورد نیاز بسیار کمتر از فشار مورد نیاز برای اسمز معکوس است. بنابراین انرژی

۱. Lingsten

۲. Balmér

۳. Gillbald

الکتریکی ورودی مورد نیاز نسبت به نمک‌زدایی خیلی پایین‌تر می‌باشد. (به بخش‌های ۲-۵ و ۳-۵ نیز مراجعه فرمایید)

همان‌گونه که در بخش ۴-۵ نیز به آن اشاره شد، ضدعفونی به وسیله لامپ فرابنفش از لحاظ مصرف انرژی، روش گران‌قیمتی محسوب نمی‌شود.

۷-۴ مطالعه بیشتر

کتاب‌ها و مقالات زیادی درباره تصفیه آب مصرف شده یا فاضلاب وجود دارد. هدف از تالیف این کتاب، تهیه یک کتاب درسی درباره احیای آب نیست، به این وجود در این جا به چند منبع استاندارد اشاره می‌کنیم:

گرییدی و همکاران^۱ (۲۰۱۱) پایه و اساس فراگیری را برای ادراک تصفیه بیولوژیک فاضلاب ارائه نموده‌اند.

متکاف و ادی^۲ (۲۰۱۳) یک کتاب درسی معروف درباره طراحی تصفیه فاضلاب می‌باشد و آسانو و همکاران^۳ (۲۰۰۷) نیز تحقیق خود را وقف روش‌های مختلف استفاده دوباره از آب کرده‌اند.

در کتاب اولوسون^۴ (۲۰۱۵) نیز به استفاده انرژی در تصفیه فاضلاب پرداخته شده است.

۱. Grady et al

۲. Metcalf and Eddy

۳. Asano et al

۴. Olsson

- فصل هشتم: انرژی خورشیدی
فوتوولتاییک
- فصل نهم: باد
- فصل دهم: مدیریت تولید انرژی متغیر
- فصل یازدهم: سیستم‌های مدیریت انرژی

انرژی تجدیدپذیر سهولت دسترسی انرژی را متحول می کند. تغییرات اقلیمی مشوق جستوجو برای منابع انرژی هستند که از خود کربن به جا نمی گذارند. باید اذعان شود که منابع انرژی سنتی برای استخراج سوخت اولیه، پالایش، حمل و نقل و تولید الکتریسیته به آب نیاز دارند. انرژی بادی و خورشیدی فوتوولتاییک می توانند وابستگی بین آب و انرژی را با مصرف کمتر آب و تولید کمتر کربن از بین ببرند. ویژگی حیاتی دیگر، مقیاس پذیری انرژی خورشیدی فوتوولتاییک و انرژی بادی می باشد، از تولید انرژی برای یک خانوار گرفته تا تولید انرژی برای یک روستا یا ناحیه. با این حال، خورشید همیشه نمی تابد و گاهی اوقات شدت وزش باد بسیار ملایم است. بنابراین، تولید منقطع انرژی از خورشید و باد باید مدیریت شود. بایستی هنگامی که منابع اصلی انرژی در دسترس نیستند، منبع انرژی ذخیره در دسترس باشد.

فصل هشتم تماماً به انرژی خورشیدی فوتوولتاییک اختصاص داشته، و در فصل بعدی به طور خلاصه، انرژی بادی توضیح داده می شود. روش های متعددی برای مهار کردن طبیعت منقطع این منابع انرژی نیز در فصل ۱۰ شرح داده شده اند. و سپس در فصل یازدهم به بعضی از مسائل مدیریت انرژی اشاره شده است. هماهنگ کردن واحدهای مختلف تولید و مدیریت بارهای مختلفی که بر شبکه وارد می شوند حیاتی هستند.

استفاده از ظرفیت انرژی ذخیره شده، به دقت برنامه ریزی کردن جریان انرژی در سیستم‌های مستقل را الزامی می‌سازد.

فصل



انرژی خورشیدی فوتوولتاییک

"انرژی خورشیدی را می‌توان گونه‌ای از انرژی هسته‌ای بی‌خطر دانست. ما از واکنش‌های همجوشی هسته‌ای فرآیند تولید نور در خورشید استفاده می‌نماییم که در فاصله ۱۵۰ میلیون کیلومتری ما رخ می‌دهند. سپس ما این نور را به وسیله مازول‌های فوتوولتاییک به الکتریسیته تبدیل می‌کنیم"

پروفسور شان وایت (۲۰۱۶)

نیازی نیست که کاربران نهایی سیستم انرژی خورشیدی فوتوولتاییک از جزئیات تکنولوژی چگونه تبدیل شدن انرژی خورشیدی به انرژی الکتریکی اطلاعی داشته باشند. کافیهست تا بدانند تعداد خاصی سلول خورشیدی مقدار خاصی انرژی الکتریکی تولید می‌کند. با این حال، کمی اطلاعات و پیش زمینه درباره تکنولوژی خورشیدی برای برآورد کردن کارایی و مشکلات احتمالی می‌تواند مفید باشد.

در بخش ۱-۸، خواص پایه‌ای نور خورشید و تأثیر آن بر روی پنل‌های خورشیدی و پارامترهای نهادین سلول‌های خورشیدی در بخش ۲-۸ شرح داده می‌شوند. تکنولوژی سلول خورشیدی - چگونگی تبدیل نور خورشید به الکتریسیته - به طور

خلاصه در بخش ۳-۸ توصیف می‌گردد. مهم است که اهمیت راندمان سلول‌های خورشیدی درک شود. دمای سلول خورشیدی یک پارامتر کلیدی تعیین‌کننده راندمان می‌باشد. همان گونه که در قسمت ۴-۸ نیز شرح داده شده است، سلول‌های خورشیدی در سیستم‌ها ترکیب می‌شوند. پتانسیل انرژی خورشیدی فوتوولتاییک نیز برای عملیات‌های آبی مختلف در بخش ۵-۸ به تصویر در آمده است.

۹۶. آب پاکیزه با استفاده از انرژی خورشیدی و باد: خارج از شبکه توزیع

جنبه‌های اقتصادی عملیات‌های خورشیدی فوتوولتاییک در بخش‌های بعدی در فصل ۱۲ مورد بررسی قرار می‌گیرد

۸-۱ استفاده از خورشید

تشعشعات خورشیدی که به لایه‌های خارجی اتمسفر زمین می‌رسد مشخصه‌های طیفی خاصی دارد. شدت آن در بین طول موج‌های ۰٫۳ و ۴ میکرومتر است، و حدوداً ۷٪ از شدت طیف انرژی خارج از زمین در طول موج‌های فرابنفش، ۴۷٪ در بازه مرئی و ۴۶٪ از آن مادون قرمز می‌باشد.

۸-۱-۱ تابش

تابش، واحد اندازه‌گیری مقدار انرژی خورشیدی در یک ناحیه جغرافیایی خاص می‌باشد و با w/m^2 اندازه‌گیری می‌شود (بخش ۵-۳ را نیز ملاحظه فرمایید). میزان چشمگیری از تشعشعات خورشید هنگامی که وارد جو می‌شود تقلیل می‌یابد. این تقلیل بنا به دلایل زیر می‌باشد:

- جذب تشعشعات خورشید به وسیله ذرات مختلف در اتمسفر
- پراکنده شدن و بازتابش تشعشعات خورشید توسط ذرات هوا، بخار آب، خاک و غیره

در یک روز پاک حدوداً ۸۰٪ از تشعشعات به زمین رسیده و جذب می‌شوند. حدود ۵٪ از آن پراکنده شده و به فضا باز می‌گردد. ۱۰-۱۵٪ از تشعشعات توسط ذرات

موجود در اتمسفر جذب شده و حدوداً ۲٪ از تشعشعات توسط زمین منعکس می شوند.

در یک روز ابری، ۳۰-۶۰٪ از تشعشعات بازتاب کرده و به فضا باز می گردد، و ۵-۲۰٪ توسط ابرها جذب می شوند. مقداری از این تابش از ابرها عبور کرده و به زمین می رسد، بنابراین کل میزان تابش بر روی زمین ممکن است مقداری بین ۵۰-۰٪ از تمام تشعشعات باشد. تابش خورشیدی 1000 W/m^2 در جامعه انرژی خورشیدی فوتوولتاییک معروف به معادل یک خورشید می باشد.

۲-۱-۸ تابش افقی جهانی

یک سلول خورشیدی تابشی، ترکیبی متشکل از چند بخش را جذب می کند: تشعشع مستقیمی که از یک پرتوی مستقیم خورشید به سلول خورشیدی می رسد.

تشعشع منعکس شده از زمین، که بخشی از تشعشعی است که ابتدا از روی زمین منعکس شده سپس به سلول خورشیدی می رسد.

کمیت تابش تحت عنوان تابش جهانی خورشید در سطح افق (GHI) بیان می شود و برابر با تمام انرژی خورشیدی است که با سطح افق برخورد می کند، که هم از تابش مستقیم و هم از تابش های پراکنده شده خورشید تشکیل شده است. GHI یک پارامتر کلیدی برای کاربردهای انرژی خورشیدی فوتوولتاییک محسوب می شود که بسته به ناحیه جغرافیایی خیلی متفاوت است (جدول ۱-۸ را ملاحظه فرمایید). برای بیشتر نواحی خارج از شبکه توزیع که مد نظر ما هستند - نواحی روستایی در آفریقا و آسیای در حال توسعه - میزان GHI بالا است. چندین منبع اطلاعات درباره تابش خورشید در سرتاسر جهان وجود دارد، به عنوان مثال اطلس خورشیدی جهانی^۱، که توسط گروه بانک جهانی^۲ منتشر شده است.

۱. global Solar Atlas

۲. World Bank Group

جدول ۸-۱: میزان GHI سالانه در مناطق مختلف جهان

Table 8.1 Annual Global Horizontal Irradiance (GHI) in various regions of the world.

Region	GHI Range kWh/m ² Per Year
Africa	1,600–2,700+
Middle East & North Africa	1,700–2,700+
Latin America & Caribbean	1,000–2,700+
North America	<700–2,600+
Europe	<700–2,100
South and Central Asia	1,400–2,400
East Asia	1,000–2,300
South-East Asia & Pacific	900–2,600

Source: Data from WEC (2016, Chapter 8).

{عبارات داخل جدول

Region: ناحیه

GHI range kwh/m² per year: بازه GHI کیلووات ساعت بر متر مربع در سال

Africa: آفریقا

Middle east & north Africa: خاورمیانه و آفریقای شمالی

Latin America & Caribbean: آمریکای لاتین و کارائیب

North America: آمریکای شمالی

Europe: اروپا

South and Central Asia: آسیای جنوبی و مرکزی

East Asia: شرق آسیا

South-east asia and Pacific: جنوب آسیا و اقیانوسیه {

میزان تابش به زاویه تراز خورشید که با α نشان داده می‌شود بستگی دارد. برای زاویه‌های پایین، تشعشع مستقیم خورشید باید از بخش بزرگتری از اتمسفر بگذرد تا به نقطه‌ای از زمین برسد، بنابراین ضریب تضعیف بزرگتر است. طول مسیری که

تشعشع خورشید از درون اتمسفر طی می‌کند در مقایسه با کوتاه‌ترین مسیری که تشعشع خورشید باید طی کند با جرم هوا (AM) نشان داده می‌شود. $AM = 1$ ، یا به عبارت دیگر یک جرم هوا، نشان دهنده مسیری عمودی از سطح دریا تا لایه بیرونی اتمسفر در فشار بارومتری استاندارد با قرار داشتن خورشید به طور مستقیم در بالا، می‌باشد. AM در خارج از جو به اندازه صفر تعریف شده است. یک رابطه ساده شده، که به طور گسترده‌ای به کار می‌رود، AM را به زاویه تراز خورشید α مرتبط می‌سازد، به عبارتی $AM = 1/\sin \alpha$. این معادله برای مقادیر خیلی پایین زاویه تراز انرژی α کاربردی ندارد، و معمولاً برای سادگی کار، برای $\alpha \approx 0$ ، AM را ۳۸ در نظر می‌گیریم.

۹۸. آب پاکیزه با استفاده از انرژی خورشیدی و باد: خارج از شبکه توزیع

پرکاربردترین سیستم‌های خورشیدی فوتوولتاییک، پنل‌های تخت هستند. میزان انرژی قابل استفاده یک پرتو خورشید که به سطح صاف پنل خورشیدی برخورد می‌کند قسمت اصلی سیستم پنل تخت است، البته نباید سطح صاف پنل را فراموش کنیم. انرژی خورشیدی جذب شده توسط سطح پنل به زاویه برخورد پرتو θ با سطح پنل نسبت به زاویه عمودی پنل بستگی دارد. حداکثر انتقال توان (h_0) هنگامی که زاویه برخورد با سطح قائم باشد به دست می‌آید: که این زاویه برای زوایای غیر صفر $\theta=0$ و برای زوایای غیر از صفر، میزان توان جمع‌آوری شده توسط سطح $h(\theta) = h_0 \cdot \cos \theta$ ، $h(\theta)$ می‌باشد.

۲-۸ پارامتری‌های مشخصه خورشیدی فوتوولتاییک

سیستم‌های خورشیدی فوتوولتاییک انرژی DC کمی نسبت به کل تابش خورشیدی که به آن‌ها برخورد می‌کند تولید می‌کنند. همچنین توان خروجی پنل‌های خورشیدی فوتوولتاییک به دمای کاری پنل‌های فوتوولتاییک بستگی دارد. همان‌طور که در بخش ۳-۸ نشان داده شده است، با افزایش دما، خروجی توان آن‌ها کاهش می‌یابد.

برای سیستم‌های الکتریسته خورشیدی، مولفه‌ای با عنوان توان نامی در نظر

گرفته شده است (kWp). این توان اساسا نرخي است که سیستم‌های در بالاترین سطح بهینگی خود، مانند یک روز آفتابی می‌توانند تولید کنند. واضح است که نرخ تولید الکتریسیته به جهت قرارگیری سیستم، سایه و این که آن ناحیه چقدر آفتابی است بستگی دارد. تابش خورشیدی 1 kW/m^2 برای شرایط تست استاندارد استفاده می‌شود (STC). جهت نشان دادن این نسبت، می‌توان گفت که به ازای هر مترمکعب سلول خورشیدی تجاری، $140-200\text{ W}$ انرژی الکتریکی تولید می‌شود. به عبارت دیگر سطح بازدهی سلول‌های خورشیدی بازدهی حدود $14-20\%$ می‌باشد (۲، ۳، ۸ را نیز ملاحظه فرمایید).

وقتی نور خورشید به سلول خورشیدی برخورد می‌کند، نسبتی نهادین بین مشخصه رایج مرتبط با جریان خروجی و ولتاژ نشان داده می‌شود.

- جریان اتصال کوتاه I_{sc}
- ولتاژ مدار باز V_{oc}
- حداکثر توان P_{max}
- ضریب پری FF

این مشخصه‌ها بازدهی سلول را نشان می‌دهند.

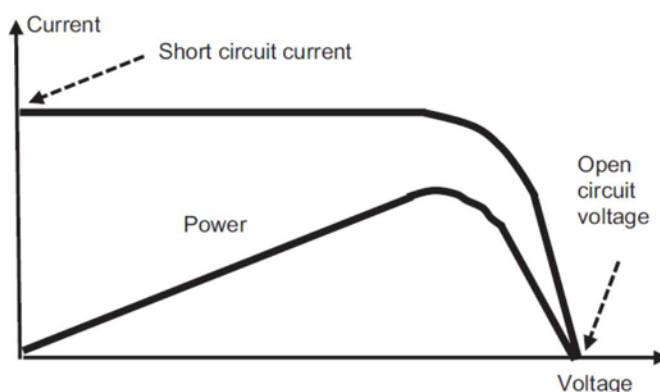
اگر مدار اتصال کوتاه شود، حداقل به صورت نظری می‌توان گفت که جریان اتصال کوتاه درون مدار جریان می‌یابد. جریان اتصال کوتاه نشانگر حد بالای جریانی است که توسط سلول خورشیدی تولید می‌شود. این مقدار متناسب با تابش و مساحت سلول می‌باشد. سلول‌های خورشیدی سیلیکونی تجاری می‌توانند جریان بالایی را تولید کنند. تحت شرایط استاندارد 1 kW/m^2 ، برای یک سلول با ابعاد $150 \times 150\text{ mm}^2$ این مقدار تقریبا به ۹ آمپر می‌رسد.

۹۹. خورشیدی فوتوولتاییک

اگر الکترودهای سلول جدا شوند، جریانی درون مدار خارجی جریان نمی‌یابد. ولتاژ تحت این شرایط، ولتاژ مدار باز نامیده می‌شود و این مقدار بیشترین سطح ولتاژی است که سلول خورشیدی می‌تواند تولید کند. معمولا، این مقدار برای

سلول‌های خورشیدی تجاری ۰,۴-۰,۶ ولت می‌باشد. رابطه بین جریان اتصال کوتاه و ولتاژ مدار باز در شکل ۸-۲ به تصویر در آمده است.

سلول‌های خورشیدی بین ۳۵ تا ۲۰۰ W/m² توان تولید می‌کنند.



{عبارات شکل ۸-۱: current: جریان short circuit current: جریان اتصال کوتاه power: توان open circuit voltage: ولتاژ مدار باز Voltage: ولتاژ}

شکل ۸-۱: نسبت اصولی بین جریان و ولتاژ در سلول خورشیدی. جریان اتصال کوتاه با ولتاژ صفر به دست می‌آید و در جریان صفر به ولتاژ مدار باز می‌رسیم. حداکثر توان خروجی با ترکیب خاصی از جریان و ولتاژ حاصل می‌شود.

حداکثر توان که با P_{max} یا kW_p نشان داده می‌شود را می‌توان با مقدار خاصی از ولتاژ و جریان متقابل آن به دست آورد. طبیعتاً، مدار الکترونیته باید به نحوی طراحی شود تا سلول بتواند حداکثر توان را تحت شرایط خارجی تولید کند. معمولاً، یک سلول خورشیدی $150 \times 150 \text{ mm}^2$ می‌تواند حداکثر توانی بیش از ۵ W یا ۲۰۰ W/m² تولید کند.

۱۰۰. آب پاکیزه با استفاده از انرژی خورشیدی و باد: خارج از شبکه توزیع

نسبت بین حداکثر توان تولید شده توسط سلول خورشیدی (P_{max}) به صورت تئوری و میزان تولید ولتاژ مدار باز و جریان اتصال کوتاه، ضریب پری (FF) نام دارد که معمولاً بین مقادیر 0.76-0.80 است:

$$FF = \frac{P_{max}}{V_{OC} \cdot I_{SC}}$$

بازده تبدیل را می‌توان بر مبنای این چهار پارامتر محاسبه و تحت شرایط استاندارد، بعنوان نسبتی با مقداری در محدوده میان حداکثر توان تولید شده و توانی که به صفحه برخورد می‌کند، تعریف می‌شود.

$$\eta = \frac{P_{max}}{P_{in}} = \frac{V_{OC} \cdot I_{SC} \cdot FF}{P_{in}}$$

بازده بیشتر که بین ۰,۱۴-۰,۲۰ قرار دارد در بخش ۳-۸ مورد بررسی قرار می‌گیرد.

۳-۸ تبدیل نور خورشید به الکتریسیته

تکنولوژی خورشیدی فوتوولتاییک از مواد نیمه رسانا استفاده می‌کند تا نور خورشید را مستقیماً به الکتریسیته تبدیل کند. در چنین موادی، جذب نور باعث می‌شود سطح انرژی الکترون افزایش یابد. سپس الکترون از سلول خورشیدی به یک مدار خارجی حرکت می‌کند. الکترون، انرژی خود را به مدار خارجی تحویل می‌دهد و سپس به سلول خورشیدی باز می‌گردد. تقریباً تمام تبدیل انرژی خورشیدی در سیستم‌های فوتوولتاییک از مواد نیمه رسانا بهره می‌برند، که پیوند p-n ایجاد شده در آنها باعث می‌شود این اتفاق رخ دهد.

۱-۳-۸ تکنولوژی‌های فوتوولتاییک

تا کنون تکنولوژی‌های متعددی برای سلول‌های خورشیدی توسعه یافته‌اند:

- تکنولوژی سیلیکون (سیلیسیم) بلورین (کریستالی)، تک بلورین (تک کریستالی، مونوکریستالین) و همینطور چند بلورین (چند کریستالی، پلی

کریستالین

- لایه نازک، مانند سیلیکون (سیلیسیم) بی شکل
- سلول های ارگانیک

۱.۱. خورشیدی فوتوولتاییک

تکنولوژی غالب بر پایه تکنولوژی سیلیکون تک کریستال یا چند کریستال بنا شده است (c-Si). سلول های تک کریستال با ایجاد ورقه های ویفر^۱ (تا قطر ۱۵۰ میلی متر و ضخامت ۲۰۰ میکرون) از یک گوی بلورین ساخته می شوند. چهار طرف گوی های سیلیکون بریده می شوند تا ویفرهای سیلیکونی با شفافیت بالا بدست آید، در نتیجه، قسمت زیادی از توده اصلی سیلیکون هدر می رود، که به هزینه تولید می افزاید.

برای تولید سلول های چند بلورین ابتدا یک بلوک قالب ریزی شده سیلیکون به میله هایی بریده می شود، سپس به شکل ویفر بریده می شوند. این فرآیند، نسخه ساده تر فرایند ساختن تک بلورها است، چرا که سیلیکون دور ریز کمتری تولید می شود. سلول های سیلیکونی کریستالی با گرایش حرکت به سوی کریستال های چند بلوری تولید می شوند. تلاش شدیدی برای کاهش هزینه های تولید سلول های تک کریستال وجود دارد، بنابراین ممکن است در آینده رقابت سلول های تک کریستال با سلول های چند کریستال بیشتر شود. طبق یافته های فرانهور^۲ (۲۰۱۶)، ۹۴٪ تولید در سال ۲۰۱۶ با کمک تکنولوژی های فوتوولتاییک بر پایه سیلیکون صورت گرفته است. سهم تکنولوژی چند کریستاله نیز در این تولید، حدود ۷۰٪ از کل تولید می باشد.

سلول های لایه نازک با روی هم قرار دادن لایه های بسیار نازک مواد حساس به نور بر پشت موادی مانند شیشه، فولاد ضدزنگ یا پلاستیک تولید می شوند. این فرآیند نسبت به فرآیند تولید تک کریستال ساده تر است، چراکه میزان تولید دور ریز

۱. ورقه های بسیار نازک نیمه رسانا

۲. Fraunhofer

سیلیکون در آن کمتر است. هزینه تولید به روش لایه نازک به نسبت تولید کریستالی بسیار پایین می‌آید. پرتعدادترین تکنولوژی در این زمینه، تولید لایه نازک سیلیکون بی‌شکل (کریستاله نشده) می‌باشد (a-Si). در سلول‌های خورشیدی سیلیکونی بی‌شکل، سیلیکون خیلی کمتری نسبت به سلول‌های سیلیکونی کریستاله استفاده می‌شود (حدوداً ۱٪). سلول‌ها را می‌توان در هر شکل و اندازه‌ای و با صرفه اقتصادی تولید نمود. سلول‌های سیلیکونی بی‌شکل برای مدت‌ها در کاربری‌های در فضای باز، موقعیت‌های غیر بحرانی، و برای محصولات مصرفی مانند ساعت‌ها و ماشین حساب‌ها استفاده می‌شده‌اند. امروزه آن‌ها برای کاربری‌هایی با مقیاس بزرگتر به کار گرفته می‌شوند. در سال ۲۰۱۶، سهم از بازار تکنولوژی‌های لایه نازک حدوداً ۶٪ از کل تولید سالانه بوده است (فرانهوفر، ۲۰۱۶). هزینه‌های تولید انبوه ماژول‌های لایه نازک کمتر از هزینه‌های تولید ماژول‌های سیلیکونی کریستالی و تحمل دمایشان بالاتر است.

اشکال تکنولوژی لایه نازک، بازدهی پایین آن به علت مواد فعال داخلش است. از موادی که از لحاظی تجاری جذاب هستند می‌توان کادمیوم تلوراید (CdTe) و مس-اینیدیوم/گالیوم-دیسلنید/ دیسولفید (CIS/CIGS) را نام برد. چندین تکنولوژی مبتنی بر سلول‌های ارگانیک وجود دارد. این تکنولوژی‌ها شامل سلول‌های خورشیدی حساس به رنگ، سلول‌های آنتنی، سلول‌های خورشیدی مولکولی ارگانیک، و دستگاه‌های کاملاً پلیمری است.

۱۰۲. آب پاکیزه با استفاده از انرژی خورشیدی و باد: خارج از شبکه توزیع

از میان این فن‌آوری‌ها، سلول رنگی فاصله بسیار کمی تا تجاری شدن دارد، و دیگر سلول‌های ارگانیک هنوز در فاز توسعه بسر می‌برند. علاوه بر سلول‌های خورشیدی ارگانیک و لایه نازک، امروزه از ترکیباتی مانند پروفسکیت^۱ در توسعه نسل بعدی سلول‌های خورشیدی فوتوولتاییک استفاده می‌شود. پروفسکیت یک ماده معدنی (CaTiO_3) است که در کوه‌های اورال روسیه در

۱. perovskite

سال ۱۸۳۹ کشف شد و نام آن از معدن‌شناس روسی، لو پروفسکی (۱۷۹۲-۱۸۵۶) برداشته شد. بازده سلول‌های پروفسکیت از ۳٫۸٪ در سال ۲۰۱۱ به ۲۰٪ در سال ۲۰۱۴ رسیده است. از آنجایی که این سلول‌ها از عناصری که به وفور یافت می‌شوند مانند آمونیاک، ید و سرب ساخته می‌شوند، بسیار کم هزینه هستند. با این وجود، هنوز تکنولوژی سلول خورشیدی پروفسکیت در انتظار دریافت تاییدیه برای استفاده تجاری هستند. اما، به علت وجود سرب در آن، شک‌های شدیدی پیرامون مسائل امنیت زیستی وجود دارد. علاوه بر این، سلول‌های پروفسکیت ناپایدار هستند و به میزان قابل توجهی هنگامی که در معرض محیط قرار می‌گیرند تجزیه می‌شوند. جایگزین کردن سرب با یک عنصر سازگارتر با محیط زیست و بهبود پایداری این سلول‌ها اهداف مهم محققان در این زمینه خواهد بود. انتظار می‌رود که توسعه یک سلول خورشیدی که از ترکیب درست پروفسکیت در بالا و سیلیکون در پایین سلول بهره ببرد، بازده تبدیل سلول‌های خورشیدی را از ۲۵٪ بسیار بالاتر ببرد، در حالی که هزینه تولید را پایین نگه می‌دارد.

۲-۳-۸ بازده ماژول‌های فوتوولتاییک

نگرانی‌های اصلی پیرامون تکنولوژی‌های فوتوولتاییک شامل بازده، طول عمر و عملکردشان در طول زمان می‌باشد. ماژول‌های فوتوولتاییک تجاری حدوداً یا حتی کمتر از ۲۰٪ از انرژی تابشی خورشید را به الکتریسیته تبدیل می‌کنند. بازده پنل‌های فوتوولتاییک دارای یک ضریب دما نیز می‌باشد، و معمولاً با افزایش دما کاهش می‌یابد.

بازدهی ماژول‌های فوتوولتاییک معمولاً بین ۱۴-۲۱٪ است. جدول ۸٫۲ نشان می‌دهد که پنل‌های تک کریستال دارای بالاترین میزان بازدهی و همچنین بالاترین طول عمر مورد انتظار هستند. ماژول‌های خورشیدی چندکریستالی و لایه نازک بهای کمتری و متعاقباً بازده پایین‌تری دارند. بنابراین بایستی با در نظر داشتن هزینه تولید و بازدهی، بهترین گزینه را انجام دهیم.

بازدهی ماژول‌های فوتوولتاییک بین ۱۴-۲۱٪ است.

جدول ۸-۲: بازده ماژول‌های خورشیدی فوتوولتاییک تجاری

Table 8.2 Efficiencies of commercial solar PV modules.

Type of Panel	Efficiency (Commercial) %	Efficiency (Best Lab) %
Monocrystalline	17–21	24.4–26.7
Polycrystalline	14–16	19.9–22.3
Thin-film CIGS	14–16	19.2–21.7
Thin-film CdTe	14–16	18.6–21.0
Thin-film a-Si	13.8–15.5*	11–14

Source: Data from Fraunhofer (2015, 2016).

*Based on modules with highest efficiency of their class.

{عبارات جدول ۸-۲}

Type of panel: نوع پنل
 Polycrystalline: چند کریستال
 Efficiency (Commercial) %: بازده (تجاری)
 Thin-film CIGS: لایه نازک CIGS
 Efficiency (best lab) %: بازده (بهترین حالت آزمایشگاهی)
 cdte Thin-film: لایه نازک cdte
 Monocrystalline: تک کریستال
 thin-film a-Si cdte: لایه نازک a-si
 Source: data from fraunhofer (2015, 2016): منبع: fraunhofer (2015, 2016)
 Based on modules with highest efficiency of their class: بر مبنای ماژول‌هایی که در کلاس خود بالاترین بازده را دارند.

تحقیقات بر روی سلول‌های خورشیدی در حال حاضر بازدهی پنل‌های خورشیدی را به طور چشمگیری بهبود می‌بخشند. با ترکیب سلول‌های خورشیدی متمرکز و تکنولوژی نیمه رساناهای جدید (III-V سلول‌های خورشیدی متمرکز چند پیوندی) بازدهی قابل دستیابی در سال ۲۰۱۷ به ۴۶٪ رسیده است (فرانهوفر، ۲۰۱۶).

پنل‌های خورشیدی معمولاً عمری طولانی و گارانتی عملکردی ۲۵ ساله دارند. البته که این مدت به طور غیرمعمولی طولانی است، بنابراین پنل‌های خورشیدی قابل اعتمادترین قسمت یک سیستم خورشیدی در نظر گرفته می‌شوند. با این حال، طی ۱۰ سال اول استفاده از پنل‌های خورشیدی، حدود ۱٪ افت عملکرد و توان خروجی وجود دارد.

پنل‌های خورشیدی معمولاً گارانتی طول عمر ۲۵ ساله دارند. یکی دیگر از مواردی که باعث افت بازده می‌شود به دلیل پدیده عدم تطبیق می‌باشد. شاید فکر کنید که سلول‌ها، انرژی که از خورشید می‌گیرند را به طور مستقیم به خروجی تحویل می‌دهند. ولی سلول‌هایی که در سایه قرار گرفته‌اند می‌توانند توان را جذب کرده و به طور چشمگیری بازده کل ماژول را کاهش دهند. اگر به یکی از سلول‌ها نور نرسد، جریان در کل سلول‌هایی که به طور سری به این سلول وصل شده‌اند به اندازه جریان این سلول که به آن نور نمی‌رسد کاهش می‌یابد. بنابراین، یک سلول که به دلیل قرار گرفتن در سایه به درستی کار نمی‌کند می‌تواند باعث شود که کل توان خروجی به صفر تنزل پیدا کند. جدی‌تر از این قضیه، ممکن است یک ماژول به طور موضعی گرم شده باشد که این گرما می‌تواند باعث آسیب دیدن چند سلول شود. اگر چه، می‌توان از این گرم شدن موضعی با استفاده از حفاظت‌کننده‌های الکترونیکی که به آن‌ها دیودهای بای پس می‌گویند جلوگیری کرد.

برای تولید سلول‌های خورشیدی به انرژی نیاز است. یک راه برای بیان انرژی مورد نیاز سیستم فوتوولتائیک، محاسبه زمانی است که طول می‌کشد تا سیستم خورشیدی فوتوولتائیک این میزان انرژی را تولید کند. مدت زمان جبران این انرژی طبیعتاً به ناحیه جغرافیایی بستگی دارد.

زمان جبران (انرژی) در پژوهش فرانیهوفر (۲۰۱۶) تحت تابعی از تابش نشان داده می‌شود (به $\text{kWh/m}^2/\text{year}$). زمان جبران انرژی (EPBT) برای $1000 \text{ kWh/m}^2/\text{year}$ (معمولاً برای شمال اروپا) حدوداً ۲٫۱ سال، و برای $1,700 \text{ kWh/m}^2/\text{year}$ (معمولاً برای نواحی جنوبی اروپا) ۱٫۲ سال برآورد شده است. در مقایسه، میزان تابش در پرتابش‌ترین مناطق آفریقا بیش از $2,700 \text{ kWh/m}^2/\text{year}$ می‌باشد (جدول ۸٫۱)، و EBPT می‌تواند به اندازه کمی برابر با ۰٫۷ سال باشد. با فرض این که پنل‌های خورشیدی ۲۵ سال عمر می‌کنند، می‌توان گفت که یک سیستم خورشیدی فوتوولتائیک در آفریقا می‌تواند ۳۵ برابر انرژی مورد نیاز برای تولید خود را تولید کند.

مثال ۱-۸: تراکم توان یک سیستم خورشیدی فوتوولتاییک مقیاس بزرگ

پژوهش رور^۱ (۲۰۱۷) در مورد یک آرایه خورشیدی فوتوولتاییک بزرگ در صحرای موهاوی کالیفرنیا است. تاسیسات عظیم ۵۵۰ مگاواتی، محوطه‌ای به مساحت ۱۶ کیلومتر مربع را پوشش می‌دهد. با فرض این که کل محدوده توسط پنل‌های خورشیدی پوشیده شده باشد می‌توان توان تولیدی ماژول‌های خورشیدی را ۱۴ وات بر مترمربع در نظر گرفت.

۳-۳-۸ وابستگی به دما

علاوه بر تابش، میزان توان خروجی ماژول خورشیدی تحت تاثیر دما نیز هست. تحت شرایط استاندارد آزمایش، فرض می‌شود که دمای ماژول برابر با دمای محیط باشد. اما در شرایط عادی، سلول‌های خورشیدی گرم می‌شوند و ولتاژ خروجی آن‌ها هنگامی که در معرض حرارت قرار می‌گیرند کاهش می‌یابد. یک ماژول فوتوولتاییک رایج تنها ۱۴-۲۰٪ از نور خورشید را به انرژی الکتریکی تبدیل می‌کند؛ مابقی نور خورشید به گرما تبدیل می‌شود. دمای کاری حاصله در نقطه‌ای بین هدر رفت دما به محیط اطراف و دمای تولید شده در ماژول می‌باشد.

گرم شدن پنل‌های خورشیدی می‌تواند حدود ۰.۸٪ از توان را در سال تلف کند. البته این بدین معنی است که انرژی کمتری توسط سیستم فوتوولتاییک تولید می‌شود. این امر همچنین می‌تواند باعث کاهش طول عمر سیستم فوتوولتاییک شود. وابستگی به دما به صورت رابطه‌ای بین جریان اتصال کوتاه و ولتاژ مدار باز در برابر دما بیان می‌شود، به نسبت، ضریب دما نشان می‌دهد که ولتاژ و جریان چقدر به ازای هر درجه افزایش دما نسبت به دمای مرجع که ۲۵ درجه سلسیوس می‌باشد تغییر می‌کنند.

۱. Rever

۱۰۵. خورشیدی فوتوولتاییک

ولتاژ مدار باز معمولاً به ازای هر درجه کلون انحراف از دمای مبدا ۰,۴٪ افت می کند، در حالی که جریان اتصال کوتاه به ازای درجه افزایش دما ۰,۰۵٪ افزایش می یابد. از آن جایی که ولتاژ بیشتر از جریان به دما بستگی دارد، با افزایش دما توان کاهش می یابد.

خروجی توان خورشیدی با افزایش دما کاهش می یابد.

مثال ۲-۸: توان مورد نیاز برای پمپاژ آبیاری

دما بر انرژی خورشیدی مورد نیاز پمپاژ تاثیر می گذارد. انرژی هیدرولیک مورد نیاز در فاکتور دما ضرب می شود.

$$\frac{1}{1 - \alpha(T_{\text{cell}} - T_0)}$$

که در آن α معادل ضریب دمای ماژول فوتوولتاییک می باشد، که میزان آن ۰,۴۵٪ درجه سلسیوس است (کامپانا و همکاران^۱، ۲۰۱۶). T_{cell} دمای سلول خورشیدی و T_0 دمای مرجع که ۲۵ سلسیوس است، می باشد. بنابراین در صورتی که دمای سلول به اندازه ۵۰ درجه سلسیوس باشد، توان مورد نیاز حدود ۱۳٪ افزایش می یابد. گرمایش زمین به خاطر تغییرات آب و هوا می تواند ریسک بازده پایین تر را افزایش دهد، از آن جایی که سلول های فوتوولتاییک بهترین عملکرد خود را در ۲۵ درجه سلسیوس نشان می دهند.

کاهش بازده ایجاد شده به وسیله افزایش دما در عربستان سعودی مورد بررسی قرار گرفته است (آدینوی و سعید^۲، ۲۰۱۳). افزایش دمای یک ماژول از ۳۸ به ۴۸ درجه سلسیوس باعث ۱۰,۳٪ اتلاف بازده می شود. که این اتفاق، ضریب دمایی

۱. Campana et al.

۲. Adinoyi & Said

$\alpha = 0.9\%/^{\circ}\text{C}$ را نشان می‌دهد (در صورتی که 38°C درجه سلسیوس را مبنا قرار دهیم). میزان اتلاف انرژی سالانه به خاطر دمای بالا حدودا 10% برآورد شده است.

۴-۳-۸ سیستم‌های فوتوولتاییک شناور

در بعضی نقاط جهان، مخصوصا در چین، ژاپن، کره جنوبی، هندوستان، بریتانیا، فرانسه، ایتالیا، برزیل، پرتغال و ایالات متحده آمریکا، اقداماتی در رابطه با تکنولوژی پنل‌های خورشیدی شناور انجام شده که در آن، پنل‌ها بر روی آب شناور می‌شوند، که نتایجی جذاب از جمله عدم اشغال پنل‌ها زمین‌های ارزشمند بر روی خشکی را بدنبال دارد. ژاپن بیش از 55 MWp را در 45 نیروگاه شناور اجرایی کرده است.

این تعداد شامل پنل‌های خورشیدی شناور بر روی سد یاماگورا، که بزرگترین پروژه فوتوولتاییک شناور در جهان است می‌شود (به فصل ۱۳ مراجعه فرمایید) آب، پنل‌ها را خنک می‌کند، که در نتیجه باعث می‌شود با بازده بهتری کار کنند. از آن جایی که دماهای بالا می‌تواند طول عمر پنل‌های خورشیدی را کاهش دهد، این پنل‌های شناور عمر بیشتری نسبت به پنل‌های نصب شده بر روی خشکی دارند. اثر مهم جانبی دیگر این است که پنل‌ها مانع از تبخیر آب از سطح آن می‌شوند. از آن جایی که تبخیر، یک مشکل اساسی در بسیاری از ذخیره گاه‌های آب در مناطق کم آب می‌باشد (Olsson, 2015, فصل ۱۰)، پیشنهاد شده است که با پوشاندن سطح سدها با پنل‌های خورشیدی قسمتی از این مشکل را حل می‌کند.

۵-۳-۸ توسعه تکنولوژی

همان گونه که پیش‌تر به آن اشاره شد، تمرکز در سال‌های آتی قطعا بر توسعه سلول‌های خورشیدی با بازده بالاتر، پایداری حرارتی بهبود یافته و ماژول‌های فوتوولتاییک با طول عمر بیشتر خواهد بود. همچنین اقدامی جالب در راستای افزایش بازده انرژی با استفاده کردن از نور پشت سلول‌های خورشیدی و جمع‌آوری نور پراکنده شده در حال اجراست. همان گونه که پیش‌تر به آن اشاره شد، طی چند سال آتی بازده تبدیل از 20% فراتر خواهد رفت و تضعیف سالانه پنل‌ها حتی به

کمتر از ۰,۳٪ در سال خواهد رسید. (WEC, 2016 فصل ۸)

۴-۸ سیستم‌های سلول‌های خورشیدی

یک عدد سلول خورشیدی معمولاً بسیار کوچک بوده و می‌تواند ۱ تا ۲ وات انرژی تولید کند. با متصل کردن سلول‌های خورشیدی به صورت سری و موازی، ماژول‌های بزرگی شکل می‌گیرند که می‌توانند توان خروجی بیشتری تولید کنند. معمولاً ۳۶ سلول به صورت سری به یکدیگر متصل می‌شوند تا یک ماژول را تشکیل دهند. انواع مختلفی از ماژول‌های فوتوولتاییک وجود دارد و ساختمان آن‌ها بسته به نوع کاربری آن‌ها است. ماژول‌ها نیز می‌توانند به یکدیگر متصل شوند تا واحدهای بزرگتری به نام آرایه را ایجاد کنند. بنابراین، سیستم‌های فوتوولتاییک رایج از تعدادی ماژول و آرایه ساخته شده‌اند.

یک عدد سلول خورشیدی ولتاژی در حدود ۰,۶ ولت تولید می‌کند. با متصل کردن چندین سلول به صورت سری، ولتاژ بیشتری تولید می‌شود. رایج است که ماژول‌ها به نحوی طراحی شوند که بتوانند یک باتری ۱۲ ولت را شارژ کنند. ۳۶ سلول که به صورت سری به یکدیگر متصل شده‌اند نیز می‌توانند ولتاژ مدار بازی برابر با ۲۱ ولت تولید کنند. بسته به کاهش تولید به خاطر دما و شرایط عملکرد ماژول‌ها ممکن است ۱۷ تا ۱۸ ولت تولید کنند. از آن جایی که تنها به حدود ۱۵ ولت نیاز است تا یک باتری ۱۲ ولت شارژ شود، این مقدار ولتاژ کافی خواهد بود. ولتاژ ممکن است به دلیل نور کم یا کاهش بیشتر ولتاژ در قطعات سیستم، کاهش پیدا کند. می‌توانید در بخش ۳-۱۰، مطالب بیشتری پیرامون این مسئله و باتری‌ها کنید.

جریان حاصل، از یک ماژول تابعی از اندازه سلول‌های خورشیدی و بازده آن‌ها بدست می‌آید. یک عدد سلول خورشیدی معمولاً مساحتی برابر با ۱۰۰ cm² دارد. طبق قوانین تجربی، جریان حاصل از یک ماژول، حدوداً ۳,۵ الی ۴ آمپر خواهد بود. داشتن ۳۶ سلول در یک ماژول به این معنی است که مساحت ۳۶۰۰ cm²، یا یک مربع ۶۰*۶۰ cm² می‌باشد.

اکثریت رایج‌ترین سیستم فوتوولتاییک از سلول‌های صفحه تخت ساخته شده

است. رده پیشرفته‌تر، سیستم‌هایی هستند که در آن‌ها نور خورشید متمرکز می‌شود. این روند باعث می‌شود که توان تولید افزایش یابد و به سلول‌های کمتری نیاز باشد. یک سیستم خورشیدی فوتوولتاییک به تجهیزاتی بیشتر از سلول‌های خورشیدی برای تولید انرژی الکتریکی به عنوان خروجی نیاز دارد. این تجهیزات شامل یک کنترل‌کننده بار، یک مبدل (به بخش ۵-۴ مراجعه فرمایید)، و باتری‌هایی برای تامین انرژی الکتریکی مورد نیاز می‌باشد. پمپ‌ها معمولاً توسط موتورهای که از جریان متناوب تغذیه می‌شوند نیرو می‌گیرند، و موتورهای جریان متناوب ارزان‌تر و سرسخت‌تر از موتورهای جریان مستقیم می‌باشند. از آن جایی که پنل‌های خورشیدی جریان مستقیم تولید می‌کنند یک مبدل جریان مستقیم به جریان متناوب برای پمپ‌های جریان متناوب نیاز است.

ذخیره انرژی یکی از نگرانی‌ها است (بیشتر در فصل ۱۰ به آن می‌پردازیم) و از باتری‌هایی استفاده می‌شود تا خروجی سیستم‌های فوتوولتاییک ذخیره شود و کارکرد سیستم‌ها وابسته به فوتوولتاییک هنگامی که تابش خورشید کافی نیست مختل نشود. جنبه‌های سیستم‌های کنترل در فصل ۱۱ مورد بررسی قرار می‌گیرند.

۵-۸ نیازمندی‌های عملیات‌های آبی به انرژی

مثال ۳-۸: خروجی یک سیستم خورشیدی فوتوولتاییک برای پمپاژ، شرق هندوستان

مقدار واقعی تولید انرژی یک آرایه خورشیدی فوتوولتاییک طی یک روز در ماه‌های مختلف در شرق هندوستان توسط رحمان و بهات^۱ (۲۰۱۴) اندازه‌گیری شده است. از آن جایی که میزان تابش در طول روز تغییر می‌کند، خروجی توان DC از یک آرایه خورشیدی با قدرت 3kWp در محدوده پاتنا در روزهای آفتابی هر ۱۵ دقیقه در ماه‌های مختلف سال اندازه‌گیری شد. این آرایه با یک مکانیزم دستی خورشید را تعقیب می‌نموده و از ساعت ۹:۰۰ تا ۱۴:۳۰ در تقریباً تمامی ماه‌ها، غیر از نوامبر تا

زانویه، نرخ توان آرایه در بازه‌ای بین ۱,۹ الی ۲,۴ کیلووات بوده است. در نتیجه یک پمپ با توان ۲,۲ kWp (۳ اسب بخاری) می‌تواند نزدیک به توان نامی آن به مدت ۶ ساعت در روز کار کند. بنابراین، قانون تجربی برای شرق هندوستان می‌گوید که یک آرایه خورشیدی با قدرت ۱ kWp می‌تواند توان لازم برای یک پمپ خورشیدی یک موتور با قدرت اسب بخار (۰,۷۴ kW) را تامین کند.

مثال ۴-۸: سیستم خورشیدی فوتوولتاییک مقیاس کوچک برای نمک‌زدایی، اردن

این تاسیسات نمک‌زدایی خورشیدی فوتوولتاییک در اردن طراحی شده است تا از آب لب شور آب شیرین تولید کند، طبق گزارش (هافمن 2017a) این تاسیسات، ۹۵ kWh انرژی در روز تولید می‌کند تا از ۳۷ مترمکعب آب لب شور از ۲۲ مترمکعب آب شیرین تولید شود. این مثال نشان می‌دهد که $4,3 = 22/95$ kWh/m³ انرژی برای تولید آب شیرین نیاز است (با ۵-۳-۵ مقایسه کنید)

۶-۸ مطالعه بیشتر

وردی^۱ و همکاران (۲۰۱۸)، فصل ۲، معرفی آموزشی و ساده به تکنولوژی‌های انرژی خورشیدی ارائه می‌کند. مقدمه‌ای در مورد تکنولوژی‌های مختلف در فصل ۸ WEC(2016) که بسیار ساده توضیح داده شده است نیز وجود دارد. گوسانی^۲ (۲۰۱۵) توضیحی فراگیر درباره پیشرفت‌های چشمگیر در انرژی خورشیدی ارائه نموده است. یک مطالعه درباره برق‌رسانی به مناطق روستایی در پاپوآ گینه نو توسط کوار و سگل^۳ (2017) ارائه شده است.

وایت (۲۰۱۴) یک معرفی ساده و روان به سیستم‌ها و انرژی خورشیدی

۱. Varadi

۲. Goswani

۳. Kaur and Segal

فوتوولتاییک می‌باشد، و در عین حال یک متن فراگیر درباره سیستم‌های خورشیدی فوتوولتاییک و نصب آن‌ها محسوب می‌شود.

ABB یک مقاله بلند پروازانه درباره کاربردهای تکنیکی سیستم‌های خورشیدی فوتوولتاییک منتشر کرده است (ABB, 2018) که اصول آن، نصب و راه‌اندازی و جنبه‌های اقتصادی سیستم‌های خورشیدی فوتوولتاییک را توضیح می‌دهد.

SAM^۱ (مدل پیشنهاددهنده سیستم)، یک ابزار مدل‌سازی اقتصادی و عملکردی پر جزئیات برای کاربری‌های انرژی خورشیدی و بادی می‌باشد (<https://sam.nrel.gov/>). SAM بر مبنای مدل‌های کامپیوتری توسعه یافته توسط NREL، آزمایشگاه‌های ملی سانديا، دانشگاه ویسکانسین و دیگر سازمان‌ها ساخته شده است. این مدل، محاسبات خود را بر مبنای پایگاه‌های داده اوزان و مقیاسات انجام می‌دهد، که وسعت زیاد و دسترسی به آن‌ها رایگان بوده و بدین طریق داده‌های آب و هوایی چندین ناحیه در سرتاسر جهان پردازش می‌شود. SAM به‌طور ساعتی می‌تواند پروفایل‌های عملیاتی پویایی را برای تولید انرژی خورشیدی گرمایی، انرژی خورشیدی فوتوولتاییک و انرژی بادی را فراهم ساخته، و بنابراین می‌تواند عملکرد تحت بار در شرایطی مانند سیستم‌های نمک‌زدایی را شبیه‌سازی کند. SAM پایگاه‌های داده آنلایین انرژی بادی و همین‌طور پایگاه‌های داده انرژی خورشیدی فوتوولتاییک را در بر می‌گیرد: پایگاه داده تابش خورشیدی NREL برای منبع داده‌های خورشیدی و شرایط آب و هوای محیطی و همین‌طور NREL WIND Toolkit {کیت ابزار باد NREL، مجموعه پایگاه داده و ابزارهای باد سنجی NREL} برای منبع داده‌های بادی.

سایت شبکه آموزش سیستم‌های خورشیدی فوتوولتاییک^۲ (<http://pveducation.org>) که توسط کریستینا هانسبرگ^۳ و استورات بودن^۴ در

۱. System Advisor Model

۲. PV Education Network

۳. Christiana Honsberg

۴. Stuart Bowden

آزمایشگاه انرژی خورشیدی دانشگاه ایالتی آریزونا^۱ (<http://pv.asu.edu/>) توسعه یافته است، دارای تصاویر و مثال‌های کاربردی بسیار خوبی از تولید انرژی فوتوولتاییک و انرژی خورشیدی می‌باشد. (Parida et al.(2011) نگاهی اجمالی بر تکنولوژی‌های خورشیدی فوتوولتاییک دارد.

محاسبات پایه‌ای بازده پویای پنل‌های خورشیدی صفحه تخت به صورت کد پایتون (پایتون یک زبان برنامه نویسی می‌باشد) توسط پیانی^۲ (۲۰۱۷) ارائه شده‌اند.

۱. ASU

۲. Piani



فصل

باد

"نیروی باد به طور پیوسته در جهان در حال گردش است... با قدرتی فراتر از تصورمان روبرو هستیم ولی استفاده ناچیزی از آن داریم. از آن فقط برای چرخاندن چند آسیاب، راندن چند کشتی بادبانی در اقیانوس‌ها، و کاربردهای پیش پا افتاده اینچینی استفاده می‌شود. ما آنقدر قدردان این خدمتکار خستگی‌ناپذیر و پرانرژی‌مان نیستیم"

هنری ثورو^۱ (۱۸۱۷-۱۸۶۲)

انتظار می‌رود که ظرفیت نصب شده انرژی بادی در سرتاسر جهان به رشد سریع خود ادامه دهد. از آن جایی که صنعت در حال عبور از این منحنی تجربی می‌گذرد، در طول ۵ سال منتهی به سال ۲۰۲۲ پیش‌بینی می‌شود که هزینه‌های پروژه‌های بادی، به اندازه ۱۴٪ افت کند (لیندهارد و همکاران، ۲۰۱۶). باید خاطرنشان شود برای اینکه تکنولوژی انرژی بادی بتواند جزئی چشمگیر از مجموع تولید انرژی شود به زمان زیادی نیاز است. بیش از ۹۳٪ از سرمایه‌گذاری‌ها در انرژی بادی ساحل از

۱. Henry Thoreau

سال ۱۹۸۳ تا سال ۲۰۱۴ پس از سال ۲۰۰۰ رخ داد. همان طور که در شکل ۳-۶ نشان داده شده است، ظرفیت انرژی بادی نصب شده در آفریقا در مقایسه با چین، هند، آمریکای شمالی و اروپا قابل چشم پوشی است.

۱۱۲. آب پاکیزه با استفاده از انرژی خورشیدی و باد: خارج از شبکه توزیع

بدون شک ظرفیت بادی عظیمی در طبیعت وجود دارد که می توانیم از آن بهره برداری کنیم.

ویژگی های اساسی توربین های بادی در ۱-۹ توضیح داده شده اند. مانند سیستم های خورشیدی فوتوولتاییک، توربین بادی به طور منقطع انرژی تولید می کند. بنابراین، همان طور که در فصل ۲-۹ به توضیح آن می پردازیم بسیار لازم است تا از ظرفیت انرژی بادی آگاهی داشته باشیم. تولید منقطع و نیاز به ذخیره سازی، موضوع فصل ده می باشد، در حالی که جنبه های اقتصادی و سرمایه گذاری برای انرژی های تجدیدپذیر در فصل ۱۲ تشریح شده اند.

۱-۹ ویژگی های پایه ای توربین های بادی

انرژی جنبشی باد باعث تولید انرژی دورانی توربین می شود. سپس یک ژنراتور انرژی دورانی را به انرژی الکتریکی تبدیل می کند.

پر واضح است که انرژی تولید شده توسط توربین بادی به سرعت باد بستگی دارد. به صورت نظری، این انرژی متناسب با مکعب سرعت باد می باشد. این بدین معنی است که اگر سرعت باد دو برابر شود، انرژی تولید شده ۸ برابر خواهد شد. اگر سرعت باد خیلی پایین باشد، توربین هیچ نیرویی تولید نمی کند و حتی ممکن است در صورت سرعت بیش از حد وزش باد توربین نیرویی تولید نکند. کمتر کسی پیدا می شود که نداند سرعت باد در هر دقیقه می تواند تغییر کند، بنابراین نیروی تولیدی یک توربین بادی نیز می تواند بسیار متغیر باشد. با ترکیب چند توربین در یک مزرعه بادی با یکدیگر، می توان این تغییرات را کاهش داد. امروزه توربین ها می توانند در سرعت های مختلف انرژی تولید کنند، بنابراین روتور به طور پیوسته با سرعت باد

هماهنگ می‌شود. بعبارت دیگر می‌توان گفت که در مقایسه با تولید انرژی در صورت ثابت بودن نیروی باد، در این حالت می‌توان از سرعت‌های وزش مختلف باد نیز انرژی بدست آورد.

با دوبرابر شدن سرعت باد، انرژی تولیدی ۸ برابر می‌شود.

انرژی جنبشی ذخیره شده در یک شار به ازای واحد حجم برابر است با

$$E = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot v^2$$

که در آن ρ چگالی هوا می‌باشد. برای جریانی که از یک ناحیه عرضی جریان می‌یابد مساحت استفاده شده توسط توربین با S نشان داده شده، و نرخ جریان با $S \cdot v$ بدست می‌آید. توان مکانیکی تولید شده نیز با استفاده از سرعت باد و همینطور توسط مساحت عرضی S به وسیله فرمول بتز (Betz) محاسبه می‌شود.

$$P = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot S \cdot v^3$$

که در آن ρ چگالی هوا است. انرژی قابل دستیابی در باد به وسیله انتگرال گرفتن از توان در بازه زمانی T_p ، معمولاً طی یک سال، به دست می‌آید:

$$E_{\text{annual}} = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot S \int_0^{T_p} v^3 dt$$

فرمول بتز به واضحی توضیح می‌دهد که توان تولید توربین به طور چشمگیری نه تنها با افزایش مساحت دورانی S ، بلکه با افزایش ارتفاع برج (توربین) افزایش می‌یابد. در ارتفاعات بالاتر، از آنجایی که اشیاء کمتری در نزدیک برج بادی مانند تپه‌ها و ساختمان‌ها وجود دارد، باد به مقدار کمتری مغشوش می‌شود. همچنین، سرعت باد در نواحی پایین‌تر اتمسفر با افزایش ارتفاع افزایش می‌یابد و این قضیه با توجه به وابستگی انرژی تولیدی به v^3 مهم است.

یک ژنراتور بادی به حداقل ۳-۵ متر بر ثانیه سرعت باد نیاز دارد و ظرفیت نامی خود را در بادی با سرعت ۱۲-۱۴ متر بر ثانیه نشان می‌دهد. توربین‌های بادی به نحوی طراحی می‌شوند که شرایط کاری دلخواهشان در بادی با سرعت ۱۰-۱۲ متر

بر ثانیه باشد. این برج‌های بادی دارای روتور با قطر بیشتری به ازای هر کیلووات توان هستند. به دلایل مربوط به ایمنی، در سرعت‌های بالا، ژنراتورهای مقیاس کوچک، توسط یک سیستم ترمز محدود می‌شوند. توربین‌های بادی توان بالا، تیغه‌های روتور را به حرکت در آورده تا چرخش را متوقف کنند، و از ترمزهای مکانیکی فقط در شرایط بحرانی استفاده می‌شود. ژنراتورهایی وجود دارند که می‌توانند با جهت باد منطبق شوند تا توان خروجی ثابت بماند.

از آن جایی که سرعت باد ثابت نیست، سرعت ژنراتور بادی متغیر است. با این حال، فرکانس AC توان خروجی باید ثابت باشد. بنابراین، روتورهای ژنراتور به اینورترهایی متصل هستند تا ولتاژ و فرکانس توان AC حاصله را کنترل کنند.

به طور جهانی، انرژی بادی در حال توسعه به سوی توربین‌های بزرگتر و ولتاژهای خروجی بالاتر هستند. بزرگترین توربین‌های تجاری امروزی (Vestas) از بیش از ۹ مگاوات برخوردارند. ما برای اهداف خود که منابع انرژی غیرمرکزی خارج از شبکه توزیع می‌باشند سیستم‌های خیلی کوچکتری را در نظر می‌گیریم.

این مسئله تعجب برانگیز نیست که واحدهای توربین بادی کوچک هزینه آورده بالاتری برای هر کیلووات نسبت به سیستم‌های بزرگتر دارند. برای کاربری‌های خارج از شبکه مورد نظرمان بهتر است بر روی توربین‌های بادی کوچک (SWT^1) تمرکز می‌کنیم.

دامنه وسیعی از توربین‌های مقیاس کوچک وجود دارد، از میکروتوربین‌های بادی با توان نامی کمتر از ۱ کیلووات تا توربین‌های بادی متوسط که تا ۱۰۰ کیلووات می‌توانند قدرت داشته باشند. از این توربین‌ها معمولاً به عنوان سیستم‌های الکتریکی منفرد در نواحی خارج از شبکه توزیع استفاده می‌شود. واضح است که اگر ناحیه مورد نظر بادخیز نباشد، فاکتور بار کمتر بوده و هزینه آورده به ازای هر کیلووات بیشتر می‌شود. چالش دیگر، اغتشاش بادی توسط موانع پیرامون است. یک برج بلند، اغتشاش را کاهش می‌دهد ولی باعث افزایش هزینه می‌شود. به بیانی ساده‌تر، یک توربین با یک برج بزرگتر و متناسب با یک روتور بزرگتر نسبت به چند توربین

۱. Small Wind Turbines

کوچک‌تر که مجموع توان نامی آن‌ها با توربین بزرگ یکسان است، انرژی بیشتری تولید می‌کند. سرعت باد می‌تواند در تپه‌ها و در لبه‌های کوه‌ها بیشتر باشد. از سوی دیگر، چگالی هوا در ارتفاعات بالا پایین‌تر است. در شرایط آب و هوایی سرد و زمستان هوا چگال‌تر است، که انرژی بادی بیشتری را نتیجه می‌دهد.

یک مسئله مشکل ساز این است که سیستم‌های خورشیدی فوتولتاییک یک رقیب رو به رشد انرژی بادی هستند، زیرا قیمت سیستم‌های خورشیدی فوتولتاییک به طور شگفت‌انگیزی طی سال‌های اخیر افت کرده است. به عنوان مثال، پمپاژ آب به وسیله انرژی بادی تنها در شرایطی می‌تواند با پمپاژ آب به وسیله انرژی خورشیدی فوتولتاییک رقابت کند که سرعت باد بسیار بالا و میزان تابش خورشید بسیار پایین باشد (کامپانا و همکاران^۱، ۲۰۱۵). یافتن موثرترین راهکار برای ابیاری به محل مورد نظر بستگی دارد. دیگر عیب سیستم‌های بادی در مقایسه با سیستم‌های خورشیدی فوتولتاییک این است که ماشین‌آلات برج‌های بادی نیاز به تعمیر و نگهداری مرتب دارند، که با توجه به شرایط جنوب صحرای آفریقا، این کار می‌تواند مشکل‌آفرین باشد (وارادی و همکاران، ۲۰۱۸).

۲-۹ بازده انرژی بادی

سرعت باد در عرض چند دقیقه می‌تواند به میزان چشمگیری تغییر کند. بنابراین خروجی توربین‌های بادی متغیر است. همان‌گونه که قبل‌تر گفته شد، توان خروجی با افزایش سرعت باد افزایش می‌یابد و توان خروجی به صورت ثابتی بالاتر از سرعت نامی توربین است.

از آن جایی که توربین بادی نمی‌تواند به طور پیوسته در سرعت نامی خود کار کند، انرژی خروجی به صورت ضریب ظرفیت بیان می‌شود. یک توربین بادی که در خشکی قرار دارد معمولاً دارای ضریب ظرفیتی بالاتر از یک توربین ساحلی است. به عنوان مثال، توربین‌های ساحلی در انگلستان، ضریب ظرفیتی برابر با ۲۶٪ دارند، در

۱. Campana et al

حالی که ضریب ظرفیت توربین‌های واقع در خشکی برابر با ۳۵٪ می‌باشد (WEC، ۲۰۱۶، فصل دهم). در دانمارک، کشور پیشگام در انرژی بادی، طی دهه‌های ۱۹۸۰ و ۱۹۹۰، نیروگاه‌ها در ۲۰-۲۵٪ اوقات مشغول به تولید انرژی بوده‌اند. در سال ۲۰۱۷، پارک انرژی بادی Horns Rev ۱۶۰ مگاواتی (MWe) ۳۵۰۰ در ۴۰٪ اوقات فعال بود. امروزه بازه کاری رایج برای پارک‌های انرژی بادی واقع در خشکی ۳۵۰۰-۴۰۰۰ ساعت در سال معادل فعالیت در ۴۰-۴۶٪ اوقات می‌باشد.

امروزه پارک‌های انرژی بادی واقع در خشکی ظرفیتی در حدود ۵۰٪ دارند و احتمالاً هنگامی که توربین‌های ۱۰ مگاواتی نصب شوند ظرفیت آن‌ها به ۵۵-۶۰٪ افزایش می‌یابد. (Svensson, 2018)

ضریب ظرفیت نیروگاه‌های بادی ساحلی ۲۵٪ می‌باشد درحالی‌که ضریب ظرفیت نیروگاه‌های واقع در خشکی می‌تواند به ۵۰ درصد برسد.

واضح است که می‌توان متغیر بودن انرژی تولیدی حاصل از باد را با متصل کردن تعداد زیادی توربین به یکدیگر در یک شبکه بزرگ به حداقل رساند. وقتی تولید در یک ناحیه وسیع جغرافیایی به هم متصل است تغییرات محلی باد می‌توانند یکدیگر را جبران کنند. بنابراین متناوب بودن انرژی تولید شده توسط باد می‌تواند به میزان چشمگیری کاهش یابد. عبارتی، توربین‌های خارج از شبکه نسبت به تغییرات باد حساس‌تر هستند و توربین‌های بادی منفرد به نسبت یک مزرعه بادی با تغییرات بیشتری روبرو می‌شود.

انرژی بادی یک فن‌آوری بالغ است که دارای نرخ دسترسی بسیار بالایی می‌باشد. در دسترس بودن توربین نسبتی از زمان است که توربین آماده به کار می‌باشد. دسترسی به توربین‌های ساحلی معمولاً در حدود ۹۸٪ محاسبه شده است، در حالی که دسترسی محدودتری (۹۵-۹۸٪) می‌تواند به توربین‌های واقع در خشکی داشت. توربین‌های امروزی نزدیک به ۵۰٪ از انرژی موجود در باد را استخراج می‌کنند.

سیستم‌های خورشیدی فوتوولتاییک و بادی گاهی می‌توانند به عنوان مکمل یکدیگر محسوب شوند و در صورتی اتصال به یکدیگر، انرژی تولید شده دارای تناوب کمتری خواهد بود. می‌توان در یک روز ابری یا در شب که وزش باد ادامه دارد فقدان

انرژی خورشیدی جبران شود.

۳-۹ مطالعه بیشتر

WEC (2016)، در فصل ۱۰ خود معرفی که خواندن آن ساده می‌باشد را درباره انرژی بادی، و بانک جهانی^۱ (2017) اطلاعات مفصلی درباره دسترسی جهانی به انرژی بادی ارائه کرده است.

IRENA (2015c) گزارشی درباره کیفیت تکنولوژی توربین‌های بادی کوچک در اختیار گذاشته است که اهمیت کلیدی این کیفیت، محدود کردن هزینه‌ها در بازارهای در حال گسترش ولی در عین حال قابل اعتماد بودن و حفظ کیفیت سیستم‌ها می‌باشد.

علاقه‌مندان می‌توانند در این زمینه به کتاب منول^۲ و همکاران (۲۰۱۱) مراجعه نمایند. این کتاب مقدمه‌ای فوق‌العاده درباره سیستم‌های انرژی بادی است.

۱. World Bank

۲. Manwell

فصل



مدیریت تولید انرژی متغیر

"طبیعت را می‌توان ترکیب و تکراری بی‌پایان از چند قانون محدود تصور کرد که همان آواز قدیمی را در دستگاه‌های مختلف می‌خواند"

رالف والدو امرسون^۱، نویسنده، ۱۸۰۳-۱۸۸۲

بایستی در نظر داشته باشیم که بیشینه ظرفیت سیستم‌های خورشیدی فوتوولتاییک یا توربین‌های بادی (که به کیلووات یا مگاوات بیان می‌شود) به ندرت حاصل می‌شود. سیستم‌های خورشیدی فوتوولتاییک تنها زمانی که نور خورشید وجود داشته باشد می‌توانند انرژی تولید کنند، و توربین‌های بادی تنها زمانی می‌توانند انرژی تولید کنند که باد بوزد. از دیدگاه مصرف‌کننده، میزان انرژی که به او تحویل داده می‌شود (به کیلووات ساعت یا مگاوات در ساعت) و برای او قابل استفاده می‌باشد جالب توجه است. و به همین دلیل، مفهوم توان "واقعی" و تحویل انرژی یک مفهوم حیاتی می‌باشد. منابع انرژی خورشیدی فوتوولتاییک و انرژی بادی، سطح تولید متناوب و مقطعی دارند. تولید انرژی الکتریکی سیستم‌های فوتوولتاییک می

۱. Ralph Waldo Emerson

تواند به دلیل ابری شدن آسمان و کاهش تابش دریافتی خورشید در عرض چند ثانیه و سرعت باد نیز می‌تواند به طور چشمگیری در عرض تنها چند دقیقه تغییر کند.

برخلاف سیستم‌های رایج تولید انرژی مانند روش برق آبی، تولید انرژی از منابع تجدیدپذیر، قابلیت تغییر نسبت به تقاضا را ندارد. انرژی تحویلی از سوی نیروگاه‌های اتمی یا نیروگاه‌های ذغال سنگی گرمایی قابل پیش‌بینی است و توسط اپراتور سیستم تعیین می‌شود. در مقابل، تولید منابع انرژی‌های تجدیدپذیر به هیچ وجه ارتباطی با تقاضا ندارد.

۱۱۸. آب پاکیزه با استفاده از انرژی خورشیدی و باد: خارج از شبکه توزیع

برای تطبیق دادن تولید با مصرف، بایستی از یک نوع ذخیره‌ساز انرژی استفاده شود تا تفاوت‌های کوتاه‌مدت و بلندمدت میان تولید و مصرف جبران گردد. البته معمولاً زمان‌های اوج تولید انرژی خورشیدی و انرژی بادی با زمان‌های اوج مصرف پمپ‌ها و تصفیه آب مصادف می‌شود. اگر انرژی تولیدی بیش از حد نیاز باشد، همان‌طور که در بخش ۱-۱۰ راجع به آن بحث می‌کنیم می‌توان از این انرژی استفاده‌ای بهینه کرد، به عنوان مثال به صورت آب شیرین بافر. به هر حال، انرژی الکتریکی زمانی که سیستم‌های خورشیدی فوتوولتاییک و بادی نمی‌توانند نیاز ما به انرژی را تامین کنند نیز باید در دسترس باشد. بنابراین، نیازی ضروری به ظرفیت ذخیره انرژی الکتریکی وجود دارد. تکنولوژی‌های ذخیره‌سازی متنوعی به طور خلاصه در بخش ۲-۱۰ توصیف شده‌اند. رایج‌ترین روش ذخیره‌سازی، باتری‌ها هستند. بعضی از تکنولوژی‌های باتری‌ها در ۳-۱۰ شرح داده شده‌اند و پارامترهای مشخصه آن‌ها در بخش ۴-۱۰ ارائه شده است. ذخیره‌سازی هیدروژنی که در ۵-۱۰ به آن اشاره شده یکی دیگر از روش‌های ممکن است که پتانسیل بسیار زیادی برای ذخیره‌سازی بلندمدت انرژی را دارد. امکان سوم این است که از انرژی اضافی برای پمپ کردن آب به ارتفاعات بالا استفاده کنیم، مثل مخزن‌های پمپ شده هیدروالکتریک، که در ۶-۱۰ به آنها اشاره شده است. همیشه این امکان وجود دارد

که اگر سیستم‌های فوتوولتاییک و سیستم‌های بادی قادر به پاسخ‌گویی تقاضای انرژی و بار وارد بر سیستم نباشند، همانطور که در بخش ۷-۱۰ نیز توضیح داده شده، از آخرین گزینه، یعنی ژنراتورهای دیزلی رایج استفاده خواهیم نمود. هزینه ذخیره‌سازی انرژی، بالاترین اهمیت را دارد، که در بخش ۸-۱۰ راجع به آن بحث کرده‌ایم.

یک مسئله را باید به خاطر داشته باشیم: تولید منقطع و متغیر به منزله عدم قابلیت پیش‌بینی نیست. بسته به منابع اقتصادی در دسترس، می‌توان میزان تولید انرژی سیستم‌های خورشیدی فوتوولتاییک و همین‌طور میزان تولید سیستم‌های بادی مورد نیاز را برای حداقل ۲۴ ساعت آینده به طور دقیق پیش‌بینی نمود. علاوه بر این، باید در نظر داشت که تمامی سیستم‌های تولید انرژی دارای دوره خواب یا استراحت^۱ مشخصی هستند.

۱-۱۰ مشخصه‌های تولید مقطع

دو پارامتر اصلی وجود دارند که می‌توانند تولید متناوب انرژی از منابع تجدیدپذیر را مشخص و طبقه‌بندی کنند: عامل ظرفیت و مشخصه بار. هر دو دارای تأثیراتی بر عملیات‌های تامین آب هستند.

۱-۱-۱ ضریب ظرفیت

ضریب ظرفیت مقیاسی برای تعیین مقدار کل انرژی تولید شده از یک منبع خاص می‌باشد. متغیر بودن تابش خورشید و متغیر بودن وزش باد است که باعث می‌شوند نتوانیم همواره از حداکثر ظرفیت انرژی بادی و انرژی خورشیدی فوتوولتاییک استفاده کنیم.

ضریب ظرفیت خالص یگ نیروگاه به صورت نسبتی از خروجی واقعی آن در طول بازه‌ای از زمان نسبت به خروجی آن در صورت فعالیت پیوسته و با حداکثر ظرفیت

۱. عدم فعالیت جهت بهبود

نیروگاه بیان می‌شود. ضریب ظرفیت باد بین ۲۰ تا ۵۰ درصد متغیر است. بنابراین تراکم انرژی نیز به همین نسبت کاهش می‌باید. برای انرژی خورشیدی فوتولتاییک، ضریب ظرفیت به عرض جغرافیایی و الگوی آب و هوایی بستگی دارد. چند ضریب ظرفیت رایج عبارتند از: انگلستان ۹٪، ماساچوست آمریکا ۱۳-۱۵٪، پرتغال ۱۸٪ و آریزونا آمریکا ۱۹٪.

البته باید یاد آور شویم که ضریب ظرفیت برای سیستم‌های انرژی رایج نیز زیر ۱۰۰٪ است. برای برق آبی، میانگین جهانی ۴۴٪ است (کومار^۱ و همکاران، ۲۰۱۱، ص ۴۴۶) و بازه آن بین ۱۰-۹۹٪ بسته به طراحی و شرایط محلی تغییر می‌کند. میانگین قاره‌ها از ۳۲٪ برای استرالیا و اقیانوسیه تا ۵۴٪ برای آمریکای لاتین متغیر است. در ایالات متحده دوره خواب نیروگاه‌های گرمایی ذغال سنگی حدود ۱۲٪ و نیروگاه‌های هسته‌ای، ۱۰٪ می‌باشد.

از میان سه روش ایجاد توازن میان عرضه و تقاضای الکتریسیته، ذخیره‌سازی انرژی بیشترین توجه را به خود جلب می‌کند و بیشتر این توجهات بر روی باتری‌ها متمرکز است. بازار خودروهای الکتریکی منجر به افزایش بهره‌وری سیستم‌هایی که با باتری کار می‌کنند شده است، و انتظار می‌رود که این روند ادامه نیز داشته باشد. توجه به استفاده از هیدروژن برای ذخیره‌سازی انرژی رو به رشد است، که این امر می‌تواند برای سیستم‌های انرژی تجدیدپذیر بسیار مفید باشد. به استفاده از باتری‌ها برای ذخیره انرژی در بخش‌های ۳-۱۰ و ۴-۱۰ و ذخیره‌سازی هیدروژن در بخش ۵-۱۰ اشاره شده است.

مقدار فضای ذخیره‌سازی مورد نیاز و هزینه‌های ضروری آن همچنان مسائل مبهمی هستند. ذخیره‌سازی انرژی به مشخصات بار هر یک از کاربری‌ها و نیازهای مصرف‌کننده بستگی دارد.

۲-۱-۱۰ پروفایل بار

مقرون به صرفه‌ترین راه برای استفاده از انرژی‌های تجدیدپذیر، چه انرژی خورشیدی و چه انرژی بادی، این است که توان را مستقیماً به بار وارد کنیم. به خاطر طبیعت منقطع تولید (انرژی)، این روند همیشه با پروفایل بار همخوانی ندارد. تامین نور بهترین مثال عدم همخوانی بین تولید و بار می‌باشد، بار درهنگامی که تولید حاصل از سیستم‌های خورشیدی فوتولتاییک در دسترس نباشد روشن می‌شود. برخلاف آن، خنک کاری؛ نمونه‌ای بارز از باری است که به دسترسی به منابع خورشیدی وابسته است: هر چقدر تابش خورشید بیشتر باشد هوا نیز گرم‌تر است و تقاضای بیشتری برای خنک‌سازی بیشتر وجود دارد. بارهای تجاری و خانگی مانند ساعات کاری و زمان‌های آماده‌سازی وعده‌های غذایی معمولاً از یک زمان‌بندی دقیق پیروی می‌کنند.

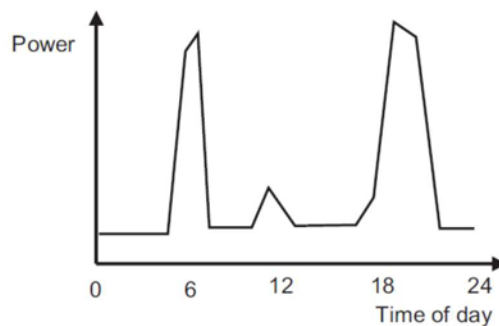
واضح است که به نوعی منبع ذخیره انرژی نیاز است تا عدم همخوانی بین تولید و مصرف جبران شود. همواره تحویل انرژی از طریق منبع ذخیره ساز بازده سیستم را کاهش می‌دهد. طبیعتاً منبع ذخیره به هزینه‌های سیستم نیز می‌افزاید.

به منبع ذخیره‌کننده انرژی برای جبران عدم همخوانی میان تولید و مصرف نیاز است.

یک بار ثابت در طول زمان را می‌توان ساده‌ترین پروفایل آن خواند. اگر چه، بیشتر پروفایل‌های بار از الگوی زندگی روزانه پیروی می‌کنند. برای تخمین پروفایل بار، چند عامل بایستی در نظر گرفته شود:

- روز از هفته
- ساعت از شبانه روز دمای محیط خارجی
- فصل
- تقاضا برای خدمات

زمانی که پروفایل بار در مقیاس یک خانوار یا یک روستای واقع در حاشیه یک شهر در آفریقا یا آسیای در حال توسعه در نظر گرفته شود، نیازهای خاصی را می توان دریافت. شکل ۱-۱۰ نمونه ای از پروفایل بار یک خانوار ساکن در حاشیه یک شهر را نشان می دهد. پروفایل های بار مشابهی از اوگاندا و زیمباوه توسط پینسلو^۱ و همکاران (۲۰۱۶) منتشر شده اند. توجه داشته باشید که اوج مصرف صبحگاهی حدوداً در زمان طلوع خورشید است و اوج مصرف عصرگاهی نیز بعد از غروب خورشید می باشد.



{شکل ۱-۱۰}

شکل ۱-۱۰: پروفایل بار یک خانوار نوعی ساکن در حومه شهر برگرفته از IEA (۲۰۱۳) و پینسلو و همکاران (۲۰۱۶).

۱۲۱. مدیریت تولید متغیر

نهادهایی مانند مدرسه ها، مراکز پزشکی و یا کانون های اجتماعی پروفایل بار متفاوتی دارند، چرا که بیشتر فعالیت های آنها در طول ساعات کاری و معمولاً در روز، انجام می شود. از آن جایی که بیشترین نیاز به انرژی در طول ساعاتی که خورشید در آسمان است اتفاق می افتد، قسمت عمده ای از الکتریسیته تولید شده از

۱. Prinsloo

سیستم‌های فوتوولتائیک می‌تواند به محض تولید مورد استفاده قرار گیرد. اوج بار و درخواست روزانه برای انرژی ممکن است با تغییرات نیاز یکی از کاربران این سیستم به طور چشمگیری تغییر کند. نیازها می‌تواند متفاوت بوده و شامل، روشن نگه داشتن یخچال‌ها برای خنک نگه داشتن داروها در یک مرکز پزشکی یا شارژ کردن باتری‌ها و موبایل‌ها برای روستاییان در یک کانون اجتماعات شود.

تعدادی پروفایل بار از چند مشتری مختلف یک شبکه توزیع کوچک در تانزانیا توسط هارتوایسون و آهلگرن^۱ (۲۰۱۸) معرفی شده است. این محققین در ابتدا پروفایل‌های بار را بر اساس مصاحبه تخمین زده بودند، ولی بعداً اندازه‌گیری پروفایل‌های بار حاکی از رفتاری کاملاً متفاوت بود. پروفایل‌های بار تخمین زده شده و محاسبه شده در طول روز برای یک خانوار و سه کارگاه کوچک که دارای ماشین آلاتی بودند ارائه شده‌اند. همچنین نویسندگان به نیاز به داده‌های بیشتر پیرامون پروفایل‌های بار در نواحی حومه‌ای تاکید دارند.

داشتن شناخت از پروفایل بار برای پی بردن به نیاز برای منبع ذخیره‌کننده انرژی حیاتی است.

الکتریسیته حاصل از انرژی‌های تجدیدپذیر اصولاً برای گرمایش استفاده نمی‌شود چرا که نواحی مورد بحث، کشورهای نسبتاً گرمی هستند. با این حال، در نواحی روستایی در آسیا نیاز به گرمایش برای دوره‌های قابل توجهی از سال وجود دارد. پروفایل بار پمپاژ آب و شست‌وشو با آب می‌تواند با انرژی الکتریکی در دسترس تطابق یابد. می‌توان از پمپاژ آب به عنوان یک فعالیت متعادل‌کننده استفاده کرد. هنگامی که انرژی به اندازه کافی در دسترس نیست می‌توان پمپ‌ها را خاموش کرد و هنگامی که ظرفیت انرژی از نیاز بیشتر شود می‌توان از پمپاژ برای ذخیره انرژی از

۱. Hartvigson and Ahlgren

مخازنی که در ارتفاع نصب شده‌اند استفاده نمود. تصفیه منابع آبی نیز می‌تواند به طور متناوب از طریق نمک‌زدایی یا ضدعفونی کردن انجام شود. البته که این امر نیاز به مخزن آب برای آب تصفیه شده و همینطور برای آب تصفیه نشده دارد.

۱۲۲. آب پاکیزه با استفاده از انرژی خورشیدی و باد: خارج از شبکه توزیع

۳-۱-۱۰ نمک‌زدایی منقطع

جهت استفاده منقطع از یک تاسیسات تصفیه آب و یا تامین حداقل میزان آب مورد نیاز، تاسیسات کوچکتری از تاسیسات تصفیه‌خانه‌هایی با کاربرد دائمی نیاز می‌باشد. چالش دیگر این است که طول عمر عملیاتی و ضریب اطمینان غشاها با استفاده منقطع و فشار متغیر تحت تاثیر قرار می‌گیرد (لینهارد^۱ و همکاران، ۲۰۱۶). منبع نیروی منقطع جهت نمک‌زدایی باعث صدمه دیدن تاسیسات می‌شود. غشاهای موجود در یک تاسیسات اسمز معکوس، حساس‌ترین قسمت آن سیستم هستند. آن‌ها به گونه‌ای طراحی شده‌اند تا فشاری ثابت بر روی آن‌ها باشد تا بتوانند طول عمر بالایی داشته باشند، ولی با فشار متغیر، عمر عملیاتی آن‌ها ممکن است از ۸ سال (در تاسیساتی با کاربرد مطلوب) به دو سال کاهش یابد. لازم است تا تحقیقاتی جهت بررسی و درک پدیده‌ای که درون غشاهای اسمز معکوس هنگامی که تحت فشار متغیر و منقطع به کار گرفته می‌شوند، صورت پذیرد.

از مشکلات دیگری که در به کار گرفتن گذرای سیستم‌های نمک‌زدایی مشاهده شده است، می‌توان به ریسک پوسته پوسته و مسدود شدن غشاها با مواد زیستی، ارگانیک و معدنی غشاها که به صورت کلی مسدودیت غشا نام دارند اشاره کرد. افزایش مسدودیت همچنین نیاز به شست و شو و پاک‌سازی غشاها را افزایش می‌دهد و حتی شاید نیاز به تعویض سریع‌تر غشاها باشد. (لینهارت و همکاران، ۲۰۱۶،

۱. Lienhard

فصل ۲)

منبع انرژی منقطع برای نمک‌زدایی عمر عملیاتی قطعات را کاهش می‌دهد.

یک تاسیسات آب شیرین کنی که به میزان تولید خاصی در طول ۲۴ ساعت نیاز دارد، بایستی قادر به تامین ۲۴ ساعته انرژی نیز باشد، ولی انرژی حاصل از سیستم‌های خورشیدی فوتوولتاییک تنها برای حدود ۸ ساعت در دسترس است. بنابراین، انرژی حاصل از سیستم خورشیدی فوتوولتاییک می‌بایست حداقل سه برابر نیروگاهی باشد که ۲۴ ساعته فعالیت و انرژی تولید می‌کند.

برای تولید میزان خاصی از انرژی، یک سیستم خورشیدی فوتوولتاییک که ۸ ساعت در روز کار می‌کند می‌بایست توانی نامی به اندازه ۳ برابر بیشتر از سیستمی که ۲۴ ساعته کار می‌کند، داشته باشد.

۱۲۳. مدیریت تولید منقطع

۲-۱۰ ذخیره‌سازی انرژی

یک سیستم خورشیدی فوتوولتاییک این محدودیت را دارد که تنها در ساعاتی که خورشید در آسمان می‌تابد کار کند مگر این که با یک سیستم ذخیره‌سازی انرژی تلفیق شود. یک سیستم خورشید گرمایی با یک واسطه برای ذخیره گرما می‌تواند در طول روز به فعالیت خود ادامه دهد. همانطور که در فصل ۶ توضیح داده شد، می‌توان گرمای اضافی را در طول روز ذخیره کرد.

معمولا یک سیستم خورشیدی فوتوولتاییک و باد می‌توانند مکمل یکدیگر باشند تا منبع انرژی قابل اطمینانی را شکل دهند (وینر^۱ و همکاران، ۲۰۰۱). با کمک داده‌های جوی، می‌توان بر طرف شدن نیاز به انرژی توسط مجموع انرژی‌های خورشیدی و بادی را تعیین نمود.

۱. Weiner

در هر تولید منقطع، بایستی نیاز به ظرفیت ذخیره‌سازی به فوبی بررسی شود.

ترکیب انرژی خورشیدی، باد و باتری‌های ذخیره‌سازی معمولاً برای مناطق فقیری که می‌توان نیازهای اولیه آن‌ها به انرژی را با روش‌هایی که کمتر بلندپروازانه هستند تامین کرد، بسیار گران قیمت است.

۱-۲-۱۰ نیازمندی‌های ذخیره‌سازی در کشورهای کم درآمد در مقایسه با کشورهای پردرآمد

به نظر می‌رسد که اولویت‌های مربوط به منابع انرژی متغیر در مناطق پردرآمد در مقایسه با مناطق کم درآمد به شدت متفاوت هستند. در حالت قبلی، در دسترس بودن نیرو به صورت ۲۴ ساعته مورد تاکید بوده است، حتی اگر این امر همراه با هزینه‌های بالایی برای کنترل و ذخیره‌سازی باشد. برای مصرف‌کننده در یک کشور کم‌درآمد، این که انرژی ۲۴ ساعته در دسترس او نباشد قابل تحمل‌تر است، به خصوص برای مردمی که قبلاً به انرژی الکتریکی دسترسی نداشته‌اند.

۱-۲-۲ تکنولوژی‌های ذخیره‌سازی

هیچ روش جامعی برای تامین نیاز به ذخیره‌سازی انرژی وجود ندارد. بلکه چندین تکنولوژی مختلف وجود دارد و نوع نیاز، علاوه بر اقتصاد تعیین می‌کند که چه نوع از تکنولوژی مورد استفاده قرار گیرد.

بسته به مقیاس زمانی بایستی از فن‌آوری‌های متناسب استفاده نمود:

مقیاس زمانی چند دقیقه تا کمتر از یک ساعت: هدف دستگاه ذخیره ساز حفظ استمرار تحویل انرژی از سیستم خورشیدی و باد است. همچنین، تغییرات کوچک در مصرف نیز می‌توانند جبران شوند.

۱۲۴. آب پاکیزه با استفاده از انرژی خورشیدی و باد: خارج از شبکه توزیع

تغییرات روزانه: انرژی خورشیدی به صورت روزانه تغییر می‌کند، پس زمان چرخه یک روز می‌باشد. برای جبران کامل تغییرات در این مقیاس زمانی، ظرفیت ذخیره‌کننده تثبیت‌گر می‌بایست چند کیلووات در ساعت به ازای هر کیلووات ظرفیت انرژی تجدیدپذیر باشد.

دوره‌های همزمانی هوای نامساعد: این بازه‌ای است که در آن آسمان ابری و تیره است و به سختی بادی می‌وزد. ذخیره کردن ظرفیت در چنین بازه‌ای طبیعتاً چالش‌برانگیزتر از ذخیره هنگام تغییرات روزانه است. تامین مالی چنین محفظه ذخیره‌سازی ممکن است در نواحی کم درآمد واقع بینانه نباشد.

تغییرات فصلی: در یک ناحیه دارای آب و هوای سرد، اختلاف دمای زیادی بین فصل‌های گرم و فصل‌های سرد وجود دارد. بنابراین، نیاز به ذخیره انرژی در زمستان بسیار بالا می‌باشد. از سوی دیگر، اختلاف بین گرم‌ترین و سردترین ماه در یک کشور استوایی یا شبه استوایی بسیار کمتر است. بنابراین، نیاز به ذخیره انرژی برای سردترین ماه آنقدر بالا نیست.

مهم‌ترین تکنولوژی‌های ذخیره‌سازی در ادامه ذکر شده‌اند. آن‌ها برای مقیاس‌های مختلف زمانی و انرژی مناسب هستند ولی همه آن‌ها با یک بودجه اندک سازگار نیستند.

باتری‌ها: برای تغییرات و ناپایداری‌های کوتاه مدت به طور رایج از باتری‌ها استفاده می‌شود. باتری‌های سرب-اسیدی خودروها طی دهه‌های زیادی به عنوان جایگزین با دوامی در کشورهای کم درآمد استفاده شده‌اند. با این حال، پیش نیازهای یک باتری برای یک سیستم انرژی تجدیدپذیر نسبت به یک ماشین متفاوت هستند. فرآیند ذخیره‌سازی به وسیله باتری در بخش‌های ۳-۱۰ و ۴-۱۰ شرح داده شده است. خالی شدن باتری‌ها چند ساعت زمان می‌برد.

فلایویل‌ها: انرژی الکتریکی می‌تواند در یک ذخیره‌ساز چرخ طیار ذخیره شود. به عبارت دیگر، انرژی الکتریکی به انرژی جنبشی تبدیل می‌شود، که از حرکت یک جسم در حال دوران، یا یک روتور حاصل می‌شود. بیشتر سیستم‌های ذخیره‌ساز انرژی به وسیله فلایویل‌های مدرن با سرعت بالا دارای یک سیلندر چرخان هستند

که توسط برینگ‌های مغناطیسی حمایت می‌شوند^۱. فعالیت فلاپیل‌ها در خلا اتفاق می‌افتد تا نیروی اصطکاک به حداقل برسد. یک واحد موتورمولد، انرژی الکتریکی را به حرکت چرخشی تبدیل می‌کند؛ و برای استفاده از انرژی جنبشی ذخیره شده، واحد موتور-ژنراتور در جهت عکس به کار گرفته می‌شود تا انرژی الکتریکی حاصل شود. ذخیره‌سازهای چرخ طیار در صنایع هوا فضا و ارتباطات رایج است. مقیاس زمانی رایج برای تخلیه (انرژی) آن‌ها در بازه زمانی چند ثانیه تا چند دقیقه می‌باشد. **هوای فشرده:** یک سیستم هوای فشرده از انرژی الکتریکی مازاد استفاده می‌کند تا هوای محیط را فشرده و آن را در یک محفظه تحت فشار و یا محفظه‌ای در زیر زمین ذخیره کند.

۱۲۵. مدیریت تولید متغیر

هنگامی که به الکتریسیته نیاز باشد، حرارت هوای فشرده افزایش یافته و توربینی که به یک ژنراتور برای تولید انرژی متصل شده باشد شروع به چرخش می‌کند. تخلیه انرژی ممکن است چند ساعت طول بکشد، ولی بازده این روش بسیار پایین است.

محفظه پمپاژ شده: استفاده از توان اضافی برای ذخیره آب در یک مخزن که در ارتفاع نصب شده است. از محفظه پمپاژ شده می‌توان در هر مقیاسی استفاده کرد، از سطح یک خانوار گرفته تا سطح مقیاس کلان و همگانی. زمان تخلیه معمولاً بین چند ساعت تا یک روز می‌باشد.

هیدروژن: انرژی الکتریکی را می‌توان با الکترولیز به هیدروژن تبدیل و هیدروژن ذخیره شده را می‌توان مجدداً به الکتریسیته تبدیل کرد، ولی بازده این فرآیند در مجموع بسیار پایین و بین ۳۰٪-۵۰٪ است. اهمیت نقش ذخیره هیدروژن می‌تواند روز به روز افزایش یابد. از آن‌جا که چگالی انرژی هیدروژن از اکثر دیگر تکنولوژی‌های ذخیره‌سازی بالاتر است. با این حال، تکنولوژی هیدروژن احتمالاً برای

۱. Ball bearing: برینگی که با گوی‌های فلزی کار میکند

Magnetic bearing: برینگی که با نیروی مغناطیسی کار میکند

برینگ‌ها دارای حرکت و چرخشی روان هستند

موارد نصب کم‌هزینه مناسب نیست.

ژنراتورهای دیزلی: برای مدیریت طولانی مدت‌تر ذخیره‌سازی همچنان نیز احتمال استفاده از ژنراتورهای دیزلی رایج در برخی نواحی وجود دارد. در حال حاضر، تکنولوژی‌های ذخیره‌سازی در مراحل مختلف توسعه می‌یابند. بعضی از آن‌ها مانند نیروی سیال پمپاژ شده بالغ هستند و اثرشان در طول زمان ثابت شده است. استفاده از فلاپویل‌ها نیز هر روز در موارد خاصی رواج بیشتری می‌یابد. تکنولوژی باتری طی دهه‌هایی متمادی توسعه یافته است و باتری‌های سرب اسیدی امروزه در همه جا کاربرد دارند. با رشد و گسترش ماشین‌آلات برقی، فن‌آوری‌های دیگری نیز در زمینه باتری با روند سریعی در حال توسعه هستند. برای روشنایی و عملیات‌های پاکسازی آب ما تکنولوژی‌های ذخیره‌سازی جایگزین زیر را در نظر می‌گیریم:

- باتری‌ها
- هیدروژن،
- ذخیره‌سازی پمپاژ شده، و
- ژنراتورهای دیزلی سنتی

۳-۱۰ ذخیره‌سازی به وسیله باتری

در طول چند سال گذشته، در سرتاسر جهان، ذخیره‌سازی به وسیله باتری برای کاربری‌های مقیاس کوچک و همچنین برای کاربری‌های مقیاس بزرگ رشد سریعی داشته است. ظرفیت ذخیره‌سازی توسط باتری‌های ثابت متصل به شبکه توزیع از ۳۴۵ مگاوات در سال ۲۰۱۰ به ۶۲۰ مگاوات در سال ۲۰۱۳ و به ۱۷۱۹ مگاوات در سال ۲۰۱۶ رسیده است. در سال ۲۰۱۶، ظرفیت باتری در سطح جهان ۵۰٪ رشد را تجربه نمود (REN21, 2017a).

۱۲۶. آب پاکیزه با استفاده از انرژی خورشیدی و باد: خارج از شبکه توزیع

این توسعه سریع باتری‌ها، به همراه سیستم‌های خورشیدی فوتوولتاییک کم هزینه، از دید بسیاری از متخصصین، یک تکنولوژی ساختار شکن است و می‌تواند به طور چشمگیری آینده بازارهای انرژی را تغییر دهد.

تعداد خودروهای الکتریکی رو به افزایش است و در نتیجه شرکت‌های اتومبیل‌سازی تحقیق و توسعه درباره ذخیره‌سازهای انرژی را گسترش می‌دهند. شرکت تسلا، باتری‌های Powerwall را منتشر کرده است و کمپانی‌هایی مانند مرسدس بنز و BMW نیز مشغول بازاریابی برای باتری‌های خودکفا هستند. این توسعه‌های امیدبخش، تاثیر مثبتی بر بازار انرژی خورشیدی خواهند داشت.

هیچ باتری، حتی باتری‌هایی که از نظر شیمیایی شبیه هستند به طور یکسانی ساخته نمی‌شود. باتری‌ها به نحوی طراحی می‌شوند که یا پرتوان و یا پرنرژی باشند و معمولاً به این طریق یا روش‌های دیگری طبقه‌بندی می‌شوند. ما بر سه دسته از باتری‌ها تمرکز می‌کنیم: سربی اسیدی، لیتیومی و آب شوری.

باتری‌های لیتیومی، طولانی‌ترین طول عمر را دارند، عمر باتری‌های آب شور نسبت به باتری‌های لیتیومی کوتاه‌تر و باتری‌های سرب اسیدی در این میان، کوتاه‌ترین طول عمر را دارند.

باتری‌ها معمولاً طبق چگالی انرژی‌شان (کیلوولت ساعت بر لیتر باتری) یا مجموع وزنشان ارزیابی می‌شوند. این امر در تاثیر وزن باتری بر حمل و نقل دستگاه و بسیاری از محصولات مصرفی مانند تلفن‌های موبایل اهمیت دارد. با در نظر داشتن این شاخص، باتری‌های لیتیومی تاکنون موفق‌ترین نوع باتری بوده‌اند. با این حال، قیمت آن‌ها نسبتاً بالا است. یک باتری ثابت را می‌توان از طریق دیگری ارزیابی نمود. در این باتری‌ها، پایین بودن چگالی انرژی به منزله موفق نبودن باتری نیست. وزن کلی باتری نقش مهمی را ایفا نمی‌کند که این را می‌توان از خواص دیگر آنها دانست. در نتیجه این خاصیت، توجه زیادی به باتری‌های جریانی و باتری‌های آب شوری معطوف می‌شود.

باتری‌های ساکن را باید به طور متفاوتی نسبت به باتری‌های قابل ممل و نقل (رزیابی) نمود.

ارزان‌ترین و رایج‌ترین باتری، یک باتری استاندارد خودرو از نوع سرب اسیدی می‌باشد. این باتری‌ها یک تکنولوژی ثابت شده هستند که دهه‌ها است در سیستم‌های خارج از شبکه توزیع مورد استفاده هستند. احتمالاً این باتری‌ها ارزان‌ترین جایگزین در دسترس برای خانه‌ها هستند. یکی از معایب باتری‌های دیپ سایکل^۱ سرب اسیدی طول عمر کوتاه مورد انتظار از آن‌هاست.

۱۲۷. مدیریت تولید متغیر

طول عمر باتری‌های سربی اسیدی حتی اگر به دقت مدیریت شوند می‌تواند تنها سه سال باشد، که این طول عمر بسیار کوتاه‌تر از طول عمر دیگر اجزا در یک سیستم انرژی است. اگر ظرفیت تخلیه به ۲۰٪ محدود شود، عمر این باتری‌ها می‌تواند تا ۵ سال نیز باشد.

سه نوع اصلی باتری‌های سربی اسیدی وجود دارد: معمولی (جریانی)، AGM^۲ یا جذبی و ژله‌ای. در یک باتری سرب اسیدی معمولی الکترولیت به صورت مایع می‌باشد (سولفوریک اسید رقیق شده در آب) در حالی که در انواع جذبی و ژله‌ای الکترولیت نمی‌تواند جریان یابد. بایستی از مایع درون باتری‌های اسیدی معمولی نگهداری شود، در حالی که دو نوع دیگر نیازی به نگهداری ندارند. همچنین از انواع ژله‌ای و جذبی می‌توان در هر جهت و حالتی استفاده کرد.

باتری‌های سنتی سرب اسیدی ماشین معمولاً بهترین گزینه برای ذخیره انرژی خورشیدی محسوب نمی‌شوند. متأسفانه، باتری‌های سربی اسیدی بیشتر در

۱. چرخه عمیق: دارای قابلیت شارژ و دشارژ به طور کامل

۲. Absorbent glass mat

کشورهای در حال توسعه رواج دارند، چرا که ارزان هستند و به راحتی می‌توان به آنها دسترسی داشت. باتری ماشین به گونه‌ای طراحی شده است تا جریانی بالا را در بازه زمانی کوتاهی تولید کند تا انرژی مورد نیاز استارت موتور یک خودرو تامین گردد، ولی در مقابل، باتریهای رایجی که نیروی خود را از انرژی خورشیدی تامین می‌کنند، معمولاً به جریانی پایین در طول یک بازه زمانی طولانی احتیاج دارند. مشکلی متوجه، خواص شیمیایی باتری نیست؛ بلکه طراحی آن است. اگر بیش از ۵۰ درصد ظرفیت یک باتری سنتی در یک دستگاه تخلیه شود، دوام آن باتری به شدت کاهش می‌یابد. باتری‌های دیپ سایکل برای مصارف انرژی خورشیدی بهتر هستند، چرا که آنها از الکترودهای بزرگتری نسبت به باتری‌های ماشین‌ها برخوردارند.

باتری‌های سربی اسیدی سنتی معمولاً بهترین گزینه برای ذخیره‌سازی انرژی سنتی نیستند.

حالت دیپ سایکل هر سه نوع باتری‌های سربی اسیدی در دسترس قرار دارد. یک باتری سربی اسیدی سنتی دارای قیمتی در حدود ۷۰ تا ۸۰ دلار آمریکا به ازای هر کیلووات ساعت است در حالی که باتری‌های سربی اسیدی جذبی و ژله‌ای هزینه بالاتری، در حدود ۲۶۰ تا ۳۳۰ دلار آمریکا به ازای هر کیلووات ساعت دارند. در نگاه اول ممکن است استفاده از باتری‌های ماشین برای ذخیره‌سازی انرژی تولید شده از خورشید در مقایسه با دیگر گزینه‌ها جالب‌تر و جذاب‌تر باشد. ولی اشتباه بودن انتخاب باتری‌های سربی اسیدی سنتی در طولانی مدت اثبات می‌شود.

۲-۳-۱۰ باتری‌های لیتیومی

باتری‌های لیتیومی در گوشی‌های همراه استفاده می‌شوند. این باتری‌های از نوعی ترکیب شیمیایی لیتیوم بهره می‌برند. باتری‌های لیتیومی از باتری‌های سرب اسیدی سبک‌تر و جمع و جورتر هستند و دارای قابلیت تخلیه بالاتر، تنومندتر و دارای

عمری طولانی تر هستند. باتری‌های لیتیومی هزینه بالاتری دارند؛ هرچند این قیمت از سال ۲۰۱۰ تا به امسال سالانه ۲۰٪ کاهش داشته است. لیتیوم منبع محدودکننده کلیدی برای اکثر باتری‌ها می‌باشد. بزرگترین ذخایر لیتیوم با اختلاف زیاد در شیلی، سپس در چین، آرژانتین و استرالیا یافت می‌شوند.

۱۲۸. آب پاکیزه با استفاده از انرژی خورشیدی و باد: خارج از شبکه توزیع

نسبت به باتری‌های سرب اسیدی، باتری‌های لیتیومی سبک‌تر، تنومندتر و جمع و جورتر هستند. می‌توان آن‌ها را بیشتر تخلیه کرد، عمر طولانی‌تری دارند، و گران قیمت‌تر هستند.

دو نوع اصلی باتری‌های لیتیومی که در کاربری‌های خورشیدی استفاده می‌شوند باتری‌های لیتیوم کبالت اکسید و لیتیوم آهن فسفات هستند. امروزه ارزان‌ترین باتری لیتیومی Tesla Powerwall می‌باشد، که قیمت آن به ازای هر کیلووات در ساعت حدوداً ۵۰۰ دلار آمریکا است. کیتنر^۱ و همکاران (۲۰۱۷) توضیح می‌دهند که سرمایه‌گذاری‌هایی که در تحقیق و توسعه پروژه‌های ذخیره انرژی صورت گرفته است به طور چشمگیری می‌تواند قیمت هر کیلووات در ساعت باتری‌های لیتیومی را از سطح ۱۰۰۰۰ دلار آمریکا به حتی سطح ۱۰۰ دلار آمریکا برساند. به عبارتی دیگر، هزینه‌های ذخیره‌سازی هر روز سریع‌تر از هزینه‌های تکنولوژی‌های خورشیدی فوتوولتایک یا تکنولوژی‌های بادی سقوط می‌کنند.

۳-۳-۱۰ باتری‌های آب شور

باتری‌های آب شور نوع جدیدی از باتری‌ها هستند که هنوز در فاز توسعه قرار دارند. باتری‌های آب شور یا سدین یون خواص جذابی دارند. آن‌ها حاوی هیچ فلز سنگینی نیستند و به جای آن از الکترولیت‌های آب شور استفاده می‌کنند، که شامل سولفات در یک محلول دارای آب می‌باشند. به عبارتی، برخلاف باتری‌های لیتیومی و

۱. Kittner

سربی اسیدی، باتری‌های آب شور را می‌توان به راحتی بازیافت نمود. امروزه چینش باتری‌های ۲۴ یا ۴۸ ولتی با جریان نامی ۸۲ آمپر ساعت (توضیحات در ادامه) و ظرفیت انرژی بالاتر از ۲ کیلووات در ساعت را می‌توان یافت. یکی از ویژگی‌های جالب این استک باتری‌ها این است که حتی اگر میزان خالی بودن و ولتاژ هیچ کدام از استک باتری‌ها یکسان نباشد، می‌توان آن‌ها را به صورت موازی به یکدیگر متصل کرد. انجام آن با باتری‌های سربی اسیدی غیرممکن است.

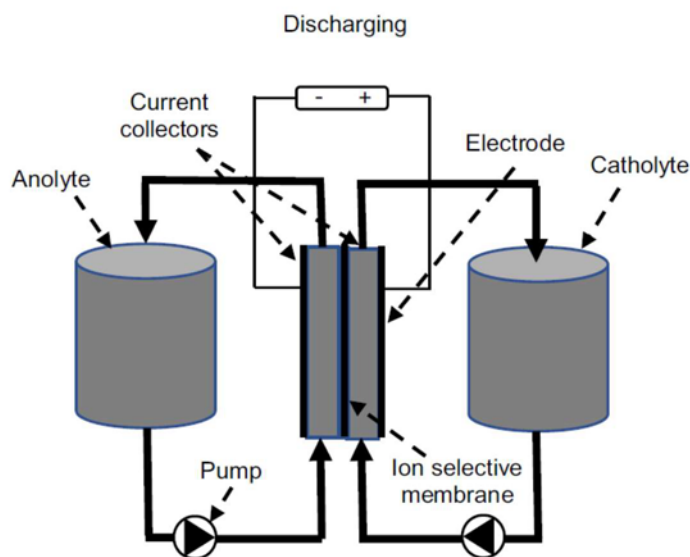
باتری‌های آب شور نه تنها از دید عملکردیشان بلکه به خاطر قیمتشان نیز جذاب هستند. این نوع باتری نیاز به نگهداری ندارد؛ حتی تخلیه آن‌ها به صورت کامل نیز تاثیر زیادی بر عملکردشان نمی‌گذارد. قیمت آن‌ها در حدود ۴۰۰ تا ۵۰۰ دلار آمریکا به ازای هر کیلووات در ساعت است. یک باتری آب شور می‌تواند ظرفیتی به اندازه ۳۵۰۰ سیکل (شارژ و تخلیه) تا ظرفیت تخلیه ۹۰٪ انرژی ذخیره شده را داشته باشد که باعث می‌شود عمر عملیاتی این باتری‌ها به ۱۰ سال نیز برسد.

۱۲۹. مدیریت تولید متغیر

یکی از معایب باتری‌های آب شور این است که کمی سنگین‌تر از باتری‌های سرب اسیدی هستند. عیب دیگر آن‌ها این است که باید آن‌ها را نسبت به دیگر انواع باتری آهسته‌تر شارژ و تخلیه کرد. زمان شارژ معمولاً حدود ۱۰ ساعت است و حدوداً ۲۰ ساعت طول می‌کشد تا باتری تخلیه شود، زیرا جریان آن نباید از ۱۴ آمپر بالاتر رود. دمای باتری آب شور نباید از ۴۰ درجه سلسیوس بیشتر شود، که این مسئله می‌تواند در نواحی استوایی مشکل‌زا باشد. امروزه نیز باتری‌های آب شور به صورت بسیار محدودی تولید می‌شود، پس با افزایش رقابت و صرفه اقتصادی وابسته به مقیاس ممکن است این باتری‌ها از نظر اقتصادی جالب توجه‌تر شوند.

۴-۳-۱۰ باتری‌های جریانی

یک باتری جریانی، که به آن جریانی ریداکسی^۱ نیز می‌گویند یک باتری از نوع پیل (سلول) الکتروشیمیایی است. دو ماده شیمیایی در مایعاتی حل، در سیستم محصور، و توسط یک غشا از یکدیگر جدا شده‌اند. این مواد شیمیایی قادر به فراهم کردن انرژی شیمیایی هستند که از طریق غشا به انرژی الکتریکی تبدیل می‌شود. درون غشا، تبادل یونی اتفاق می‌افتد، در حالی که هر دو مایع در حجم مخصوص به خودشان گردش می‌کنند. تبادل یون منجر به ایجاد جریان الکتریکی شده و ولتاژ پیل معمولاً به ۱ تا ۲٫۲ ولت می‌رسد.



{شکل ۲-۱۰: عبارات داخل شکل: Discharging: تخلیه Current collectors: کالکتور {جمع‌کننده} های جریان Electrode: الکترود Pump: پمپ Ion Selective membrane: غشای یون‌گزین Anolyte: آنولیت، محلول آندی یا آند محلول Catholyte: کاتولیت، محلول کاتدی یا کاتد محلول}

۱. Reduction+oxidation:redox (اکسایش و کاهش)

شکل ۲-۱۰: اصول یک باتری جریان ریداکس. اصلاح شده از اکhil^۱ و همکاران (۲۰۱۳).

۱۳۰. آب پاکیزه با استفاده از انرژی خورشیدی و باد: خارج از شبکه توزیع

این باتری می‌تواند به عنوان یک باتری قابل شارژ نیز ایفای نقش کند، که در این حالت، یک منبع انرژی الکتریکی تجدید سوخت را پیش می‌برد. یکی از بزرگترین مزایای باتری‌های جریانی این است که تقریباً به طور ناگهانی می‌توان آن‌ها را با تعویض محلول الکترولیت شارژ کرد. ظرفیت انرژی این باتری‌ها تابعی است از میزان محلول الکترولیت و توان آن‌ها نیز تابعی است از مساحت سطح الکترودها.

تفاوت اساسی بین باتری‌های سنتی و باتری‌های جریانی این است که در باتری‌های سنتی، انرژی در ماده الکترود ذخیره می‌شود، در حالی که در باتری‌های جریانی، انرژی در الکترولیت ذخیره می‌گردد. بازه وسیعی از مواد شیمیایی و الکترولیت‌ها برای باتری‌های جریان مورد آزمایش قرار گرفته‌اند. تولید کنندگان باتری هر روز تمایل بیشتری برای استفاده از وانادیوم به عنوان ماده اصلی در تولید باتری‌ها برای کاربری‌های مقیاس کوچک و همین‌طور مقیاس بزرگ پیدا می‌کنند. الکترولیت از نمک‌های وانادیوم {محلول} در سولفوریک اسید ساخته شده است. از آن جا که شرکت‌های انرژی به دنبال بهبود ذخیره‌سازی انرژی هستند، باتری‌های جریانی ریداکسی وانادیومی (VFBs) شروع به افزایش اثرگذاری خود کرده‌اند.

در زمانی که یک باتری جریانی ریداکسی وانادیومی شارژ می‌شود، یون‌های V^{3+} در سمت منفی الکترود از طریق الکترون‌گیری به V^{2+} تبدیل می‌شوند. در همین حال، در الکترود مثبت، یون‌های V^{4+} از طریق رهاسازی الکترون به یون‌های V^{5+} مبدل می‌گردند. هر دوی این واکنش‌ها انرژی الکتریکی موجود در سیستم را جذب کرده و به صورت شیمیایی ذخیره می‌کنند. هنگام تخلیه، واکنش در جهت معکوس رخ می‌دهد، که در نتیجه انرژی شیمیایی را به صورت انرژی الکتریکی آزاد می‌کند.

۱. Akhil

تا به امروز، باتری‌های لیتیومی به علت عملکرد ممتاز و کاهش تدریجی قیمت بعنوان محبوب‌ترین فناوری در این زمینه شناخته شده است. با این حال، درخواست برای باتری‌های جریانی طی دهه‌های اخیر افزایشی سریع داشته است. باتری‌های جریانی هزینه‌های متغیر پایینی دارند (دلار آمریکا بر کیلووات ساعت) و از بازه وضعیت شارژ^۱ وسیعی استفاده می‌کنند. از سوی دیگر، بازده آن‌ها از باتری‌های لیتیومی پایین‌تر و هزینه‌های ثابت آن‌ها (به دلار آمریکا بر کیلووات) بالاتر است. فعالیت‌ها در زمینه باتری‌های جریانی در چین نشان‌دهنده افزایش علاقه به استفاده از باتری‌های جریانی برای ذخیره‌سازی انرژی می‌باشد. دو پروژه که اخیراً در هوبی^۲ و شهر دالیان^۳ به اندازه‌های به ترتیب ۱۰۰ مگاوات بر ۵۰۰ مگاوات ساعت و ۲۰۰ مگاوات بر ۸۰۰ مگاوات ساعت اجرا شده است. دولت چین، هدف از این کار را اجرای یک استراتژی بلند مدت برای ادغام ذخیره‌سازهای انرژی با انرژی‌های تجدیدپذیر اعلام نموده است.

۴-۱۰ پارامترهای یک باتری

یک باتری را می‌توان نه تنها با ظرفیت انرژی آن، بلکه با نرخ تخلیه آن نیز توصیف کرد. هر دوی این پارامترها برای یک باتری ذخیره ساز که در سیستم‌های انرژی تجدیدپذیر استفاده می‌شوند حیاتی هستند.

۱۳۱. مدیریت تولید متغیر

۴-۱۰-۱ ظرفیت باتری

ظرفیت یک باتری بعنوان مجموع مقدار انرژی (کیلووات ساعت) است که می‌تواند در خود ذخیره کند. ظرفیت معمولاً به صورت آمپر ساعت بیان می‌شود. با

۱. SOC: state of charge

۲. Hubei: استانی در چین

۳. Dalian

فرض این که ولتاژ معین باشد، می‌توان ظرفیت را به کیلووات ساعت محاسبه کرد. این جریان تخلیه‌ای است که یک باتری می‌تواند در طول زمان تولید کند. با متصل کردن چندین باتری، می‌توان ظرفیت کل را افزایش داد. باید در نظر داشت که ظرفیت، نشان دهنده توان تحویل انرژی باتری در هر لحظه دلخواه نیست؛ بنابراین، توان نامی (که به کیلووات اندازه‌گیری می‌شود) یک باتری را بایستی در نظر داشت. در نتیجه، یک باتری با ظرفیتی بالا و توان نامی پایین می‌تواند مقدار الکتریسیته کمی طی زمانی طولانی تولید نماید. یک باتری با ظرفیت پایین و توان نامی بالا نیز قادر به تامین میزان بالایی از بار برای زمانی کوتاه است.

باتری‌های الکتروشیمیایی این برتری را نسبت به دستگاه‌های ذخیره‌ساز انرژی دارند که توان تحویلی، در طول بیشتر زمان تخلیه بالا می‌ماند و سپس هنگامی که شارژ باتری خالی می‌شود (توان) ناگهان افت می‌کند.

معمولاً بهتر است که از تمام ظرفیت باتری استفاده نشود. بیشتر باتری‌ها نیاز دارند تا همواره کمی از شارژ خود را به دلیل ساختار شیمیایی خود نگه دارند. عمق تخلیه^۱ یک باتری به مقدار استفاده شده از ظرفیت باتری اشاره دارد. جهت حصول بهترین عملکرد، عمق تخلیه بیشتر باتری‌ها به صورت پیشنهادی تعیین می‌شود. به عنوان مثال، اگر یک باتری ۱۰ کیلووات ساعتی دارای عمق تخلیه‌ای برابر با ۹۰٪ است، پس پیش از شارژ دوباره، تنها ۹ کیلووات ساعت از ظرفیت آن قابل استفاده است.

نرخ‌بندی یک باتری معمولاً با آمپر ساعت بیان می‌شود. نرخ نامی یک باتری جریان تخلیه‌ای است که ۲۰ ساعت به طول می‌انجامد. بنابراین، یک باتری ۱۰۰ آمپر ساعتی می‌تواند از وضعیت شارژ ۱۰۰٪ تا ولتاژ قطع، به مدت ۲۰ ساعت، جریانی به اندازه ۵ آمپر تولید کند. لازم به ذکر است که این رابطه خطی نبوده و اگر جریان تخلیه ۱۰۰ آمپر باشد، مدت زمان تخلیه به کمتر از یک ساعت خواهد رسید. ظرفیت باتری را می‌توان با عبارت "ظرفیت انرژی" نیز بیان کرد. این عبارت،

۱. DoD

گویای مجموع انرژی است (با واحد کیلووات ساعت یا وات ساعت)، که به صورت توان تخلیه ضرب در زمان تخلیه بیان می‌شود. زمان نیز به صورت زمان رسیدن باتری از وضعیت شارژ کامل به قطع ولتاژ تعریف می‌شود. ولتاژ قطع، ولتاژی است که عموماً حالت "خالی" باتری را بیان می‌کند. و مانند ظرفیت انرژی با افزایش جریان تخلیه کاهش می‌یابد.

دما به طور چشمگیری بر روی باتری تاثیر می‌گذارد. از آن جایی که یک باتری سربی اسید یک وسیله الکتروشیمیایی است، افزایش دما به فعالیت شیمیایی شتاب می‌دهد، در حالی که دمای سردتر سرعت فعالیت را کاهش می‌دهد.

۱۳۲. آب پاکیزه با استفاده از انرژی خورشیدی و باد: خارج از شبکه توزیع

برای باتری‌های سرب اسیدی افزایش دما چندین نتیجه به دنبال دارد:

- عملکرد آن را افزایش می‌دهد،
- تلفات داخلی آن را افزایش می‌دهد،
- ولتاژ سلول را در یک جریان معین کاهش می‌دهد،
- طول عمر باتری را کاهش می‌دهد،
- نیاز به نگهداری را افزایش می‌دهد.

۲-۴-۱۰ برآورد اندازه باتری

فرض می‌کنیم که به توان ۳۰۰ وات برای ۱۶ ساعت نیاز است که به معنی نیاز به انرژی ۴۸۰۰ وات ساعت یا ۴,۸ کیلووات ساعت می‌باشد. با فرض این که باتری ما، یک باتری ۱۲ ولتی می‌باشد، توان نامی برابر است با $4800/12=400$ آمپر ساعت. با این حال، تلفات باتری را نیز بایستی در نظر داشت، با فرض تلفات ۱۵٪ (بازده ۸۵ درصدی باتری)، این بدین معنی است که ۴۰۰ آمپر ساعت تقسیم بر ۰,۸۵ خواهد شد تا توان نامی مورد نیاز به دست آید. بعلاوه باید به خاطر داشت که نمی‌توان باتری را ۱۰۰٪ تخلیه کرد. با فرض این که میزان تخلیه مجاز، ۶۰٪ باشد ظرفیت پیش‌تر ۰,۶ تقسیم می‌شود تا ظرفیت مورد نیاز به دست آید. توان نامی نهایی باتری

می‌بایست $400/(0.85*0.6)=784$ آمپر ساعت یا حدود ۸۰۰ آمپر ساعت باشد. توان نامی رایج یک باتری سربی اسید بین ۱۰۰ تا ۶۰۰ آمپر ساعت است. به طور خلاصه توان نامی مورد نیاز باتری را به صورت زیر محاسبه نمود:

$$\text{توان نامی باتری (آمپر ساعت)} = \frac{\text{کل ظرفیت انرژی باتری (وات ساعت)}}{\text{بازده باتری * عمق تخلیه * ولتاژ باتری (ولت)}}$$

۳-۴-۱۰ رده‌بندی باتری‌ها

باتری‌ها تحت عناوین C یا E معادل میزان جریان تخلیه رده‌بندی می‌شوند. این رده‌بندی بر خلاف ظرفیت باتری ابداع شده است. رده C، مقیاسی برای اندازه‌گیری نرخ است که باتری در مقایسه با حداکثر ظرفیت آن تخلیه می‌شود. رده 1C به این معنی است که جریان تخلیه، باتری را در عرض یک ساعت تخلیه می‌کند. برای یک باتری با ظرفیت ۱۰۰ آمپر ساعت، می‌توان با این فرض گفت که جریان تخلیه ۱۰۰ آمپر خواهد بود. رده C/2، ۵۰ آمپر خواهد بود. اعمال نرخ شارژ/تخلیه {شارژ نسبت به تخلیه} کوچکتر، طول عمر یک باتری شیمیایی را افزایش می‌دهد، بنابراین نرخ تخلیه با میزانی بعنوان مثال کوچکتر از 0.1C، طول عمر مطلوبی برای باتری دارد.

۱۳۳. مدیریت تغییر متغیر

به طور مشابه، استفاده از نرخ تخلیه‌ای بزرگتر از 1C، کاربری "جریان بالا" نام دارد.

رده E، توان تخلیه را شرح می‌دهد. بنابراین، رده 1E به معنی توان تخلیه کل باتری در یک ساعت می‌باشد.

عموماً، طول عمر مفید یک باتری ۵ تا ۱۵ سال است، که بسیار کوتاه‌تر از گارانتی ۲۵ ساله سلول‌های خورشیدی می‌باشد. اگر چه، امروزه تلاش زیادی صرف توسعه باتری‌ها می‌شود.

۴-۱۰ کنترل کننده شارژ باتری

یک کنترل کننده شارژ خورشیدی، باید ولتاژ آرایه خورشیدی فوتوولتاییک و باتری‌ها را تطبیق دهد که معمولاً توسط جریان (به آمپر) و ظرفیت‌های ولتاژ (به ولت) تعریف می‌شود. کنترل کننده شارژ باید ظرفیتی کافی داشته باشد تا بتواند جریان حاصله از آرایه فوتوولتاییک را مدیریت کند. یک رسم استاندارد این است که کنترل کننده شارژ خورشیدی فوتوولتاییک، ۳۰٪ بزرگتر از جریان مدار (Isc) آرایه فوتوولتاییک طراحی شود (به فصل ۲-۸ مراجعه فرمایید).

ولتاژ شارژ باید بالاتر از ولتاژ باتری باشد تا جریان به درون باتری جاری شود. دو روش ساده برای شارژ باتری سرب اسیدی وجود دارد:

یک ولتاژ ثابت به سرتاسر ترمینال‌های باتری اعمال می‌شود. با افزایش ولتاژ باتری، جریان شارژ به طور تدریجی قطع می‌شود. با اینکه این روش تنها به تجهیزاتی ساده نیاز دارد کمتر کاربرد آن توصیه می‌شود.

شارژ با جریان ثابت: یک منبع ولتاژ قابل تغییر، جاری شدن جریانی ثابت به درون باتری را برقرار نگه می‌دارد و با اینکه نیازمند کنترل کننده شارژ پیچیده‌تری است، استفاده آن رواج بیشتری دارد.

۵-۱۰ ذخیره انرژی به وسیله هیدروژن

هیدروژن به عنوان یک سیستم ذخیره انرژی روز به روز توجه بیشتری دریافت می‌کند و بعضی از چنین سیستم‌هایی امروزه نیز مورد استفاده هستند. این سیستم‌ها احتمالاً هنوز برای کشورهای کم‌درآمد بسیار گران هستند، ولی تحقیقات بسیاری در زمینه تکنولوژی ذخیره‌سازی انرژی به وسیله هیدروژن در حال انجام شدن است. بنابراین می‌توان در اینجا، این تکنولوژی را به عنوان یک احتمال واقع گرایانه برای ذخیره‌سازی انرژی در سیستم‌های انرژی تجدیدپذیر ذکر کرد.

۱۳۴. آب پاکیزه با استفاده از انرژی خورشیدی و باد: خارج از شبکه توزیع

استفاده از هیدروژن برای ذخیره‌سازی انرژی مسئله جدیدی نیست. دکتر الن

هافمن یکی از دانشمندان کلیدی بوده است که اقداماتش در واشنگتن تاثیر بسزایی بر توسعه انرژی‌های تجدیدپذیر و آگاهی از پیوند میان آب و انرژی داشته است. در دولت بیل کلینتون در سال ۱۹۹۵ او به عنوان دستیار معاون وزیر و سپس به عنوان دستیار اجرایی معاون وزیر دپارتمان انرژی اداره تکنولوژی‌های صنایع همگانی (آب، برق، گاز...) مشغول به فعالیت بود. این اداره مسئولیت توسعه تمامی تکنولوژی‌های تولید نیروی برق تجدیدپذیر از جمله هیدروژن و تکنولوژی‌های ذخیره‌سازی را بر عهده داشته است. در سال ۱۹۹۵، او در گزارشی برای اداره تکنولوژی‌های صنایع اینگونه اعلام نمود: "با توجه به قابلیت استفاده آن توسط کاربر نهایی و مشخصه‌های محیط زیستی بی‌خطر آن، من همچنین باور دارم که در طول این بازه زمانی، از هیدروژن به عنوان حامل انرژی مهمی جهت تکمیل تولید نیروی برق استفاده خواهد شد."

جذابیت اصلی هیدروژن این است که به وسیله آن می‌توان انرژی اضافی را برای مدتی طولانی، نه تنها از روز تا شب، بلکه حتی در طی گذر فصل‌های مختلف نیز ذخیره کرد. به عنوان مثال، در عرض‌های جغرافیایی شمالی، انرژی تجدیدپذیر اضافی می‌تواند در طول تابستان تولید شود. نیروی باتری نمی‌تواند برای مدتی بیشتر از چند روز به تامین انرژی ادامه دهد. اگر انرژی اضافی به صورت هیدروژن ذخیره شود، می‌تواند در طول زمستان سرد به عنوان الکتریسیته دوباره مورد استفاده قرار گیرد. نمونه‌های اولیه‌ای که از این قابلیت استفاده می‌کنند هم اکنون نیز مورد استفاده هستند. هیدروژن یکی از امیدبخش‌ترین راه‌های مقابله با ذخیره انرژی برای طولانی مدت است.

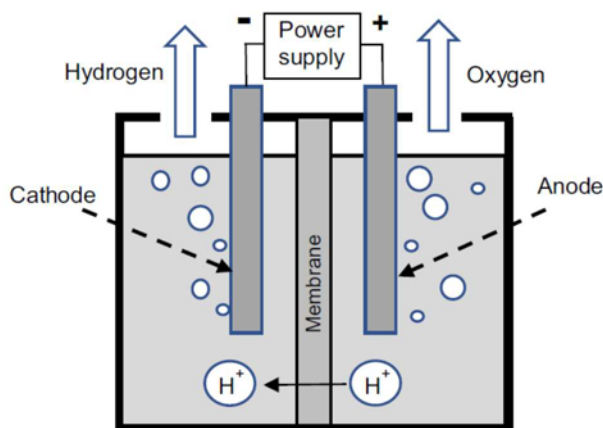
جاذبه اصلی هیدروژن این است که انرژی اضافی می‌تواند برای مدتی طولانی ذخیره شود و سپس به عنوان الکتریسیته دوباره مورد استفاده قرار گیرد. به بیان ساده، از الکتریسیته اضافی برای الکترولیز آب به هیدروژن و اکسیژن استفاده می‌شود و می‌توان از هیدروژن ذخیره شده بعداً در سلول‌های سوختی که الکتریسیته تولید می‌کنند استفاده نمود.

۱-۵-۱۰ الکترولیز آب

در الکترولیز، آب با استفاده از الکتریسیته شکافته شده و به هیدروژن و اکسیژن تبدیل می‌شود. استفاده از انرژی الکتریکی اضافی حاصل از باد یا سیستم‌های خورشیدی فوتوولتاییک برای تولید هیدروژن هیچ گاز گلخانه‌ای تولید نمی‌کند. در همین حال، بهای انرژی اضافی عملاً صفر است. الکترولیز در دستگاهی با عنوان الکترولایز اتفاق می‌افتد. که این دستگاه‌ها دارای تنظیمات و ساختارهای مختلفی هستند. با این وجود، اصول و واکنش‌های کلیدی این دستگاه‌ها در شکل ۳-۱۰ نشان داده شده‌اند.

۱۳۵. مدیریت تولید متغیر

هر الکترولایزر با تفاوت اندکی نسبت به سایر دستگاه‌ها فعالیت می‌کند. این تفاوت بیشتر به علت انواع مختلف الکترولیت‌های مورد استفاده ای می باشد که جنس‌های مختلفی دارند.



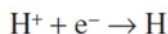
{عبارات داخل شکل ۳-۱۰: Cathode: کاتد Hydrogen: هیدروژن Power supply: منبع تغذیه
Oxygen: اکسیژن Anode: آند Membrane: غشا}

شکل ۳-۱۰: اصول الکترولیز آب. (برگرفته شده از لارمینیه و دیکس^۱ (۲۰۰۳))

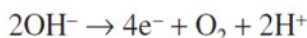
هنگامی که جریان الکتریکی از درون آب عبور می‌کند، الکترون‌های جریان الکتریکی شروع به تولید یک واکنش اکسایشی کاهشی می‌کنند. الکترون‌ها درون یک مدار خارجی جریان می‌یابند و یون‌های هیدروژن به صورت انتخابی از درون غشا به سمت کاتد حرکت می‌کنند. در یک الکتروود با خاصیت کاتدی، الکترون‌ها وارد محلول شده و باعث یک کاهش می‌شوند. در الکتروود دیگر که خاصیت آنودی دارد، الکترون‌ها از محلول خارج می‌شوند و مدار را کامل می‌کنند، و باعث یک اکسایش می‌شوند.

برای انجام الکترولیز، محلول باید رسانای جریان الکتریکی باشد. آب خالص یک رسانای بسیار ضعیف است، بنابراین یک الکتروولیت به آب اضافه می‌شود تا رسانایی آب را افزایش دهد. هرچند در بیشتر موارد، به مقدار کافی مواد معدنی در آب وجود دارد تا قدرت یونی یا به عبارت دیگر، سطح رسانایی آب به قدری می‌باشد که الکترولیز می‌تواند رخ دهد. یکی از مشکلات اضافه کردن الکتروولیت این است که آن‌ها می‌توانند راحت‌تر از آب الکترولیز شوند.

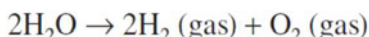
در سمت کاتد (الکتروود منفی)، آب به یون‌های H^+ و یون‌های OH^- شکسته می‌شود. یون‌های H^+ جذب کاتد و تبدیل به یک اتم هیدروژن می‌شوند یا به عبارت دیگر به یک اتم هیدروژن کاهش می‌یابند:



این یک آرایش اتمی به شدت ناپایدار است، و بنابراین بلافاصله با یک اتم هیدروژن دیگر واکنش می‌دهد تا H_2 یا همان مولکول گاز هیدروژن تولید شود. در سمت الکتروود دیگر (آند)، اکسایش رخ می‌دهد، یون‌های OH^- جذب الکتروود مثبت می‌شوند، که در آن جا اکسید می‌شوند تا گاز اکسیژن (O_2) و یون‌های هیدروژن (H^+) را شکل دهند. واکنش آند به صورت زیر است:



با ترکیب واکنش‌های آند و کاتد، به واکنش کلی زیر می‌رسیم:



تولید هیدروژن از سیستم‌های خورشیدی فوتوولتائیک امروزه احتمالاً ارزان‌ترین روش می‌باشد. اگر چه، باید بدانیم که الکترولیز، به علاوه تجهیزات مرتبط به آن برای فشرده‌سازی و ذخیره‌سازی هیدروژن، نیاز به سرمایه اولیه زیادی دارد. ممکن است در آینده هزینه تجهیزات کاهش بیابد، ولی در حال حاضر هزینه همچنان یک مانع می‌باشد.

نیازی نیست که هیدروژن به صورت گازی در مخزن‌های پرفشار ذخیره شود. یک تکنولوژی جدید این امکان را میسر می‌سازد تا به کمک آن بتوان "هیدروژن را به صورت مایع ذخیره کرد، تکنولوژی که حامل هیدروژن ارگانیک مایع نام دارد (LOHC)^۱. این تکنولوژی بر پایه دو پروسه جداگانه بارگیری (هیدروژن‌دهی) و باربرداری (هیدروژن‌زدایی) یک مایع حامل انرژی بنا شده است. این مایع از یک مولکول ارگانیک که خواص فیزیکی و شیمیایی مشابه گازوئیل دارد تشکیل شده است. ماژول LOHC از یک واحد هیدروژن ده و هیدروژن زدا و دو مخزن تشکیل شده است. یکی از مخزن‌ها، حامل مایع LOHC در حالت اولیه خود می‌باشد. واحد هیدروژن ده، هیدروژن را با یک واکنش شیمیایی درون مایع قرار می‌دهد. سپس LOHC بارگیری شده در مخزن دوم ذخیره می‌گردد. می‌توان به کمک یک واکنش اندوترمیک^۲، هیدروژن را از واحد هیدروژن‌زدا تخلیه نمود (پس از آن، مایع به مخزن اولیه باز می‌گردد).

از مزیت‌های بزرگ پیوند شیمیایی هیدروژن با حامل مایع می‌توان به قابلیت ذخیره آن تحت شرایط محیط بدون تخلیه و اتلاف تدریجی هیدروژن اشاره کرد.

۱. Liquid Organic Hydrogen Carrier

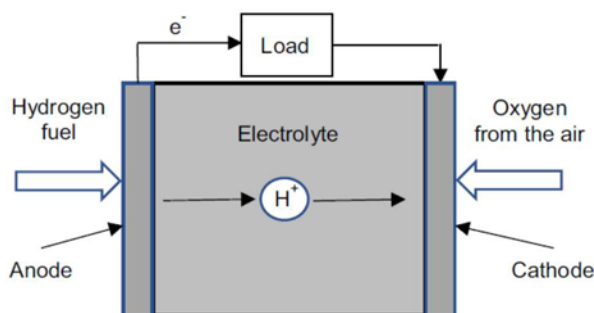
۲. واکنشی شیمیایی که از محیط اطراف خود انرژی جذب می‌کند.

یک لیتر حامل انرژی می‌تواند معادل ۲ کیلووات انرژی حرارتی را در خود ذخیره کند که بعد از تبدیل معادل یک کیلووات انرژی الکتریکی می‌باشد.

۱۳۸. مدیریت تولید متغیر

در یک سلول سوختی، هیدروژن ذخیره شده به تدریج تبدیل به الکتریسیته می‌شود. یک سلول سوختی می‌تواند انرژی شیمیایی سوخت را به الکتریسیته تبدیل کند. در این جا، سوخت هیدروژن می‌باشد که با اکسیژن یا یک عامل اکسیدکننده دیگر واکنش می‌دهد. در یک باتری انرژی شیمیایی از مواد شیمیایی حاضر در باتری نشأت می‌گیرد. در یک سلول سوختی باید منبع متداومی از سوخت (هیدروژن) و اکسیژن (معمولاً این اکسیژن از هوا تامین می‌شود) وجود داشته باشد تا واکنش شیمیایی ادامه یابد. سلول‌های سوختی می‌توانند به طور متداوم تا زمانی که سوخت و اکسیژن مورد نیازشان تامین شود، الکتریسیته تولید کنند. سلول‌های سوختی اختراع جدیدی نیستند؛ آن‌ها در ابتدا در سال ۱۸۳۸ اختراع شدند.

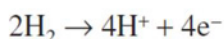
تمامی سلول‌های سوختی دارای یک آند، یک کاتد و یک الکترولیت هستند (به شکل ۴-۱۰ مراجعه نمایید). انواع مختلفی از سلول‌های سوختی وجود دارد، که با نوع الکترود و زمان‌های راه‌اندازی مختلفشان طبقه‌بندی می‌شوند.



{ شکل ۴-۱۰: Hydrogen Fuel: سوخت هیدروژنی Anode: آند Cathode: کاتد
 Oxygen from the air: اکسیژن که از هوا تامین می‌شود Electrolyte: الکترولیت e⁻: الکترون
 Load: بار {الکتریسته} }

شکل ۴-۱۰: واکنش‌های الکترودها و مدار الکتریکی شار برای سلول سوختی الکترولیتی. توجه داشته باشید که الکترون‌های منفی از آند به سمت کاتد حرکت می‌کنند، در حالی که "جریان متداول" از کاتد به آند جریان می‌یابد. با اصلاح و اقتباس از لارمینی و دیکس (۲۰۰۳).

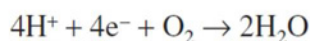
در آند یک کاتالیزور متشکل از پودر پلاتین، سوخت (گاز هیدروژن) را در هم شکسته و به الکترون‌ها و یون‌ها تبدیل می‌کند. کاتالیزور سرعت واکنش‌ها در الکترودها را افزایش می‌دهد.



یون‌های هیدروژن از درون الکترولیت از آند به کاتد حرکت می‌کنند. الکترون‌ها از آند به کاتد از طریق یک مدار خارجی هدایت می‌شوند، و جریان مستقیمی تولید می‌کنند. اکسیژن هوا از کاتد وارد سلول (سوختی) می‌شود.

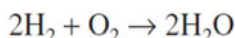
۱۳۸. آب پاکیزه با استفاده از انرژی خورشیدی و باد: خارج از شبکه توزیع

در (سمت) کاتد یک کاتد دیگر (معمولاً از جنس نیکل) باعث می‌شود که یون‌های هیدروژن، الکترون‌ها و اکسیژن با یکدیگر واکنش دهند:



که در این واکنش آب یک فرآورده جانبی در نظر گرفته می‌شود. به عبارت دیگر،

واکنش خلاصه شده بسیار ساده می‌باشد:



یک سلول منفرد معمولاً ولتاژ بسیار کمی به اندازه: ۰٫۶-۰٫۷ ولت تولید می‌کند. بنابراین برای تامین نیاز مورد انتظار، می‌بایست چندین سلول به صورت سری به یکدیگر متصل شوند. اگر سلول‌ها به صورت موازی به یکدیگر متصل شوند جریان بالاتری را تامین می‌کنند.

یک سلول سوختی مقداری آب و گرما و مقدار بسیار کمی آلودگی مانند نیتروژن دی اکسید (NO_2) نیز تولید می‌کند. بازده انرژی سلول‌های سوختی میان ۴۰ تا ۶۰ درصد است که میزان بالایی نیست. این به این معنی است که ذخیره انرژی به صورت هیدروژن باعث اتلاف انرژی چشمگیری می‌شود، حتی با این که در بسیاری از موارد حرارت پسماند می‌تواند مورد استفاده قرار بگیرد.

باید بر این قضیه نیز تاکید شود که سلول‌های سوخت هیچ قطعه متحرکی ندارند. این مسئله سلول‌های سوخت را به یک منبع قابل اطمینان انرژی تبدیل می‌کند.

۶-۱۰ آب پمپاژ شده و تمیز به عنوان ذخیره ساز

ذخیره انرژی به صورت آب در مکان‌های مرتفع، قرن‌هاست که شناخته شده و مورد استفاده قرار گرفته است. در زمینه نیروی برق آبی می‌توان آب را در آب‌انبارها به عنوان انرژی پتانسیلی با قابلیت تبدیل به انرژی الکتریسیته ذخیره کرد.

در بسیاری از مناطق از مخازن آب پمپاژ شده برای استفاده از انرژی اضافی استفاده می‌شود. می‌توان از انرژی پتانسیل آب جهت تولید انرژی در موارد مورد نیاز استفاده نمود. از این اصول می‌توان در سیستم‌های مستقل در سطح یک خانوار نیز بهره برد. می‌توان به کمک انرژی اضافی حاصل از سیستم خورشیدی فوتوولتاییک یا باد، آب را به یک مخزن که در ارتفاع نصب شده پمپاژ و سپس به دو صورت می‌توان از آن استفاده کرد:

اگر ارتفاع به اندازه کافی زیاد باشد، آب می‌تواند یک توربین و ژنراتور را به

حرکت درآورد و الکتریسیته تولید کند؛ در غیر این صورت آب می‌تواند به طور مستقیم برای آشامیدن (اگر کیفیت آن مناسب باشد) یا برای آبیاری استفاده شود، تنها با استفاده از جاذبه (ثقلی). می‌توان آب ذخیره شده را به یک واحد نمک‌زدایی نیز هدایت کرد تا کیفیت آن بهتر شود. انرژی الکتریکی اضافی می‌تواند برای پمپاژ، نمک‌زدایی و ضدعفونی کردن نیز مورد استفاده قرار گیرد.

۷-۱۰ ژنراتورهای دیزل به عنوان پشتیبان

در بسیاری از موارد ژنراتورهای دیزلی با انرژی‌های تجدیدپذیر جایگزین خواهند شد. ژنراتورهای قدیمی می‌توانند به عنوان پشتیبان برای تولید منقطع مورد استفاده قرار گیرند، حتی با اینکه این امر می‌تواند باعث هزینه تراشی برای تامین سوخت و ایجاد آلاینده‌گی کربنی شود. با این حال، مزیت استفاده از این پشتیبان، جبران شدن حتی کمبودهای طولانی مدت است.

۸-۱۰ هزینه ذخیره‌سازی انرژی

برای مقایسه انواع مختلف تکنولوژی‌های ذخیره‌سازی انرژی، مفهوم هزینه تراز ذخیره‌سازی^۱ تعریف شده است. این مفهوم معمولاً به صورت هزینه ظرفیت ذخیره ساز انرژی به ازای هر کیلووات ساعت بیان می‌شود. بنابراین، LCOS هزینه متوسط در طول عمر ذخیره‌ساز را بیان می‌کند، که هم شامل هزینه‌های اولیه و هم هزینه‌های عملیاتی می‌شود.

کاهش شدید هزینه‌های انرژی حاصل از باد و سیستم‌های خورشیدی فوتوولتاییک از طریق افزایش تولید انبوه توربین‌های خورشیدی و پنل‌های فوتوولتاییک حاصل شده است. ظاهراً انقلابی مشابه نیز در ذخیره‌سازهای انرژی در حال وقوع می‌باشد. سرمایه‌گذاری‌های وسیعی در سرتاسر جهان بر روی تاسیسات

۱. LCOS: Levelized Cost Of Storage

مبتنی بر باتری انجام می‌شود. هزینه ذخیره‌سازی انرژی از بیش از ۵۰۰ دلار آمریکا به ازای هر کیلووات ساعت در سال ۲۰۱۳ به حدود ۲۰۰ دلار آمریکا به ازای هر کیلووات ساعت در سال ۲۰۱۷ کاهش یافته است (لازارد، ۲۰۱۶). طبق گفته گروه مشاورین بوستون^۱، انتظار می‌رود که طی ۵ تا ۱۰ سال آینده، این هزینه‌ها به کمتر از ۱۰۰ دلار آمریکا به ازای هر کیلووات ساعت کاهش یابد.

۹-۱۰ مطالعه بیشتر

امروزه تلاش‌های گسترده‌ای برای توسعه باتری‌هایی با ظرفیت بالاتر، اندازه کوچکتر و قیمت پایین‌تر در حال انجام است. برای آشنایی با تحقیق‌هایی که هم اکنون بر روی ذخیره‌سازها انجام می‌شوند، می‌توانید به مرکز مشترک تحقیقات ذخیره‌سازی انرژی^۲ در آرگان^۳، که توسط دپارتمان انرژی ایالات متحده حمایت می‌شوند، و به آدرس وبسایت <http://www.jcesr.org> ارجاع می‌دهیم.

مجموعه آزمایشگاه‌های سندیا^۴ کتابچه‌ای درباره ذخیره‌سازی انرژی به همراه اطلاعات فنی زیادی منتشر کرده، (اخیل^۵ و همکاران، ۲۰۱۳) و همینطور، کمیسیون بین‌المللی الکتروتکنیک^۶ مقاله‌ای حول سیستم‌های ذخیره‌سازی انرژی الکتریکی منتشر کرده است (IEC, 2011)؛

۱۴۰. آب پاکیزه با استفاده از انرژی خورشیدی و باد: خارج از شبکه توزیع

موسسه سیستم‌های انرژی خورشیدی فران هوفر^۷ نقش بسیار مهمی در این مقاله داشته است.

۱. Boston Consulting Group (www.bcg.com)

۲. Joint Center for Energy Storage Research (JCESR)

۳. Argonne

۴. Sandia Laboratories

۵. Akhil

۶. IEC

۷. Fraunhofer Institut für Solare Energiesysteme

دلوچی و جیکوبسون^۱ (۲۰۱۱) روش‌های مدیریت تغییرات باد، آب و انرژی خورشیدی را با هدف تضمین انطباق تولید و تقاضا مورد بحث قرار داده‌اند. مقایسه‌ای بین باتری‌های مبتنی برلیتیوم و باتری‌های جریان توسط اوهریگ^۲ و همکاران (۲۰۱۶) ارائه شده است.

اصول زیربنایی سلول‌های سوختی با جزئیات در پژوهش لارمین و دیکس (۲۰۰۳) شرح داده شده است. یک روایت بسیار شخصی درباره توسعه انرژی‌های تجدیدپذیر در آمریکا را نیز می‌توانید در تحقیقات هافمن^۳ (۲۰۱۶) بیابید. او همچنین به طور مرتب مطالبی درباره مسائل مربوط به انرژی در بلاگ خود می‌نویسد^۴.

برای خواننده‌ای که منحصرأ علاقمند به انرژی‌های تجدیدپذیر است کتاب جونز^۵ (۲۰۱۷) مملو از اطلاعاتی مفید است. این کتاب بر روی تولید انرژی تجدیدپذیر و ادغام آن با شبکه تمرکز کرده و چالش‌های مرتبط با تولید متغیر و ذخیره‌سازی انرژی و همچنین کتاب "سیستم‌های انرژی جزیره" در این کتاب مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفته‌اند.

اطلاعات کاربردی زیادی در سایت یوتیوب^۶ در رابطه با انتخاب، طراحی، شارژ و تخلیه باتری وجود دارد. کفایت عبارت "باتری‌های خورشیدی" را جست‌وجو کنید.

۱. Delucchi and Jacobson

۲. Uhrig

۳. Hoffman

۴. Lapsed Physicist, 2018

۵. Jones

۶. [Youtube.com](https://www.youtube.com)

فصل



سیستم‌های مدیریت انرژی

"الزاماً فرآیند خودکارسازی کارها دشمن بشر نیست. من فکر می‌کنم که ماشین‌ها می‌توانند زندگی را برای انسان‌ها آسان‌تر کنند، البته مادامی که انسان‌ها اجازه ندهند که ماشین‌ها بر آن‌ها چیره شوند"

جان اف. کندی، رئیس جمهور ایالات متحده‌ی آمریکا ۱۹۶۱-۱۹۶۳

هر سیستم پمپاژ و پاکسازی آب خارج از شبکه‌ی توزیع به یک سیستم کنترل‌کننده نیاز دارد تا بتواند مصرف انرژی را به طور مطلوب مدیریت کند. انرژی تولید شده توسط یک واحد انرژی خورشیدی فوتوولتاییک یا یک توربین بادی، هیچ ارتباطی با میزان تقاضا برای این انرژی ندارد. یک سیستم کنترل اتوماتیک، جریان نیرو در سیستم را متوازن می‌کند. سیستم تولید انرژی تنها شامل پنل‌های خورشیدی و توربین‌های بادی نیست، بلکه اجزای دیگری مانند اینورترها، باتری‌ها و کنترل‌کننده‌های شارژ نیز در آن وجود دارند. بار از تجهیزات نورپردازی، لوازم خانگی کوچک و سیستم‌های صوتی تصویری کوچک و همچنین پمپ‌های آب، لامپ‌های ضدعفونی‌کننده و واحدهای شیرین‌سازی آب تشکیل شده است. با مدیریت این اجزا در زمان کمبود نیروی تحویلی می‌توان تقاضا را اولویت‌بندی نمود.

۱۴۲. آب پاکیزه با استفاده از انرژی خورشیدی و باد: خارج از شبکه‌ی توزیع

۱-۱۱ نقش سیستم مدیریت انرژی

توضیحاتی در مورد نقش سیستم مدیریت انرژی^۱ ارائه شد. از آن جایی که بیشتر از یک منبع انرژی الکتریکی وجود دارد، تولید انرژی بایستی کنترل شود. به همین ترتیب، نیاز به انرژی تمامی بارها را نمی‌توان تامین کرد. این امر به اولویت‌بندی بین بارهای مختلف کنترل شده توسط سیستم مدیریت انرژی نیاز دارد. این سیستم می‌تواند در یک کنترل‌گر منطقی برنامه‌پذیر^۲ ساده پیاده‌سازی شود.

سیستم‌های خورشیدی فوتوولتایک و توربین‌های بادی تولیدکننده‌های کلیدی انرژی هستند. اگر نیروی تحویلی آن‌ها کمتر از کف در نظر گرفته شده باشد، باتری‌های ذخیره‌ساز شروع به تخلیه شدن می‌کنند. اگر انرژی کافی نباشد، به عنوان آخرین گزینه، می‌توان به ژنراتورهای دیزل پناه برده و آن‌ها را روشن نمود.

اینورترها (به بخش ۵-۴ نیز مراجعه فرمایید) جریان مستقیم حاصل پنل‌های خورشیدی را به جریان متناوب تبدیل می‌کنند، در حالی که اینورتر توربین بادی، توان ژنراتور را به فرکانسی که مناسب بارها باشد تبدیل می‌نماید. باید خاطرنشان شود که توان نامی اینورتر بایستی به اندازه‌ای بالا باشد که بتواند کل نیرویی که بار در هر زمانی طلب می‌کند را تامین کند. معمولاً پیشنهاد می‌شود که توان نامی اینورتر ۲۵-۳۰ درصد بالاتر از توان کل بار باشد. برای بارهای موتوری و کمپرسوری توان اینورتر باید حداقل ۳ برابر بیشتر از ظرفیت این تجهیزات باشد تا بتواند پاسخگوی افزایش ناگهانی جریان مورد نیاز آن‌ها هنگام شروع به کارشان باشد.

شارژکننده‌ی باتری (فصل ۱۰) تضمین‌کننده ذخیره ولتاژ و جریانی ورودی و خروجی از باتری‌های در محدوده‌ی مجاز هستند.

بارهای مختلف در قسمت بعدی تشریح می‌شوند. سیستم مدیریت همچنین

۱. Energy management system (EMS)

۲. Programmable Logic Controller (PLC)

جریان نیرو را هم زمانی که تولید سیستم‌های خورشیدی فوتوولتاییک و بادی بالاتر از بار می‌باشد و هم زمانی که تولید کافی نباشد هدایت می‌کند. یک طراحی دقیق و مفصل باید تغییرات در بازدهی اجزا مربوط به بار و تابش خورشیدی و در دسترس بودن باد را در نظر داشته باشد. بازدهی سیستم در حالت‌های مختلفی همچون حالت خورشیدی فوتوولتاییک/ بادی نسبت به بار، حالت خورشیدی فوتوولتاییک/ بادی نسبت به ظرفیت ذخیره‌سازی، یا حالت ظرفیت ذخیره‌سازی نسبت به بار، متفاوت است.

۱۴۳. سیستم‌های مدیریت انرژی

۲-۱۱ بارها

بارها نسبت به اهمیتشان طبقه‌بندی می‌شوند. اگر انرژی الکتریکی تولید شده از پنل‌های خورشیدی، توربین‌های بادی، و باتری‌ها کافی نباشد تا نیاز همه‌ی بارها را برطرف کند، پس می‌بایست در ابتدا بارها اولویت‌بندی شوند. در صورت قطع شدن انرژی، باری که بالاترین اولویت را دارد (مانند نورپردازی) آخرین باری خواهد بود که خاموش می‌شود. البته که اولویت بین بارهای مختلف، به هر مصرف‌کننده بستگی دارد. طبیعتاً، کنترل‌کننده‌ی پمپ آب به عملکرد ضد عفونی‌کننده، شیرین‌کننده و رآکتورهای بیولوژیکی متصل است.

بارها را می‌توان به صورت زیر طبقه‌بندی کرد (به شکل ۱-۱۱ مراجعه فرمایید):

- نورپردازی
- وسایل کوچک مانند رادیوها، سیستم‌های صوتی و تصویری
- تجهیزات آشپزی
- پمپ‌های آب
- لامپ‌های ضد عفونی‌کننده
- واحدهای آب شیرین کن

• احیاکننده‌های بیولوژیکی آب

سیستم مدیریت انرژی توان در دسترس را طبق اولویت‌بندی تعریف شده به بارها می‌رساند. روشنایی، لوازم خانگی کوچک و لوازم آشپزی احتمالا بارهایی هستند که بالاترین اولویت را دارند.

بگذارید بعضی از حالت‌های کاری و چگونگی اولویت‌بندی بارها را در نظر بگیریم: (۱) توان حاصل از سیستم‌های خورشیدی فوتوولتاییک یا توربین‌های بادی بیشتر از نیاز به بار است.

هر مقدار توان بایستی به صورت عاقلانه مورد استفاده قرار بگیرد. اگر باتری‌ها به طور کامل شارژ نشده‌اند، شارژ کامل باتری‌ها باید بالاترین اولویت باشد.

اگر باتری‌ها به طور کامل شارژ شده‌اند، می‌توان توان اضافی را صرف پمپاژ یا تصفیه‌ی آب نمود. همان گونه که در بخش ۶-۱۰ شرح داده شد، آب به عنوان یک ذخیره‌ساز انرژی عمل می‌کند.

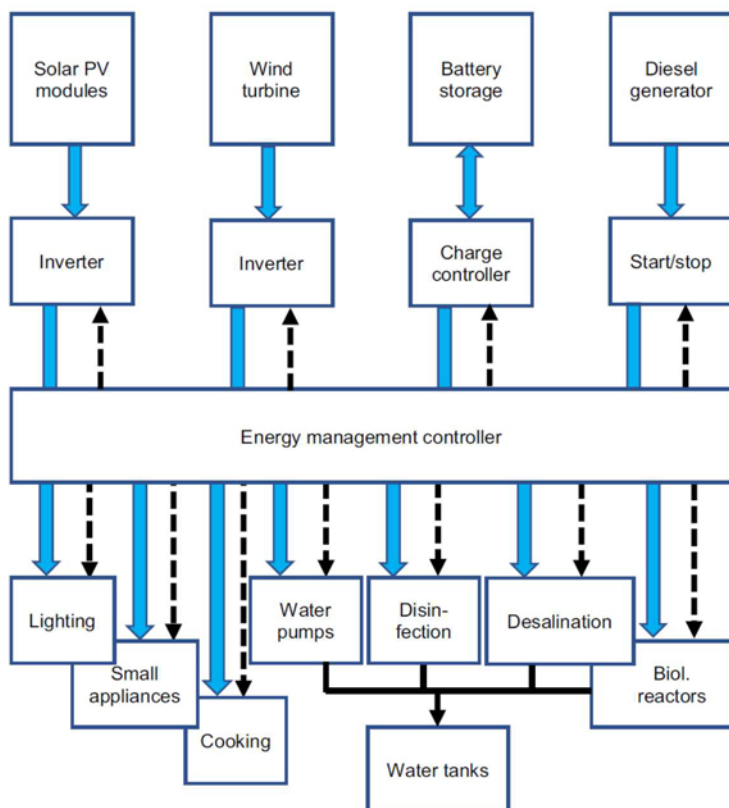
(۲) توان حاصل از سیستم‌های خورشیدی فوتوولتاییک یا توربین‌های بادی برای تامین نیاز بار کفایت نمی‌کند.

اگر ظرفیت ذخیره‌سازی به اندازه کافی باشد می‌توان به حالت اول بازگشت. اگر توان ذخیره شده‌ای که به تولید اضافه می‌شود نیاز بار را برطرف نمی‌کند، بنابراین بایستی اولویت‌های بار مشخص شود. تنها بارهای خیلی مهم باید متصل شوند.

اگر باتری‌ها خالی شده‌اند، ذخیره‌ساز تبدیل به بار، و به احتمال زیاد به باری که بالاترین اولویت را دارد تبدیل می‌شود. دیگر بارها باید طبق اولویتشان قطع گردند.

(۳) توان حاصل از سیستم‌های خورشیدی فوتوولتاییک یا توربین‌های بادی برای نیاز بار کافی نیست و باتری‌ها نیز تخلیه شده‌اند. این حالت، غیرمحتمل است. همان‌طور که در بخش ۷-۱۰ به آن اشاره شد در این حالت می‌توان از ژنراتورهای دیزل رایج به عنوان پشتیبان استفاده کرد.

۱۴۴. آب پاکیزه با استفاده از انرژی خورشیدی و باد: خارج از شبکه‌ی توزیع



{عبارات شکل ۱-۱۱:

Solar PV modules: ماژول انرژی خورشیدی فوتوولتاییک wind turbine: توربین بادی Battery Storage: باتری ذخیره‌ساز Diesel Generator: ژنراتور دیزل Inverter: اینورتر Charge Controller: کنترل‌کننده شارژ Start/stop: شروع/خاتمه Energy management controller: کنترل‌کننده مدیریت انرژی Lighting: روشنایی Small appliances: لوازم خانگی کوچک Cooking: آشپزی Water pumps: پمپ‌های آب Disinfection: ضدعفونی Desalination: آب شیرین کن Biol. reactors: رآکتورهای بیولوژیکی Water tanks: تانکرهای آب }

شکل ۱-۱۱: نمودار بلوکی یک سیستم مدیریت انرژی برای یک سیستم مرکب از توربین بادی و پنل خورشیدی در یک کارکرد مستقل. واحدهای تولید در بالای سیستم کنترل و وسایل مصرف‌کننده در پایین کنترل‌کننده نشان داده شده‌اند. پیکان‌های پهن نشان دهنده شار انرژی وارده به سیستم هستند، در حالی که پیکان‌های شکسته نشان دهنده اطلاعات و جریان‌های فرمان هستند.

واضح است که مدیریت کننده انرژی باید چندین حالت کاری را در ذهن داشته باشد. طبیعتاً، مصرف کننده نباید نگران جزئیات باشد. با این حال آموزش نحوه کارکرد سیستم‌ها به مصرف کنندگان امری بسیار حیاتی است.

۱۴۵. سیستم‌های مدیریت انرژی

چند مسئله وجود دارد که هنگام نصب سیستم‌های انرژی تجدیدپذیر باید آن‌ها را در نظر داشت:

- باید مراقب بود که ساعات روشنی روز با ساعات آفتابی اشتباه گرفته نشوند؛
- توان مورد نیاز بارهای مختلف دست کم گرفته نشوند. به عنوان مثال، ممکن است یک ماشین یا یک ابزار، در بازه‌های زمانی کوتاه به توان بسیار زیادی نیاز داشته باشد؛
- هنگام در نظر گرفتن اولویت‌های بار، با موارد مصرف کوچک شروع کنید، ولی به دقت عوارض ناتوانی در رساندن نیرو به یک بار مشخص را در نظر داشته باشید.
- می‌توان به راحتی یک تانکر آب را به یک تشخیص دهنده سطح (آب) مجهز کرد تا در هنگام پر شدن تانکر، پمپ را خاموش کند.
- پنل‌های خورشیدی برای کار در دماهای خاصی طراحی شده‌اند. به یاد داشته باشید که ظرفیت پنل‌های خورشیدی به دما بستگی دارد.
- البته، نصب پنل‌های خورشیدی باید به درستی انجام شود، در غیر این صورت ممکن است انرژی خروجی به شدت اشتباه محاسبه شود.

بعضی از ابزارهای اولیه برای سیستم تولید آب عبارتند از:

- سنسورهای فشار،
- نشانگرهای سطح برای مخازن ذخیره‌سازی
- نشانگر دما

در نصب‌های پیشرفته‌تر ممکن است سرعت پمپ تغذیه کننده و پمپ پرفشار متغیر باشد و به همراه کنترل کننده‌ی سرعت عرضه شوند، ولی پمپ‌های سرعت ثابت رایج‌تر هستند.

- فصل دوازدهم: اقتصاد
- فصل سیزدهم: استفاده از اراضی برای انرژی
- فصل چهاردهم: معرفی چند عملیات آبی مبتنی بر انرژی های تجدیدپذیر

دستیابی به آب پاکیزه با استفاده از انرژی خورشیدی فوتوولتاییک و باد به مواردی بیش از تکنولوژی نیاز دارد. کاهش هزینه سیستم‌ها یک مسئله‌ی حیاتی است، که در فصل ۱۲ به آن پرداخته شد. با این که هزینه‌های سیستم‌های خورشیدی فوتوولتاییک و همینطور هزینه‌های توربین‌های بادی به سرعت کاهش پیدا کرده‌اند، با نوع جدیدی از اقتصاد در مقایسه با سیستم‌های سنتی روبرو هستیم. بیشترین بخش هزینه سیستم‌های تجدیدپذیر مربوط به هزینه‌های اولیه آنها می‌شود، در حالی که "سوخت مصرفی" آنها رایگان است و هزینه‌های تعمیر و نگهداری آنها بسیار کمتر از سیستم‌های انرژی مرسوم است. بنابراین، پیدا کردن یک سیستم سرمایه‌گذاری که این ساختار هزینه‌ای متفاوت را در نظر بگیرد، یک مسئله‌ی حیاتی می‌باشد.

در موازات با تکنولوژی‌های جدید، نیازی حیاتی برای آموزش در سطوح مختلف احساس می‌شود. باید به کاربر نهایی که پیش از این نتوانسته از فرصت‌های فراهم شده توسط نیروی برق استفاده کند مشاوره داد. آموزش در سطوح مختلف شغل‌های فنی در جهت موفقیت عملیات‌های آبی استفاده شده در تولید انرژی‌های تجدیدپذیر ضروری است.

سیستم‌های تولید انرژی به زمین وابسته‌اند. این مسئله در فصل ۱۳ مورد بحث قرار گرفته است و طی آن، وابستگی سیستم‌های خورشیدی فوتوولتاییک و توربین‌های بادی به زمین با زمین‌های استفاده شده توسط سیستم‌های انرژی مرسوم، مقایسه شده‌اند.

طی چند سال گذشته تجربه‌های زیادی از استفاده از سیستم‌های خورشیدی فوتوولتاییک و توربین‌های بادی برای عملیات‌های آبی به دست آمده است. در فصل ۱۴، با ذکر چند مورد نشان داده می‌شود که چگونه انرژی‌های تجدیدپذیر به پمپاژ و آب شیرین کن‌ها اعمال شده‌اند.

فصل



اقتصاد

"بن مایه تمام سیاست‌های اقتصادی بایستی موضوعات مهمی مانند شان انسان و تحصیل منافع مشترک باشد"

سه جنبه‌ی اقتصاد در این فصل در نظر گرفته شده‌اند. هزینه‌های انرژی‌های تجدیدپذیر با هزینه‌های سوخت‌های فسیلی در قسمت ۱-۱۲ مقایسه شده‌اند. انرژی‌های تجدیدپذیر با بازار کار عظیمی روبرو هستند. همچنین، این امر تلاشی متقابل در آموزش و تحصیلات را می‌طلبد که در قسمت ۲-۱۲ به این بحث پرداخته ایم. در قسمت ۳-۱۲، بعضی از گزینه‌های تامین مالی و پرداخت، نقد و بررسی شده‌اند.

۱-۱۲ هزینه‌های انرژی‌های تجدیدپذیر

برای مقایسه‌ی هزینه‌های سیستم‌های خورشیدی فوتوولتاییک و بادی با تولیدکننده‌های مرسوم نیرو که از سوخت‌های فسیلی استفاده می‌کنند لازم است که هزینه‌های عملیاتی و همین‌طور هزینه‌های اولیه در نظر گرفته شوند. همان‌طور که در فصل‌های ۱ تا ۳ به آن‌ها اشاره شد، هنگامی که هزینه‌های سیستم‌های مختلف

تولید انرژی با یکدیگر مقایسه می‌شوند، معمولاً هزینه‌های وارده به سلامت انسان و محیط زیست از قلم می‌افتند.

۱۵۰. آب پاکیزه با استفاده از انرژی خورشیدی و باد: خارج از شبکه‌ی توزیع

۱-۱۲ هزینه‌های سرمایه‌ای اولیه در مقابل هزینه‌های سوخت

هزینه‌ی غالب در یک سیستم انرژی تجدیدپذیر، هزینه‌ی اولیه می‌باشد، که در آن، "سوخت" سیستم‌های خورشیدی فوتوولتاییک و سوخت توربین‌های بادی رایگان است.

یک سیستم خورشیدی فوتوولتاییک کامل از چندین جزء تشکیل شده است تا به ماژول‌های خورشیدی متصل گردد. معمولاً سلول‌های خورشیدی، بالاترین هزینه‌ی اولیه را ایجاد می‌کنند. هزینه‌ی کل سیستم شامل اینورترها (فصل ۵-۴ را ملاحظه فرمایید)، سازه‌هایی که تجهیزات و پنل‌ها بر روی آن‌ها سوار می‌شوند و مدارهای الکتریکی می‌باشد. همانطور که در فصل ۱۰ به آن اشاره شد، یکی از جوانب مهم، هزینه ذخیره‌سازی انرژی است، که در بسیاری از موارد یک سیستم باتری این نقش را ایفا می‌کند.

احتمالاً، تمامی این اجزا و قطعات توسط فروشنده‌های مختلفی تامین می‌شوند. حیاتی است که تمامی این اجزا برای بهترین و بالاترین بازده عملیاتی تنظیم شوند. علاوه بر این موارد، هزینه‌های اندک دیگری مانند هزینه سیستم‌های کنترل‌کننده برای مدیریت نیرو و هزینه‌های نیروی انسانی برای نصب تجهیزات وجود دارد. با کاهش چشمگیر قیمت سلول‌های خورشیدی، واضح است که هزینه‌های این قطعات تولیدکننده انرژی خورشیدی فوتوولتاییک در این گونه سیستم‌ها، بخش کوچکتری از هزینه‌ها را در بر می‌گیرد. بنابراین، در نظر گرفتن کل هزینه‌ی سیستم مسئله‌ای حیاتی است.

هزینه‌ی غالب در سیستم‌های انرژی تجدیدپذیر، هزینه‌ی اولیه آن است. هزینه‌ی غالب در سیستم‌های انرژی بادی نیز هزینه‌ی سرمایه‌گذاری و اولیه آن

است. برای سیستم‌های بادی واقع در خشکی، توربین‌ها بیشترین بخش هزینه‌های سرمایه‌ای را تشکیل می‌دهند. هزینه توربین‌ها (با در نظر گرفتن زیرساخت‌های الکتریکی و حمل نقل) بین ۶۴ تا ۸۴ درصد هزینه‌های سرمایه‌ای را تشکیل می‌دهد (IRENA, 2018). بیشترین هزینه کارکرد و تعمیر و نگهداری مربوط به خود توربین بادی می‌شود، و حدوداً ۵۰٪ از هزینه را تشکیل می‌دهد. برخلاف یک سیستم خورشیدی فوتوولتائیک، توربین بادی دارای قطعات متحرکی است، که همواره از دیدگاه تعمیر و نگهداری، نیازمند عملیاتی پیچیده‌تر می‌باشد. معمولاً، تعمیر و نگهداری توربین توسط تولیدکننده انجام می‌گیرد، که مجدداً باعث پیچیده‌تر شدن عملیات تعمیر نگهداری در مناطق دور افتاده می‌شود.

۲-۱-۲ هزینه تراز انرژی

هزینه تراز انرژی (LCOE)^۱ روشی برای بیان نسبت هزینه‌های طول عمر به انرژی تولیدی می‌باشد و به صورت هزینه/کیلووات ساعت (هزینه تقسیم بر کیلووات ساعت) بیان می‌شود. (به بخش ۵-۴-۱ مراجعه فرمایید). هزینه به صورت بهای کل هزینه‌های فعلی و آتی ساخت و اداره یک سیستم، طی طول عمر قطعی آن سیستم بیان می‌شود. با استفاده از مفهوم هزینه تراز انرژی می‌توان تکنولوژی‌های مختلفی مانند سیستم‌های خورشیدی فوتوولتائیک، بادی، هسته‌ای و سوخت‌های فسیلی و غیره را با یکدیگر مقایسه کرد، که در این مقایسه، سیستم‌ها طول عمرهای متفاوتی داشته و پروژه‌های مختلف اندازه‌هایی متفاوت و در عین حال هزینه‌های اولیه، ریسک و ظرفیت‌های متفاوتی دارند.

۱.۵۱. اقتصاد

از آن جا که هزینه اولیه قادر به ترسیم یک تصویر کلی از هزینه‌ها نیست، می‌توان با کمک هزینه تراز انرژی، تصمیمی آگاهانه در رابطه با برآورد یک پروژه

۱. LCOE: Levelized Cost Of Energy

گرفته شود.

یک محاسبه ساده‌ی هزینه‌ی تراز انرژی می‌تواند با استفاده از فرمول زیر صورت گیرد.

$$LCOE = \frac{\sum_{t=1}^n \frac{c(t) + om(t) + f(t)}{(1+r)^t}}{\sum_{t=1}^n \frac{e(t)}{(1+r)^t}}$$

که در آن

$c(t)$ = هزینه‌های اولیه در سال t

$om(t)$ = هزینه‌های تعمیر و نگهداری در سال t

$f(t)$ = هزینه‌های سوخت در سال t

$e(t)$ = انرژی الکتریکی تولید شده در سال t

r = نرخ تخفیف (نزول)

n = طول عمر (با واحد سال) سیستم

صورت کسر این معادله، مجموع هزینه‌ها در طی طول عمر می‌باشد. در حالی که مخرج انرژی تولید شده در همان مدت زمان می‌باشد.

البته که یکی از ویژگی‌های جذاب و بارز انرژی‌های تجدیدپذیر، رایگان بودن سوخت مصرفی آن‌ها است. هزینه‌ی اولیه و فاکتور ظرفیت (فصل ۱۰) دو پارامتر بسیار مهم می‌باشند. میزان تخفیف و هزینه‌های اداره‌ی سالانه، قسمت‌های اساسی مربوط به مسائل مالی و تامین هزینه‌ها هستند. محاسبه‌کننده‌های هزینه‌ی تراز انرژی آنلاین و رایگانی، به عنوان مثال در سایت آزمایشگاه ملی انرژی‌های تجدیدپذیر (NREL) واقع در آمریکا به آدرس <https://www.nrel.gov/analysis/tech-lcoe.html> می‌توان یافت. در نظر داشته باشید که فاکتورهای مهمی وجود دارند مانند نرخ زمان بهره‌وری محاسبه شده که در محاسبات هزینه‌ی تراز انرژی ذکر نشده‌اند.

۳-۱-۱۲ هزینه تراز سیستم‌های فوتوولتاییک خورشیدی

هزینه‌ی ماژول‌های فوتوولتاییک توسط هزینه مواد خام تعیین می‌شود (نوع نیمه رسانا، فریم فلزی، جعبه تقسیم‌ها و غیره). متوسط برآورد شده هزینه تراز انرژی سیستم‌های فوتوولتاییک خانگی بدون باتری‌های ذخیره‌کننده به صورت زیر است (WEC، ۲۰۱۶، فصل ۸):

۰٫۶۷-۰٫۳۸ دلار آمریکا به ازای هر کیلووات ساعت در سال ۲۰۰۸

۰٫۴۷-۰٫۱۴ دلار آمریکا به ازای هر کیلووات ساعت در سال ۲۰۱۴

همان‌طور که در جدول ۱۲-۱ مشاهده می‌فرمایید، میزان کاهش هزینه‌های نصب و راه‌اندازی سیستم‌های فوتوولتاییک خانگی (سیستم‌های فوتوولتاییک خانگی معمولاً بین ۰ تا ۴ کیلووات هستند) در بیشتر کشورهای غربی تقریباً یکسان بوده است

جدول ۱۲-۱: کاهش هزینه تراز انرژی برای نصب و راه‌اندازی سیستم‌های فوتوولتاییک خانگی

Table 12.1 LCOE reduction for residential PV installations.

Region	Price Reduction %	Time Period
California	42	2008–14
Other parts of U.S.	52	2008–14
Japan	42	2008–14
Italy	59	2008–13
Australia	52	2010–14

Source: Data from WEC (2016, Chapter 8).

{عبارات جدول Region: ناحیه California: کالیفرنیا Other parts of us: دیگر نواحی ایالات متحده Japan: ژاپن Italy: ایتالیا Australia: استرالیا Price reduction %: درصد کاهش قیمت Time Period: بازه‌ی زمانی}

Source: data from wec (2016,chapter 8): منبع داده‌ها: WEC (۲۰۱۶، فصل ۸)

ظاهراً هزینه تراز انرژی در نواحی‌ای با تابش خورشید بیشتر، مساعدتر است. علاوه بر این، اگر پروفایل تقاضا در طول مشابهی از ساعات تابش خورشید در روز باشد، نیاز به ظرفیت ذخیره‌سازی نیز کمتر است.

۴-۱-۱۲ هزینه تراز انرژی بادی

WEC (2016) برآورد کرده است که هزینه تراز انرژی بادی ساحلی از ۳۸۰ دلار آمریکا به ازای هر مگاوات ساعت در سال ۱۹۸۳ به ۷۰ دلار آمریکا در سال ۲۰۱۵ کاهش پیدا کرده است (با احتساب ارزش دلار آمریکا در سال ۲۰۱۵). بهبودهای پیوسته‌ی عملکرد به این معنی است که هزینه تراز انرژی برای سیستم‌های بادی در اواخر سال ۲۰۱۷، در پایین‌ترین حالت رکورد، سطح ۴۵ دلار آمریکا به ازای هر مگاوات ساعت را به ثبت رسانده است (لازارد^۱، ۲۰۱۷). بازه‌ی هزینه تراز انرژی سیستم‌های بادی ساحلی بسیار گسترده است، همان‌طور که در جدول ۲-۱۲ نشان داده شده است. آفریقا، اقیانوسیه و خاورمیانه بالاترین سطح میانگین و چین پایین‌ترین مقدار را دارد.

جدول ۲-۱۲: هزینه تراز انرژی سیستم‌های بادی ساحلی در بعضی از نواحی اصلی

Table 12.2 LCOE for onshore wind energy in some major regions.

Region	USD/MWh	USD/kWh
North America and Brazil	31–130	0.03–0.13
Africa, Oceania and Middle East	95–99	0.095–0.1
China	50–72	0.05–0.072

{عبارات جدول: Region: ناحیه North america and brazil: آمریکای شمالی و برزیل
Africa, oceania and middle east: آفریقا، اقیانوسیه و خاورمیانه China: چین
USD/MWh: دلار آمریکا به ازای هر مگاوات ساعت USD/kWh: دلار آمریکا به ازای هر کیلووات
ساعت}

همان‌طور که در شکل ۲-۱۲ نشان داده شده است، با مقیاس هزینه تراز انرژی، انرژی بادی ساحلی می‌تواند به نسبت سایر منابع انرژی تجدیدپذیر، برخی از کمترین هزینه‌های تولید الکتریسیته را داشته باشد (WEC, 2016).

۱. Lazard

۱۵۳. اقتصاد

از آنجایی که تولید منقطع است، بایستی هزینه‌های ذخیره‌سازی در راه‌اندازی‌های خارج از شبکه‌ی توزیع لحاظ گردد.

انرژی بادی ساحلی بهترین گزینه برای کاربری‌های فعلی جوامع است. به مرور زمان، هزینه‌های این فن‌آوری می‌تواند با سایر فن‌آوری‌های تولید انرژی قدیمی رقابت کند (WEC، ۲۰۱۶، فصل دهم). بنابراین، در حرفه انرژی بادی، بیشترین توجه به توسعه‌ی تکنولوژی در کاربری‌های ساحلی معطوف می‌شود.

طبق تخمین‌ها، هزینه تراز انرژی سیستم‌های بادی ساحلی در جهان به احتمال زیاد تا ۲۶٪ بین سال‌های ۲۰۱۶ و ۲۰۲۵ کاهش پیدا کند، که علت اصلی آن نیز هزینه‌های پایین‌تر نصب و راه‌اندازی، فاکتورهای ظرفیت بالاتر و کاهش هزینه‌های نگهداری و بهره‌برداری، هابهای بلندتر، روتورهای با قطر بیشتر و توربین‌های دارای توان‌های نامی بالاتر خواهد بود. البته نباید از یاد برود که نصب و راه‌اندازی‌های مقیاس بالا بیشترین پتانسیل را برای کاهش هزینه‌ها دارند. پروژه‌های بادی با فرض داشتن عمر عملیاتی میان ۲۰ تا ۲۵ سال اجرا می‌شوند.

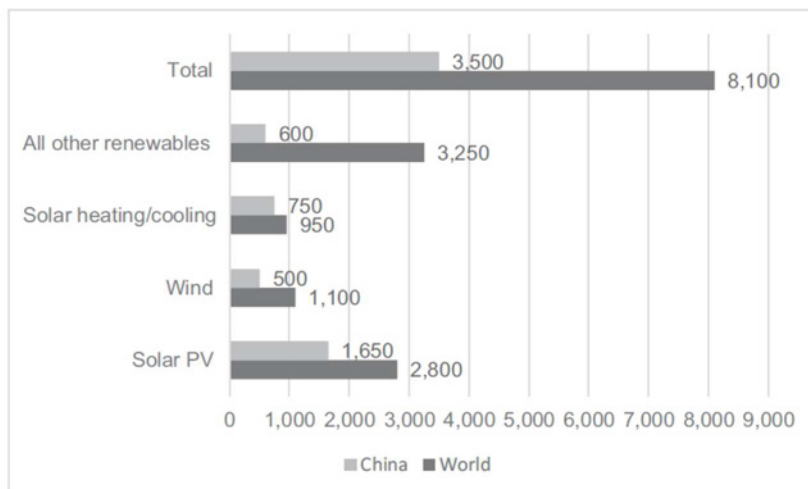
۲-۱۲ فرصت‌های شغلی

در مصاحبه‌ها با متخصصین انرژی‌های تجدیدپذیر، این پرسش مطرح شد که با وجود فعالیت فعلی ۸,۱ میلیون نفر در این صنعت به چه تعداد شغل برای صنعت انرژی‌های تجدیدپذیر تا سال ۲۰۵۰ نیاز خواهد بود، (شکل ۱-۱۲ را ملاحظه فرمایید). ۷۳٪ از متخصصین معتقدند که به بیش از ۲۵ میلیون شغل نیاز خواهد بود و ۴۱٪ از ایشان تخمین می‌زنند که به بیش از ۴۵ میلیون شغل نیاز خواهد بود (REN21, 2017a).

به میلیون‌ها شغل در قسمت انرژی‌های تجدیدپذیر نیاز خواهد بود.

در آینده، صنایع خدمات رفاهی عمومی در کشورهای جنوب صحرای آفریقا و

جنوب آسیا نیاز دو گروه اصلی از مشتریان را تامین خواهند کرد. یکی از این گروه‌ها عده کثیری از مردم هستند که در مناطق شهری کشورهای در حال توسعه‌ای زندگی می‌کنند که نیروی الکتریکی از طریق سیستمی پیچیده، متشکل از سیم‌هایی که غالباً بیهوده در هم تنیده شده‌اند به دست آن‌ها می‌رسد. اکثر این سیستم‌ها میزان تلفات شبکه‌ی بسیار بالایی دارند و بسیاری از مشتریان نمی‌توانند هزینه الکتریسیته را طبق تعرفه‌ها بپردازند. گروه دیگر، تمام افرادی هستند که خارج از شبکه‌ی توزیع و در نواحی دور افتاده زندگی می‌کنند. امروزه بسیاری از این نواحی تحت پشتیبانی سازمان‌های غیردولتی و کارآفرین‌های محلی هستند. بایستی تلاش‌های بیشتری در صنایع خدمات رفاهی عمومی صورت گیرد تا الکتریسیته‌ی خارج از شبکه‌ی توزیع در اختیار چنین نواحی روستایی قرار گیرد.



{عبارات شکل ۱-۱۲ Solar pv: فوتوولتاییک خورشیدی Wind: بادی Solar heating/cooling: گرمایش یا سرمایش خورشیدی All other renewables: مجموعه سایر تکنولوژی‌های تجدیدپذیر Total: مجموع China: چین World: جهان}

شکل ۱-۱۲: تعداد تخمینی شغل‌های مستقیم و غیر مستقیم در صنعت انرژی‌های تجدیدپذیر (به غیر از انرژی برق آبی) ضرب در هزار. نوارهای بالایی نشان می‌دهند که بیشترین سهم بازار این صنعت متعلق به چین است. منبع: داده‌های برگرفته از REN21، (a) (2017) جدول شماره ۱

واضح است که چالش‌های فنی و مدیریتی برای این دو گروه اصلی مصرف‌کننده بسیار متفاوت هستند.

بانک جهانی نیز در گزارشی تخمینی از فرصت‌های شغلی ارائه نموده است (۲۰۱۷). به مهارت‌های شغلی زیادی در زمینه‌های تولید، نصب و بهره‌برداری احساس نیاز می‌شود. (برای نمونه جهت تولید پنل‌های خورشیدی، و یا تولید و نصب سکوی مورد نیاز جهت نصب پنل‌ها). جدول ۳-۱۲ برگزیده‌ای از بعضی از برآوردهای مختلف را نشان می‌دهد. در نظر داشته باشید که برآوردها بر اساس نصب و راه‌اندازی پروژه‌های نسبتاً بزرگ انجام شده‌اند.

۱-۲-۱۲ ایجاد شغل در صنعت خورشیدی

تقریباً ۳ میلیون نفر به صورت مستقیم و غیرمستقیم توسط بخش انرژی خورشیدی در سال ۲۰۱۶ مشغول به کار بوده‌اند (به شکل ۱-۱۲ مراجعه فرمایید) و وسعت این صنعت همچنان گسترده‌تر می‌شود. همان‌طور که در شکل ۵-۳ نشان داده شده است، بیشتر تقاضا و تجهیزات خورشیدی در آسیا مشاهده می‌شود، و در نتیجه بیشتر شغل‌های این صنعت نیز در آسیا قرار دارند، در حالی که میزان به کارگیری افراد در این بخش در اروپا کاهش یافته است. به طور مشخص، نیاز به مشاغل متعددی تنها در بخش تولید، بلکه در بخش‌های بهره‌برداری و نگهداری نیز وجود دارد. همان‌طور که در فصل ۲ و فصل ۸-۳ به آن اشاره نمودیم، در راستای گسترش استفاده از انرژی‌های تجدیدپذیر در مناطق دورافتاده واضح است که نه تنها شغل‌های جدیدی ایجاد خواهند شد، بلکه آموزش‌های بیشتری نیز در تمامی سطوح بایستی تامین گردد (جونز^۱ و همکاران، ۲۰۱۸). از آن جا که قرار است سهم انرژی‌های تجدیدپذیر به طور چشمگیری افزایش پیدا کند، باید تعداد افراد بسیار بیشتری نسبت به امروز در این صنعت استخدام شده و آموزش داده شوند.

۱۵۵. اقتصاد

جدول ۳-۱۲: فرصت‌های شغلی در سیستم‌های انرژی تجدیدپذیر

Table 12.3 Job opportunities in renewable energy systems.

Energy Source	Construction Time	Construction + Installation Job Years/MW	Manufacturing Job Years/MW	Operation + Maintenance Jobs/MW
	Years			
Wind onshore	2	2.5	6.1	0.2
Solar PV	1	9	11	0.2
Solar thermal	2	5.3	4	0.4
Solar heat		7.4		

Source: Data from World Bank (2017, Figure 4.15).

{عبارات جدول Energy Source: منبع انرژی Construction time: زمان ساخت و ساز
 Construction+installation: ساخت و ساز+نصب و راه‌اندازی Job years/mw: سال کار به ازای یک
 مگاوات {بعنوان نمونه ۳ سال کار به ازای یک مگاوات انرژی فوتوولتاییک خورشیدی}
 Manufacturing: تولید Operation+Maintenance: بهره‌برداری+نگهداری
 Jobs/Mw: شغل به ازای یک مگاوات Years: سال {(سال، ۳ سال) Wind onshore: بادی ساحلی
 Solar pv: فوتوولتاییک خورشیدی Solar thermal: حرارتی خورشیدی Solar heat: گرمای خورشیدی
 (استفاده از گرمای خورشید برای گرم کردن خانه)
 منبع: داده‌ها برگرفته از بانک جهانی (۲۰۱۷ و شکل ۴، ۱۵)

۲-۲-۱۲ ایجاد شغل در صنعت (انرژی) بادی

بیش از یک میلیون نفر امروزه در سراسر جهان در بخش صنایع انرژی بادی مشغول به فعالیت هستند که نیمی از آنها در آسیا قرار دارند. (شکل ۱-۱۲). تخمین زده می‌شود که انرژی بادی می‌تواند به تنهایی در سال ۲۰۳۰ بیش از ۴ میلیون

شغل را تامین کند (WEC، ۲۰۱۶، فصل ۱۰)، که این مقدار افزایشی ۴ برابری نسبت به امروز است.

ارکان نصب و راهاندازی انرژی بادی صلاحیت و تجهیزات خاصی را می‌طلبد که معمولاً به صورت محلی در دسترس نیستند. به عنوان مثال، سوار کردن توربین و دکل نیاز به تخصص بسیار بالاتری نسبت به سر هم کردن یک آرایه‌ی فوتوولتاییک خورشیدی دارد. علاوه بر این، نصب دکل‌های بادی بلند بعضاً نیاز به جرثقیل‌های بسیار بلند یا حتی هلیکوپتر دارد. دیگر فعالیت‌ها، مانند طرح ریزی برای محل نصب، معمولاً می‌تواند با توجه به عوامل محیطی صورت گیرند.

بسیاری از قسمت‌های یک توربین بادی، به خصوص تیغه‌ها و اتاقک موتور، واحدهای بزرگی هستند. ناگفته نماند که تولید قطعات در فاصله زیادی از محل نصب یک مزیت محسوب می‌شود. اگر چه، این امر نیازمند مواد خام، کارگران ماهر و البته بازاری برای سودآور نمودن تولید است. حمل واحدهای بزرگ در مسافت‌های طولانی هزینه‌بر بوده و می‌تواند در بسیاری از نواحی دور افتاده امکان‌پذیر نباشد.

۱۵۶. آب پاکیزه با استفاده از انرژی خورشیدی و باد: خارج از شبکه‌ی توزیع

بعضی از فعالیت‌ها نیازمند تخصص و دانشی خاص در بخش باد هستند که لزوماً نمی‌توان در مراحل اولیه‌ی طراحی و توسعه به صورت محلی به آنها دسترسی داشت. فعالیت‌های اولیه در فاز طرح‌ریزی پروژه شامل انتخاب محل، امور مالی و فنی می‌شوند.

۳-۱۲ تامین سرمایه

تامین سرمایه یک مسئله‌ی کلیدی است و برای تحقیق و توسعه عملیات‌های تولید انرژی و عملیات‌های آبی با مقیاس کوچک نیاز به توجه و تامین سرمایه‌ی بیشتری می‌باشد. معطوف کردن توجه صرفاً به بهره‌برداری‌های مقیاس بالا کاری خطرناک است. می‌توان فقدان سرمایه‌گذاری را بزرگترین مانعی باشد که پیش روی دسترسی جهانی به سیستم‌های آب پاکیزه‌ای که از سیستم‌های انرژی تجدیدپذیر

نیرو می‌گیرند، قرار دارد.

مؤسسات چند جانبه مانند بانک جهانی، بانک توسعه‌ی آسیا (ADB) و بانک توسعه‌ی آفریقا (AfDb) سرمایه‌گذاری‌های مهمی برای توسعه‌ی بیشتر و اجرای پروژه‌های انرژی‌های تجدیدپذیر فراهم می‌کنند. همچنین مؤسسات مهمی مانند پروژه‌ی دسترسی سبز جهانی بانک دویچه^۱ (UGEAP) برای آفریقا وجود دارند. این مؤسسات با مؤسسات مالی محلی همکاری می‌کنند تا به بانک‌های محلی توانایی اهدا وام‌های میان‌مدت و بلندمدت تقسیم شده میان شرکت‌ها و پیشگامان انرژی‌های تجدیدپذیر را طولانی‌تر را بدهد.

هنوز در جهان اجرا و مدیریت همزمان عملیات‌های انرژی و آبی باید رایج نیست. زنجیره‌های تحویل آب و انرژی معمولاً در قالب "سیلو" مدیریت می‌شوند، که سیلوها نه تنها مربوط به حرفه‌ها و بخش‌های مختلف است، بلکه در ارتباط با مؤسسات نیز هستند. واضح است که زیرساخت‌های انرژی و آب ما بایستی به صورتی یکپارچه‌تر طراحی و اداره شوند. این چالش حتی آژانس‌های دولتی و وزارتخانه‌ها را نیز شامل می‌شود. می‌توان به دولت مالزی برای تاسیس وزارت انرژی، تکنولوژی‌های سبز و آب بعنوان الگوی مناسبی اشاره نمود. همکاری میان سهامداران نیز بایستی تقویت شود. اهداف توسعه‌ی پایدار آب پاکیزه و انرژی پاک سازمان ملل برای همه واضح است و باید ارتباط میان آن‌ها نیز بهتر شناخته شود (به شکل ۱-۲ مراجعه فرمایید).

۱-۳-۱ تامین مالی نواحی روستایی

تجارب برق‌رسانی به نواحی روستایی در منابعی مانند IEA (2013) ثبت شده‌اند. واضح است که لازم است از نوعی سیستم تخصیص یارانه (که در آن کاربران نهایی، بهای واقعی برق را نمی‌پردازند) در نواحی روستایی‌ای که تراکم جمعیت پایین‌تر و پراکندگی جمعیتی بیشتری دارند استفاده شود.

۱. Deutsche Bank's Universal Green Access Program

از آن جایی که هزینه‌های اولیه و همینطور هزینه‌های بهره‌برداری بایستی در نظر گرفته شوند، هر دوی این جنبه‌ها در سیستم‌های تخصیص یارانه منعکس شده‌اند. به هر حال، همان‌گونه که قبل‌تر گفته شد، هزینه‌ی اولیه، هزینه‌ی غالب در سیستم‌های انرژی تجدیدپذیر می‌باشد. بعبارتی دیگر، بایستی تمرکز سیستم تخصیص یارانه بر هزینه‌های سرمایه‌ای غالب باشد. این مسئله یک تغییر چشمگیر برای مقامات محلی مسئول تعیین یارانه تعرفه برق‌رسانی در نواحی روستایی می‌باشد. همچنین این قضیه تغییر چشم‌اندازی را برای سازمان‌های اهداکننده ایجاد می‌کند.

در مقایسه با ژنراتورهای دیزل مرسوم، تکنولوژی‌های جدید به علت داشتن تعداد بالاتر قطعات، ریسک بیشتری به همراه دارند. سیستم نه تنها دارای تجهیزات الکترونیکی ضروری برای استفاده از انرژی بادی یا انرژی فوتوولتاییک خورشیدی است، بلکه شامل اجزای تامین و تصفیه‌ی آب مانند پمپ‌ها و غشاهای آب شیرین کن نیز می‌شود. که با توجه به این قطعات و اجزا متعدد، مساله دسترسی به قطعات یدکی و تامین شدن سیستم‌های توزیع برای مناطق روستایی مطرح می‌شود.

برای مقابله با چالش‌های موجود در فن‌آوری‌های نوین و کاهش خطرات، به مشارکتی عمومی نیاز است. بخش خصوصی می‌تواند ظرفیت تامین کرده و متضمن کیفیت نصب، بهره‌برداری و نگهداری باشد، و بخش عمومی نیز می‌تواند علی‌الخصوص طی سالهای اول برای ایجاد مهارت‌های مورد نیاز و توسعه بازار در تامین یارانه‌ها و پشتیبانی مالی مشارکت کند. همان‌طور که در گزارش بانک جهانی (۲۰۱۷) ثبت شده است، با کمک تجربیات حاصل از نصب و راه‌اندازی‌های موفق می‌توان چند فاکتور مهم موفقیت را پیشنهاد نمود:

- در نظر گرفتن انواع تقاضا، علایق و محدودیت‌های مشتریان محلی، از جمله میل به پرداخت با سیستم‌های پرداخت در تلفن همراه.
- مشارکت قوی در کل طول زنجیره‌ی تامین، از دولت گرفته تا عرضه‌کننده‌های سرویس بخش خصوصی؛
- تطبیق یافتن تحولات بازار با شرایط محلی به منظور پشتیبانی از راهکارهای

انرژی پاک موفق و پایدار.

۲-۳-۱۲ مدل‌های پرداخت

استفاده از تلفن‌های هوشمند برای پرداخت هزینه سرویس‌های انرژی در کشورهای رو به توسعه هر روز رایج‌تر می‌شود. در سال ۲۰۱۶ بیش از ۳۲ شرکت واقع در بیش از ۳۰ کشور آفریقایی و کشورهای در حال توسعه آسیایی، محصولات فوتولتاییک خورشیدی را به بیش از ۷۰۰,۰۰۰ خانوار می‌فروختند. اجرت اولیه و پرداخت‌های معمولی از طریق انتقال پول با تلفن‌های همراه انجام می‌شوند.

۱۵۸. آب پاکیزه با استفاده از انرژی خورشیدی و باد: خارج از شبکه‌ی توزیع

با گذر زمان، مدل‌های پرداخت هم زمان با مصرف^۱ رایج‌تر می‌شوند. تطبیق هزینه قابل پرداخت توسط کاربر نهایی و سودآوری قابل قبول برای تامین‌کننده، یک فاکتور کلیدی محسوب می‌شود. به عنوان مثال، شرکت‌های انرژی خورشیدی مبتنی بر PAYG به دنبال ارائه‌ی سرویس‌های انرژی با قیمتی هستند که بتواند با هزینه پرداختی فعلی مشتری برای نفت سفید، شمع، باتری و سرویس‌های انرژی بی‌کیفیت پرداخت می‌کند قابل رقابت باشد. این امر البته شامل تجهیزات سیستم‌های آب و پتانسیل ایجاد بهبودی نیز می‌شود، مانند افزایش خروجی کشاورزی با استفاده از آبیاری. معمولاً دو روش برای پرداخت همزمان با مصرف پیشنهاد می‌شوند:

- کاربر نهایی هزینه‌ای را برای امکان مالکیت سیستم می‌پردازد، ولی در واقع هیچ وقت مالک آن نمی‌شود؛
- کاربر نهایی بعد از پرداخت هزینه‌ی سیستم، مالک سیستم می‌شود. کاربر هزینه را به صورت مرتب و در تناوبی روزانه، ماهانه یا سالانه پرداخت می‌کند.

سرمایه‌گذاری در شرکت‌های انرژی خورشیدی پرداخت همزمان با مصرف از عملاً سطح صفر در سال ۲۰۱۲ به ۲۲۳ میلیون دلار آمریکا در سال ۲۰۱۶ افزایش

۱. pay-as-you-go (PAYG)

یافته است (REN21, 2017).

۴-۱۲ مطالعه‌ی بیشتر

هافمن^۱ (2017b) آنالیز و تشریحی بخردانه درباره‌ی نقش یارانه‌ها، که بیشتر آن حاصل تجربه خودش است، ارائه می‌کند. مابقی فصل یک تشریح آموزنده از تامین مالی سیستم‌های فوتوولتاییک خورشیدی از یک دیدگاه آمریکایی می‌باشد.

وردی^۲ و همکاران (۲۰۱۸) فصل ۶، منبعی ارزشمند از اطلاعات برای هر کسی که مایل به کسب اطلاعات بیشتری راجع به تامین مالی انرژی‌های تجدیدپذیر در آفریقا و خاورمیانه است، می‌باشد.

هولد^۳ و همکاران (۲۰۱۴) هزینه تراز انرژی سیستم‌های فوتوولتاییک در آفریقا و خاورمیانه، به صورت‌های متصل و همینطور خارج از شبکه‌ی توزیع را محاسبه کرده است.

IRENA (2017c) واقعیت‌های زیادی را درباره‌ی شغل‌ها و انرژی‌های تجدیدپذیر ارائه نموده است.

IEA (2016b) ارزش سیستم باد و فوتوولتاییک خورشیدی را مورد بحث قرار می‌دهد. این گزارش بر اهمیت به حداکثر رساندن ارزش کلی نیرو و سیستم‌های انرژی وسیع‌تر به جای کاهش هزینه‌ی تولید انرژی بادی و خورشیدی به صورت مجزا، تاکید می‌کند.

۱. Hoffman

۲. Varadi

۳. Huld

فصل



استفاده از اراضی برای انرژی

"تغییرات در استفاده از اراضی در ارتباط با توسعه‌ی انرژی می‌تواند تاثیر چشمگیری بر کیفیت فیزیکی، اجتماعی، اقتصادی و ظاهری محیط داشته باشد. به همین صورت، کیفیت آب و هوای محلی، در دسترس بودن آب، میزان سر و صدا، مبانی مالیات شهری، ارزش زمین، فرصت‌های شغلی و سرشت جامعه می‌تواند تحت تاثیر قرار بگیرد"

گزارش دپارتمان انرژی آمریکا درباره‌ی کاربری زمین و انرژی در سال ۱۹۷۵

کاربرد اراضی هنگام مورد خطاب قرار دادن همبستگی میان آب، انرژی و غذا یک مسئله‌ی حیاتی می‌باشد. رقابت برای اراضی در سطوح مختلفی وجود دارد و واضح است به دلیل افزایش جمعیت و همین‌طور به دلیل افزایش درآمدها، دنیا با افزایش تقاضا برای مواد غذایی مواجه است. در همین حال، این نگرانی که بازده کشاورزی به دلیل کمبود آب کاهش پیدا کند، وجود دارد.

صحبت‌هایی حول این مساله که انرژی بادی و فوتوولتاییک خورشیدی ممکن است به اراضی حاصلخیز نیاز داشته باشند و مرتباً تولید مواد غذایی را تهدید می

کنند کم و بیش به گوش می‌رسد. در مقابل، پنل‌های فوتوولتاییک خورشیدی به علت بهره بردن از حداکثر فضای بلا استفاده، بسیار سودمند هستند. نیاز به اراضی در انواع مختلف تولید الکتریسیته متفاوت است (اولسون^۱، ۲۰۱۵). سیستم‌های بزرگ برق آبی نیاز به فضای مشخصی برای ذخیره‌سازی آب دارند. معمولا یک فضای ذخیره‌سازی آب چند منظوره وجود دارد، که برای ذخیره‌سازی آب و همینطور برای محافظت در مقابل سیلاب در تشکیلات برق آبی از آن استفاده می‌شود. برای انرژی بادی، کل مساحت محصور شده توسط مرزهای سایت به عنوان اراضی مورد استفاده تعریف می‌شود، با این حال می‌توان از فضای بین برج‌ها برای کشاورزی یا به عنوان جنگل استفاده نمود.

۱۶۰. آب پاکیزه با استفاده از انرژی خورشیدی و باد: خارج از شبکه‌ی توزیع

انرژی بادی واقع در دریا به نحو خود بر محیط زیست تاثیر می‌گذارد، ولی رقابت‌های بسیار کمی برای استفاده از این اراضی وجود دارد. الزاماً نیاز نیست که سیستم‌های فوتوولتاییک خورشیدی در زمین‌های حاصلخیز نصب شوند. نصب و راه‌اندازی سیستم‌های گرمایش خورشیدی و فوتوولتاییک خورشیدی تاثیر بسیار کمی بر اراضی می‌گذارد، از آن جایی که هر روز یکپارچگی این سیستم‌ها با ساختمان و سازه‌هایی که از آن‌ها استفاده می‌کنند افزایش می‌یابد.

انرژی حاصل از اراضی ذکر شده به طور خلاصه در جدول ۱-۱۳ ذکر شده است. مسلماً انرژی فوتوولتاییک خورشیدی از نظر استفاده از اراضی حتی اگر فاکتور ظرفیت برای آن مساحت نسبتاً پایین باشد دارای قابلیت رقابتی بسیار بالایی است. در آزمایشگاه ملی انرژی‌های تجدیدپذیر ایالات متحده‌ی آمریکا (NREL)^۲، استفاده از اراضی برای تولید انرژی خورشیدی در مقیاس همگانی مورد مطالعه قرار گرفته است. میزان استفاده از اراضی در بازه وسیعی تغییر می‌کند. میانگین مجموع زمین‌های استفاده شده حدوداً ۳۶۰۰۰ متر مربع به ازای هر مگاوات یا حدود ۲۸

۱. Olsson

۲. www.solarindustrymag.com/online/issues/

مگاوات به ازای هر کیلومتر مربع برآورد شده است.

جدول ۱-۱۳: خروجی انرژی منابع مختلف انرژی تجدیدپذیر از مقدار مساحتی خاص

Table 13.1 Energy output from a given area for different renewable sources (Olsson, 2015).

	Hydropower	Wind	Solar PV
Power density MW/km^2	0.1–17	5–8	20–110
Capacity factor	0.6	0.3	0.2
Annual energy output GWh/km^2	0.5–90	13–21	35–190

{عبارات جدول: Hydropower: برق آبی Wind: بادی Solar Pv: فوتولتایک خورشیدی
Power density MW/km^2 : چگالی انرژی مگاوات به کیلوگرم Capacity factor: فاکتور ظرفیت
Annual energy Output GWh/km^2 : میزان انرژی خروجی سالانه گیگاوات ساعت به ازای هر کیلومتر
مربع}

نیاز به اراضی انرژی بادی بسته به اندازه‌ی توربین‌ها و گستره‌ی زمین دارد. در نواحی تپه‌ای ممکن است توربین‌های بادی در راستای خط‌الراس قرار گیرند. در زمین‌های هموار، توربین‌های بادی همگون‌تر نصب شده و به اراضی بیشتری نیاز دارند. در مزارع بادی در آمریکا، به طور متوسط به ازای هر مگاوات، ۳۳۳۰۰۰ متر مربع مساحت زمین و یا ۳ حجم از ظرفیت برابر با ۳ کیلووات به ازای هر مترمکعب است.

فاصله‌ی بین توربین‌ها در مزرعه‌ی بادی ممکن است زیاد باشد. به هر حال، تنها کسر کوچکی (۳-۵٪) از زمین توسط توربین‌های بادی اشغال می‌شود. سایر مناطق استفاده نشده زمین را می‌توان برای کشاورزی یا خطوط حمل و نقل مورد بهره‌برداری نمود. طبیعتاً، در بعضی نواحی دور افتاده، به ندرت مزارع بادی بزرگ وجود خواهند داشت، به جای آن، توربین‌های بادی مستقلی نصب می‌شوند که مقدار بسیاری کمی زمین اشغال می‌کنند.

۱۶۱. استفاده از اراضی برای انرژی

سیستم‌های فوتوولتاییک نصب شده بر روی پشت بام‌ها سهم نامشخصی از بازار جهانی را دارا هستند. در بسیاری از کشورها، آمار سیستم‌های فوتوولتاییک پشت بامی و فوتوولتاییک صنعتی-عمومی به طور جداگانه در دسترس نیست. شورای جهانی انرژی (WEC، ۲۰۱۶، جدول ۷) گزارش نموده است که تنها ۴ کشور اصلی در استفاده از سیستم‌های فوتوولتاییک خورشیدی (ژاپن، آلمان، آمریکا و استرالیا) به منظور صرفه‌جویی در اراضی، سیستم‌های فوتوولتاییک را روی سقف‌ها نصب می‌کنند که باعث صرفه‌جویی بیش از ۸۵۰۰۰ هکتار (۸۵۰ کیلومترمربع) شده است.

سلول‌های خورشیدی با روش‌های خلاقانه‌ای مورد استفاده قرار می‌گیرند تا بتوان همزمان در آب و همین‌طور در اراضی صرفه‌جویی شود (به WEC، ۲۰۱۶، بخش ۳-۸ مراجعه فرمایید). در ژاپن، ایستگاه انرژی خورشیدی شناور ۱۳,۷ مگاواتی یاماگورا از بیش از ۵۰۰۰۰ ماژول خورشیدی تشکیل شده است که سطحی معادل ۱۸۰۰۰۰ مترمربع از آب را می‌پوشانند، به عبارتی دیگر، ۷۶ مگاوات به ازای هر کیلومتر مربع. آن‌ها بر روی حوضچه‌ی ذخیره‌ی سد یاماگورا نصب شده‌اند، که این سد در ناحیه چیب^۱ در شرق توکیو قرار دارد. پنل‌ها علاوه بر حفظ زمین‌های حاصلخیز، تبخیر سطحی آب پشت سد را نیز کاهش می‌دهند. این نیروگاه در ماه مارس به طور کامل مورد بهره‌برداری قرار گرفت.

سازه‌ای مشابه در هندوستان در حال توسعه می‌باشد. در مرحله‌ی اول، یک پروژه‌ی پنل‌های خورشیدی در ناحیه گوجارات^۲ در شمال غرب هندوستان، یک قسمت ۷۵۰ متری از یک کانال آب با سلول‌های خورشیدی پوشیده شده است، که قادر به تولید ۱ مگاوات انرژی الکتریکی می‌باشد. پوشاندن کانال با پنل‌های خورشیدی باعث حفظ شدن زمین‌های کشاورزی و در عین حال کاهش اتلاف آب از

۱. Chiba

۲. Gujarat

طریق تبخیر سطحی می‌شود (شوکل^۱ و همکاران، ۲۰۱۶). بنا بر گزارش WEC (۲۰۱۶)، پنل‌های خورشیدی این کانال می‌توانند باعث حفظ اراضی زیادی به اندازه ۲ هکتار به ازای هر مگاوات شوند. این مقدار برابر است با ۵۰ مگاوات بر کیلومترمربع انرژی پنل خورشیدی (با بخش‌های ۲-۸ و ۳-۸ مقایسه کنید).

فصل

۱۴

معرفی چند عملیات آبی مبتنی بر انرژی‌های تجدیدپذیر

"یادگیری با تحرک و با اشتباهاتمان رخ می‌دهد"

یوهان ولفگانگ گوته (۱۷۴۹ - ۱۸۳۲)

تا به اینجا، کاربردهای مختلف انرژی‌های تجدیدپذیر در عملیات‌های آبی تشریح شدند. بعضی از آنها دارای کاربری عمومی و بعضی نیز در مقیاس‌های کوچک کاربرد دارند. هدف ما این است که بتوانیم الگوی هزینه‌ها و بازدهی انرژی‌های تجدیدپذیر در عملیات‌های آبی را با توجه به کاربرد آنها در مقیاس‌های مختلف و همین‌طور در زمان عدم دسترسی به داده‌های ضروری ترسیم نماییم. بعضی از تاسیسات به شبکه‌ی توزیع برق متصل هستند که از این اتصال می‌توان برای متعادل کردن تولید و بار استفاده کرد و مابقی نسبت به شبکه‌ی توزیع منزوی هستند.

۱-۱۴ کشورهای پر درآمد در مقایسه با کشورهای در حال توسعه

نیاز به برقراری توازن میان تولید و بار ممکن است بین کشورهای پردرآمد و کشورهای در حال توسعه بسیار متفاوت به نظر برسد. مردم ساکن در کشورهای پردرآمد در تمام شبانه‌روز به الکتریسیته نیاز دارند و سطح بالای اختلال در شبکه

توزیع برق با این نیاز همخوانی ندارد، در حالی که مردمی که برای اولین بار انرژی الکتریکی دریافت می‌کنند به احتمال بیشتری قادر به تحمل کردن قطعی توزیع الکتریسیته در طول شب هستند.

۱۶۴. آب پاکیزه با استفاده از انرژی خورشیدی و باد: خارج از شبکه‌ی توزیع

این مساله جاه‌طلبی‌های مربوط به ذخیره سازهای انرژی را توجیه می‌کند. (به فصل ۲-۱۰ مراجعه فرمایید)

اقتصاد و جنبه‌های اقتصادی بسیار مهم هستند. همانطور که پروفیسور آخلش لاکتکیا^۱، از دانشگاه دولتی پن آمریکا می‌گوید "مردم فقیر نیازی به پر بازده‌ترین منابع ندارند. آن‌ها صرفاً به ارزان‌ترین منابع و صرفاً یک تلنگر کوچک برای بهبودی زندگی خود نیاز دارند؛ این مسئله به ما در تحقیقاتمان انگیزه داد." تحقیقاتی در زمینه توسعه سلول‌های خورشیدی با بازدهی کمتر (تا ۱۷٪) و سطح مناسبی از تولید انرژی با هزینه بسیار پایین‌تری نسبت به سلول‌های خورشیدی موجود در بازار در حال انجام است. به جای استفاده از سیلیکون، محققین در حال بررسی نیتريد گالیوم ایندیوم هستند، که می‌تواند با خواص نیمه رسانایی خود مقداری منفعت داشته باشد.

واضح است که انرژی‌های تجدیدپذیر می‌توانند نقش موثری در افزایش دسترسی انرژی به جوامع کشورهای در حال توسعه داشته باشند. با این حال، بیشتر این کشورها از کمبود متخصصین فنی برای به کارگیری این تاسیسات رنج می‌برند. همان‌گونه که پیش‌تر گفته شد، کمبود منابع انسانی محلی، مانعی کلیدی در برابر به ثمر نشاندن پتانسیل بالای توسعه انرژی‌های تجدیدپذیر می‌باشد. بنابراین، مهم است که از آموزش مسائل فنی در این نواحی اطمینان خاطر حاصل شود. کشورهای پردرآمد مسئولیت عظیمی در قبال عملی شدن این امر بر عهده دارند. این امر می‌تواند توسعه‌ی صنایع محلی را میسر ساخته و انرژی‌های تجدیدپذیر را برای آن کشور به ارمغان بیاورد.

۲-۱۴ آبیاری و پمپاژ آب

میزان آب مورد نیاز جهت آبیاری (IWR) برای هر زمین فرق می‌کند و به نوع محصول بستگی دارد. مقادیر (IWR) می‌تواند بین ۲۰ تا ۷۰ مترمکعب بر هکتار در روز باشد (کامپانا و همکاران، ۲۰۱۵). برای مقایسه، یک میلی متر بارش مطابق ۱۰ مترمکعب بر هکتار می‌باشد.

مثال ۱-۱۴: پمپاژ برای آبیاری با استفاده از انرژی فوتوولتاییک خورشیدی، سنگال

یک سیستم پمپاژ کم هزینه‌ی ساده فوتوولتاییک خورشیدی در سال ۲۰۱۴ در سنگال اجرا شده بود. (www.youtube.com/watch?v=bPvPJuvLw9Q) منبع آب بالقوه، رود کوچکی در آن نزدیکی است و برای این منظور از سیستم پمپاژ برای آبیاری استفاده می‌شود. پنل‌های خورشیدی در حال ارزان شدن بودند و چالش جدید، پیدا کردن دیگر اجزای سیستم بود. پمپ‌های آب قابل اعتمادی وجود دارند که البته از پنل‌های خورشیدی گران‌تر هستند.

سیستم دارای ۵ پنل خورشیدی با ظرفیت $5 \times 80W = 400W$ می‌باشد. در سنگال پنل‌های خورشیدی راحتی می‌توان از کنار جاده یافت.

قیمت این پنل‌ها کمتر از ۱ دلار آمریکا بر وات بود. پنل‌ها بر روی یک ارابه‌ی چرخ دار نصب شده‌اند که به راحتی می‌توان به اطراف حرکتشان داد. این تفکر خلاقانه باعث شد تا بتوان پنل‌ها را به موقعیت مناسب، به سمت خورشید و دور از سایه درخت‌ها برده شوند. به عبارت دیگر، آن‌ها به یک سیستم موقعیت‌یابی دستی تبدیل شدند. پنل‌ها در نزدیکی محل آبیاری و در محلی که کمی از محل زندگی مردم فاصله داشته باشد منتقل شدند تا احتمال به سرقت رفتنشان از بین برود. و با استفاده از ارابه می‌توان پنل‌ها را در شب در مکانی امن قرار داد.

هدف، پیدا کردن یک پمپ مقرون به صرفه و پایین نگه داشتن هزینه‌ها با پرهیز از استفاده از باتری‌ها بود. با استفاده از یک پمپ جریان مستقیم، از هزینه‌ی تبدیل این جریان به جریان متناوب جلوگیری شد. اشکال کار این است که موتورهای جریان مستقیم عمر کوتاه‌تری نسبت به پمپ‌های جریان متناوب دارند. پمپ‌های دریایی

گزینه مناسبی محسوب می‌شدند، ولی بیشتر آن‌ها فقط برای هدهای کم طراحی شده‌اند (به فصل ۴ نیز مراجعه کنید). پمپ اصلی می‌تواند در هد صفر، ۱۵ مترمکعب بر ساعت یا ۴ لیتر بر ثانیه آب تحویل دهد. این پمپ می‌تواند در هد ۵ تا ۶ متری نیز فعالیت کند، ولی نرخ جریان آن پایین‌تر خواهد بود (با شکل ۴،۲ مقایسه کنید). هر چند که این مقدار برای رفع نیاز کافی است. در این مورد فرض شده است که پمپ عمری یک ساله داشته باشد. با این حال، سود حاصل از آبیاری می‌تواند از پس هزینه تعویض پمپ بر آید. روی هم رفته، هزینه سیستم پمپاژ، کمتر از ۱۰۰ دلار آمریکا بود. هیچ کنترل‌کننده‌ی الکتریکی‌ای مورد استفاده قرار نگرفت، تنها یک مدار قطع کن ساده. این پمپ می‌تواند حدوداً نصف یک هکتار را آبیاری کند. نرخ جریان ۴ مترمکعب بر ساعت به مدت ۶ ساعت می‌تواند تقریباً ۵۰ مترمکعب بر هکتار بر روز را تامین کند.

۳-۱۴ شیرین کردن آب (نمک‌زدایی)

ادغام منابع انرژی تجدیدپذیر در آب شیرین‌کن و خالص‌سازی آب هر روز حیاتی‌تر می‌شود از آنجا که هزینه‌های سیستم‌های سنتی رو به افزایش است، تعهدات به کاهش تولید گازهای گلخانه‌ای اجرایی و اهداف بهره‌برداری از انرژی‌های تجدیدپذیر تعیین شده‌اند. سیستم‌های آب شیرین‌کنی مبتنی بر انرژی فوتوولتایک خورشیدی تا حد چشمگیری کاربرد خود را در سرتاسر دنیا، مخصوصاً در نواحی دور افتاده و جزیره‌ها ثابت کرده‌اند. از این میان می‌توان به موارد تاسیسات مقیاس بالای مورد استفاده عموم و همین‌طور بهره‌برداری‌های مقیاس کوچک اشاره کرد. در تمامی این موارد می‌توان بهره‌وری و جنبه‌ی اقتصادی این روش را مشاهده نمود.

۱-۳-۱۴ تاسیسات آب شیرین کن فوتوولتاییک خورشیدی

مثال ۲-۱۴: روستای کسار قیلین^۱، تونس در روستای کسار قیلین، واقع در جنوب تونس، از یک سیستم تامین آب بر پایه‌ی تکنولوژی فوتوولتاییک خورشیدی در سال ۲۰۰۵ استفاده می‌شده است.^۲

۱۶۶. آب پاکیزه با استفاده از انرژی خورشیدی و باد: خارج از شبکه‌ی توزیع

این روستا دارای حدوداً ۳۰۰ سکنه و بیش از ۵۰ خانواده می‌باشد که از راه کشاورزی و دامپروری زندگی خود را می‌گذرانند. نزدیکترین چاه آب آشامیدنی در ۶۰ کیلومتری این روستا واقع است. از یک تاسیسات اسمز معکوس که از یک سیستم فوتوولتاییک خورشیدی نیرو می‌گرفت بعنوان راهکاری برای رفع چالش تامین آب این روستا استفاده شده بود. هزینه‌های این پروژه به صورت بین‌المللی، و پشتیبانی فنی توسط سازمان تکنولوژی جزایر قناری، که تجربه‌ی تامین آب آشامیدنی از طریق سیستم‌های مستقل را داشت، تامین شد.

مصرف روزانه‌ی آب روستا در طول تابستان حدود ۱۵ مترمکعب، متوسط تابش سالانه‌ی خورشید برابر با ۵۶۰۰ کیلووات ساعت بر مترمربع (با جدول ۸،۱ مقایسه کنید)، و متوسط دمای سالانه، ۲۶ درجه سلسیوس و متغیر بین ۰ تا ۴۵ درجه می‌باشد.

آب خام از یک چاه آب آرتزین حاوی لب شور (دارای پی پی ام حدود ۳۵۰۰) که درون یک واحه (آبادی یا مرغزار میان کویر) و در فاصله ۲ کیلومتری از روستا قرار دارد، پمپ می‌شود. آب در یک واحد اسمز معکوس نمک‌زدایی شده و از آن جهت آبیاری نخل‌ها و محصولات زراعی و سرویس‌دهی به توریست‌ها استفاده می‌گردد. از انرژی الکتریکی، برای پمپ کردن آب از چاه آرتزین و برای تامین نیروی کمپرسور درون واحد اسمز معکوس استفاده می‌شود. بعضی از مشخصه‌های سیستم از قرار زیر هستند:

۱. Ksar Ghilène

۲. www.adu-res.org/pdf/ITC.pdf

ژنراتور فوتوولتائیک: بیشینه‌ی توان ۱۰ کیلووات، مدت زمان بهره‌برداری ۸ ساعت در روز

پمپ تغذیه: بیشینه‌ی توان ۱ کیلووات؛ آب را بوسیله یک لوله با طول دو کیلومتر از چاه پمپ می‌کند. نرخ جریان ۳ مترمکعب بر ساعت، فشار = ۳ بار

پمپ پر فشار برای واحد اسمز معکوس: نیازمند ۳ کیلووات توان برای فشار کمتر از ۱۵ بار می‌باشد. نرخ جریان = ۳ مترمکعب بر ساعت

توان مورد نیاز ضد عفونی: ۲۰۰ وات

توان مورد نیاز برای روشنایی: ۲۵۰ وات

باتری‌های ذخیره‌سازی: ظرفیت ۶۰۰ آمپر ساعت؛ باتری‌های C10. (جریان تخلیه باتری‌ها را در عرض ۱۰ ساعت تخلیه می‌کند)

آب تولید شده: بیش از ۱۵ مترمکعب در روز؛ شوری کمتر از ۵۰۰ پی پی ام

توان مخصوص: ۲ کیلووات ساعت بر مترمکعب از آب تولید شده

۱۶۷. برخی از عملیات‌های آبی با استفاده از انرژی‌های تجدیدپذیر

مثال ۳-۱۴: ابوظبی

امارات یک کشور کم آب در نظر گرفته می‌شود. این کشور دارای تنها ۸۳ مترمکعب آب به ازای هر نفر در سال است، که بسیار کمتر از آستانه‌ی ۱۰۰۰ مترمکعبی تعیین شده توسط سازمان ملل می‌باشد. در نتیجه، امارات به شدت برای برطرف کردن نیاز خود به شیرین کردن آب دریا وابسته است.

شرکت آب‌های تجدیدپذیر ماسکارا^۱ یک راه‌حل برای شیرین کردن آب خارج از شبکه‌ی توزیع به وسیله‌ی خورشید را در ابوظبی توسعه داده و اجرا کرده است (مدسر^۲، ۲۰۱۸). این تاسیسات از یک چاه ساحلی برای دستیابی به آب دریا از

۱. Mascara

۲. Masdar

طریق یک چاه گمانه استفاده می‌کند. در این گونه تاسیسات، آب به وسیله شن‌های ساحل و به گونه‌ای طبیعی مورد تصفیه قرار می‌گیرد و دیگر نیازی به یک سیستم پیش تصفیه جداگانه نیست. تولید منقطع برق با کمک استفاده از یک انباشتگر^۱ هیدرولیک به عنوان ذخیره ساز جبران می‌شود. این سیستم، تحت تغذیه یک تاسیسات فوتوولتائیک خورشیدی با بیشینه توان ۳۰ کیلووات قرار داشته و تنها قادر است در طول ساعات تابش خورشید فعالیت کرده و در روز ۳۰ مترمکعب در روز آب تولید نماید. با شست و شوی روزانه و اتوماتیک غشاها با آب پر فشار پیش از طلوع خورشید، از مسدود شدن غشاها طی فرآیند فعالیت جلوگیری می‌شود. چند تاسیسات آب شیرین‌کن بر پایه‌ی انرژی خورشیدی مشابه این تاسیسات طراحی شده‌اند و در نواحی بیابانی و دورافتاده ابوظبی، خارج از شبکه‌ی توزیع، واقع شده‌اند. یک سیستم خورشیدی رایج، از ۳۰۰ مترمربع پنل که حداکثر ۴۵ کیلووات انرژی و به عبارت دیگر ۱۵۰ وات بر مترمربع تولید می‌کنند ساخته می‌شود، که بزرگی آن تقریباً به همان اندازه‌ی است که در فصل ۸ شرح داده شد. اولین نصب و راه‌اندازی این سیستم در سال ۲۰۰۹ تکمیل شد. تاسیسات آب شیرین‌کن طراحی شده توسط شرکت هیتاچی می‌تواند آب زیرزمینی شور را به سطح پمپاژ کرده و با اعمال فرآیند اسمز معکوس بر آب پمپاژ شده، آب پاکیزه حاصل می‌شود. بازه‌ی شوری از آب لب شور نیز مانند آب دریا تا ۳۵۰۰ میلی‌گرم بر لیتر متغیر است. میزان تولید سیستم ۴ مترمکعب بر ساعت آب شیرین می‌باشد. آب زیر زمینی پیش از تصفیه در واحد اسمز معکوس درون یک تانک ذخیره ساز پمپ می‌شود. حتی در نواحی آفتابی مانند صحرای ابوظبی نیز ممکن است بعلت عواملی همچون طوفان شن، نور خورشید به اندازه‌ی کافی به زمین نرسد. به همین منظور، یک باتری پشتیبان نیز نصب شده است. یک حوضچه‌ی تبخیر نیز در این سیستم وجود دارد، که برای دفع شورآب پسماند طراحی شده‌اند (۴-۳-۵ را ببینید).

مثال ۴-۱۴: گرن کاناریا، اسپانیا

یک سیستم نمک‌زدایی آب دریا که توسط یک سیستم فوتوولتاییک خورشیدی تغذیه می‌شود و دسول^۱ نام دارد، نزدیک به ساحل در گرن کاناریا نصب و راه‌اندازی شده است (اسپینو^۲ و همکاران، ۲۰۱۳). این سیستم نمک‌زدایی بر پایه‌ی اسمز معکوس است و می‌تواند سالانه به طور متوسط ۳ مترمکعب در روز (یا ۰,۴ مترمکعب در ساعت) طی ۸ ساعت کار خود در تابستان یا ۶ ساعت کار در زمستان، آب تولید کند.

بعضی از مشخصه‌های سیستم به قرار زیر هستند:

پنل‌های خورشیدی:

- کل ظرفیت = ۴,۸ کیلووات در بیشینه
- ۶۴ ماژول که بیشینه توان هر کدام ۷۵ وات می‌باشد

باتری‌های ذخیره‌سازی:

- ۱۹ کیلووات ساعت

پمپ چاه:

- حداکثر ارتفاع بالاتر از سطح دریا = ۳ متر
- ظرفیت = ۱ کیلووات
- حداکثر نرخ جریان = ۲,۵ مترمکعب بر ساعت؛
- فشار = ۳ بار

پمپ پرفشار دستگاه اسمز معکوس:

- ظرفیت = ۲,۲ کیلووات
- حداکثر نرخ جریان = ۱,۵ مترمکعب بر ساعت؛
- فشار = ۶۰ بار
- میزان شوری پساب: کمتر از ۵۰۰ میلی گرم بر لیتر

۱. DESSOL

۲. Espino

نویسندگان جنبه جالبی از اداره‌ی تاسیسات و حول حفاظت از غشاها را تشریح می‌کنند. هنگامی که در انتهای روز، تاسیسات خاموش می‌شود، طی یک فرآیند شست‌شو با استفاده از آب تولید شده، غشاها شست‌وشو می‌شوند. غشاها درون آب با سطح شوری پایین غوطه‌ور می‌شوند تا با بهره‌برداری منقطع دچار فرسودگی نشوند. (لینهارد^۱ و همکاران، ۲۰۱۶؛ به بخش ۳-۱-۱۰ نیز مراجعه فرمایید)

مثال ۵-۱۴: گرمایش خورشیدی برای نمک‌زدایی، کالیفرنیا

در دره مرکزی کالیفرنیا، از میان نواحی سیستم آب رسانی شهری، در ناحیه پانوچی^۲ از سیستم‌های حرارت خورشیدی برای نمک‌زدایی استفاده می‌شود (لاول^۳، ۲۰۱۵). از انرژی خورشیدی برای تولید الکتریسیته استفاده نمی‌شود. به جای آن، آینه‌های پارابولیک^۴ تابش خورشیدی را به طور مستقیم به گرما تبدیل می‌کنند تا بدین وسیله آب شور تقطیر شود.

مثال ۶-۱۴: هندوستان

الگوی بارش هندوستان شدیداً فصلی است، که ۵۰٪ درصد ریزش باران تنها در عرض دو هفته رخ می‌دهد. کمیسیون مرکزی آب تخمین می‌زند که کل میزان بارش سالانه‌ی کشور ۴ میلیارد مترمکعب است. تخمین زده می‌شود که منابع آب تجدیدپذیر داخلی یا منابع آب قابل استفاده به اندازه حدوداً ۱۲۰۰ میلیارد مترمکعب هستند. تقاضای سالانه برای آب رو به افزایش است: میزان تقاضای اعلامی در سال ۲۰۱۰، ۸۰۰ میلیارد مترمکعب بوده و برآورد می‌شود که تا سال

۱. Lienhard

۲. Panoche

۳. Lavelle

۴. نوعی آینه محدب و بلند

۲۰۵۰ به ۱۵۰۰ میلیارد مترمکعب برسد. این سطح از تقاضا نیز پایدار نخواهد بود و بسیاری از مناطق با کمبود شدید آب رو به رو خواهند شد. علاوه بر این، تاثیر تغییرات آب و هوایی منجر به تغییراتی در الگوهای بارش و نرخ‌های تبخیر خواهد شد.

جمعیت رو به رشد و صنعتی شدن فشار زیادی بر منابع آبی وارد خواهد کرد. در حال حاضر نیز نواحی زیادی از بالا بودن فاکتورهای آلوده‌کننده مانند شوری، فلوراید، آهن، آرسنیک، فلزات سنگین و آلودگی‌های میکروبی آب‌های زیر زمینی رنج می‌برند، و نیاز به راهکارهایی برای منابع آب پایدار شدیداً احساس می‌شود.

مثال ۷-۱۴: تاسیسات روستایی، راجاستان^۱، هندوستان

در کوتری^۲، یک روستای کوچک دارای ۳۰۰ خانوار در ناحیه‌ی راجاستان در شمال غربی هندوستان، یک تاسیسات اسمز معکوس بر پایه‌ی انرژی خورشیدی مورد بهره‌برداری قرار گرفته است. این نیروگاه آب آشامیدنی مورد نیاز ۱۰۰۰ نفر سکنه‌ی روستای کوتری و روستاهای اطراف آن را تامین می‌کند (ایرنا، 2015b). آب لب شور دریاچه‌ای که در مجاورت این نیروگاه قرار دارد به درون تاسیسات اسمز معکوس پمپ شده و در نتیجه حدود ۶۰۰ لیتر بر ساعت آب، به مدت ۶ ساعت در هر روز تولید می‌شود. شوری آب به اندازه‌ای که آب قابل آشامیدن شود کاهش می‌یابد. انرژی تاسیسات اسمز معکوس از یک نیروگاه با توان ۲٫۵ کیلووات تامین می‌شود. با اینکه این روستا در واقع به شبکه‌ی توزیع برق متصل است، عرضه شبکه بسیار غیر قابل اتکا بوده و در بیشتر اوقات تنها ۳ ساعت در روز برق تامین می‌شود. این سیستم انرژی خورشیدی می‌تواند به عرضه انرژی الکتریکی را به مدت ۶ ساعت تضمین می‌کند، که مقداری نیروی مازاد نیز برای روشنایی، پنکه‌ها و کامپیوترها در اختیار روستاییان قرار می‌دهد.

۱. Rajasthan

۲. Kotri

مثال ۸-۱۴: تاسیسات روستایی، Andhra Pradesh، هندوستان

یکی از نمونه‌های رایج کاربرد انرژی فوتوولتائیک خورشیدی برای تصفیه‌ی آب در یک روستای واقع در حاشیه‌ی شهر در هندوستان نشان می‌دهد (WEC، ۲۰۱۶، فصل هشت). سازمان آگاهی اجتماعی نسبت به جایگزین‌های نوین^۱ توانست در یک روستا: روستای چماوروام^۲ در ایالت انده‌هارا پرادش^۳ در جنوب شرقی هندوستان که به آب آشامیدنی پاکیزه دسترسی نداشته و از منبع انرژی نامعمولی برخوردار بود از انرژی حاصل از سیستم فوتوولتائیک خورشیدی برای تصفیه‌ی آب آلوده و رساندن آن به استاندارد سازمان بهداشت جهانی استفاده نماید. این یک مثال رایج از منبع آب غیرمرکزی است که آب خام ورودی ممکن است آب آلوده چاه باشد یا آب استفاده شده‌ای باشد که مجدداً مورد استفاده قرار می‌گیرد. ظرفیت این سیستم ۱۸۰۰ مترمکعب آب در سال یا ۵ مترمکعب آب در روز می‌باشد. این مقدار آب تعداد ۱۰۰۰ دانش‌آموز و خانواده‌هایشان که در خانه‌هایی از نظر اقتصادی عقب مانده در زاغه‌های اطراف زندگی می‌کنند را تامین می‌کند.

۲-۳-۱۴ تاسیسات نمک‌زدایی بر پایه‌ی انرژی بادی

انرژی الکتریکی و مکانیکی تولید شده توسط توربین‌های بادی می‌تواند برای تامین نیروی تاسیسات نمک‌زدایی، به خصوص واحدهای اسمز معکوس، مورد استفاده قرار گیرد.

۱۷۰. آب پاکیزه با استفاده از انرژی خورشیدی و بادی: خارج از شبکه‌ی برق

به طور کلی نمک‌زدایی با استفاده از انرژی بادی، به خصوص در نواحی ساحلی دارای پتانسیل باد می‌تواند موفق‌ترین گزینه برای نمک‌زدایی آب دریا باشد. همانند

۱. SANA

۲. Chamavaram

۳. Andhra Pradesh

سیستم‌های فوتوولتاییک خورشیدی، نمک‌زدایی با استفاده از انرژی بادی نیز مشکل منقطع بودن منبع انرژی را به همراه دارد. ترکیب انرژی بادی با دیگر منابع انرژی تجدیدپذیر، باتری‌ها یا دیگر سیستم‌های ذخیره‌کننده انرژی می‌توانند عملکردی یکنواخت‌تر ارائه کنند. همانند سیستم‌های فوتوولتاییک خورشیدی، خود نمک‌زدایی آب می‌تواند یک فرصت ذخیره‌سازی عالی در صورت تولید بیش از نیاز انرژی فراهم نماید.

تاسیسات نمک‌زدایی مختلفی بر پایه‌ی انرژی بادی در سرتاسر جهان نصب شده‌اند، از جمله در گرن کاناریا، جزایر قناری (واحد اسمز معکوس که در روز از ۵ تا ۵۰ مترمکعب آب را با کمک انرژی بادی، آب دریا تولید می‌کند)، فوتونتورا^۱، اسپانیا (سیستم هیبرید بادی دیزلی تولیدکننده ۵۶ مترمکعب آب در روز بوسیله آب دریا) و مرکز تکنولوژی سیستم‌های انرژی‌های تجدیدپذیر در انگلستان (واحد اسمز معکوس که ۱۲ مترمکعب آب در روز با استفاده از انرژی بادی، آب دریا تولید می‌کند) (کالوگورو^۲، ۲۰۰۵؛ گودآی و همکاران، ۲۰۱۰؛ الکارقولی و کازمرسکی^۴، ۲۰۱۱)

مثال ۹-۱۴: سیدنی، استرالیا

تاسیسات نمک‌زدایی آب سیدنی، ۱۵٪ از آب پر جمعیت‌ترین شهر استرالیا را تامین می‌کند^۵. برای کمک به کاهش انتشار کربن تاسیسات نمک‌زدا، ۶۷ توربین بادی واقع در مزرعه‌ی بادی نزدیک به بونگندور^۶، تقریباً ۲۷۰ کیلومتری جنوب این شهر تمام نیاز انرژی این تاسیسات توسط انرژی‌های تجدیدپذیر را تامین می‌کنند. این مزرعه‌ی

۱. Fuerteventura

۲. Kalogirou

۳. Gude

۴. Al-Karaghoul and Kazmerski

۵. www.metrowater.nsw.gov.au

۶. Bungendore

بادی قادر به تولید الکتریسیته به میزانی بیش از نیاز این تاسیسات نمک‌زدا می‌باشد. ظرفیت این تاسیسات به حدودا ۴۲ مگاوات انرژی می‌رسد در حالی که ظرفیت مزرعه بادی، ۱۳۲ مگاوات می‌باشد. در نظر داشته باشید سقف ظرفیت، ۱۳۲ مگاوات است، بنابراین تاسیسات نمک‌زدایی به حدودا ۳۲٪ بیشینه‌ی ظرفیت انرژی بادی نیاز دارد، که میزانی نزدیک به بازده انرژی بادی می‌باشد.

مثال ۱۰-۱۴، پرث^۱، استرالیا

شهر پرث در غرب استرالیا دارای یک تاسیسات نمک‌زدایی بزرگ است که دارای توانایی تولید روزانه حدوداً ۱۴۰۰۰۰ مترمکعب آب است^۲ با توجه به نیاز به ۳.۵ کیلووات ساعت بر مترمکعب، این تاسیسات به حدودا ۴۹۰ مگاوات ساعت انرژی در روز نیاز دارد، که مطابق با یک منبع انرژی متداوم ۲۰ مگاواتی است. انرژی مورد نیاز از یک مزرعه‌ی بادی واقع در ۲۶۰ کیلومتری این تاسیسات تامین می‌شود. طبق مستندات، نیروگاه آب شیرین کن به حداکثر ظرفیت انرژی بادی که به طور متوسط ۸۲ مگاوات است نیاز دارد، به عبارتی، بازده نیرو برابر با حدود ۲۵٪ از ظرفیت می‌باشد.

مثال ۱۱-۱۴، تگزاس آمریکا

در این بخش، نمونه دیگری از نمک‌زدایی با استفاده از انرژی خورشیدی که در تگزاس آمریکا اجرا شده است را ارائه می‌کنیم (سویفت^۳ و همکاران، ۲۰۰۹). ناحیه‌ای که به شدت از کمبود آب رنج می‌برد و به آبخوان‌های عمیق با سطح شوری بسیار بالا وابسته است. به نظر می‌رسد که تصفیه اسمز معکوس این نوع آب

۱. Perth

۲. www.watercorporation.com.au

۳. Swift

لب شور یک روش منطقی و از لحاظ اقتصادی راه‌حلی امکان‌پذیر باشد. تنها مشکل موجود، سطح بالای شوری آب (حدود ۲۶۰۰ میلی‌گرم بر لیتر شامل تمامی جامدات محلول در آب) نیست؛ بلکه غلظت آرسنیک و فلوراید بالا نیز می‌توان نام برد. تکنولوژی اسمز معکوس این سطوح شدید را تا مقادیر قابل قبولی پایین می‌آورد. تحقیقاتی برای بررسی امکان‌پذیر بودن یک سیستم درون شهری یکپارچه‌ی نمک زدایی به وسیله‌ی انرژی باد برای یک جامعه‌ی کوچک (روستا) انجام گرفت. این تحقیق برجسته که در تگزاس انجام شد نشان داد که ادغام دو تکنولوژی نسبتاً بالغ انرژی بادی و اسمز معکوس می‌تواند راهکار جالبی برای مقابله با خطری که هر روزه بیشتر گریبانگیر نواحی وابسته به انرژی ارزان و آب آشامیدنی باشد. در تحقیق، تگزاس یک توربین کوچک ۵ کیلوواتی، انرژی مورد نیاز یک تاسیسات اسمز معکوس با ظرفیت حدوداً ۶ مترمکعب در روز را تامین می‌نمود. مشخص شد که تصفیه هر مترمکعب آب به حدوداً ۰٫۸۲ کیلووات ساعت انرژی نیاز دارد. گزارش سویفت نه تنها شرح دقیقی از تامین انرژی از باد، بلکه از تجربیات بهره‌برداری و نگهداری از تاسیسات نمک‌زدایی نیز ارائه می‌کند.

۴-۱۴ مطالعه‌ی بیشتر درباره‌ی نمک‌زدایی و انرژی‌های تجدیدپذیر

مطالب و اطلاعات زیادی پیرامون نمک‌زدایی به وسیله‌ی انرژی‌های تجدیدپذیر وجود دارد. بعضی از منابع کاربردی در ادامه ذکر شده‌اند:

ژورنال نمک‌زدایی (Elsevier)

المنتال واتر میکرز^۱ (آب‌سازان عنصری)، یک شرکت هلندی استارت آپی که روش‌های نمک‌زدایی با استفاده از انرژی‌های تجدیدپذیر را ارائه می‌کند.^۲

انستیتو سیستم‌های انرژی خورشیدی فرانهورفر^۳

شرکاء اروپایی نوآوری در زمینه‌ی آب (EIP Water)^۱: یک بنیاد درون اتحادیه

۱. Elemental Water Makers

۲. www.elementalwatermakers.com

۳. ISE (www.ise.fraunhofer.de)

نوآوری اروپا ۲۰۲۰. گروه EIP توسعه و اجرای راهکارهای خلاقانه برای خطاب قرار دادن چالش‌های آبی اصلی اروپایی و جهانی را تسهیل می‌کند.^۲

۱. The European Innovation Partnership on Water

۲. www.eip-water.eu



- فصل پانزدهم: چشم انداز سال ۲۰۳۰ و سالهای بعد از آن

در سایر بخش‌های کتاب به آینده اشاره شد. همیشه پیش‌بینی کردن موارد و رویدادهای غیر قابل پیش‌بینی همراه با ریسک است، با این حال، به خود اجازه می‌دهیم تا این کار را با هدف نشان دادن بلند پروازی فعلی خود و یا در بدترین حالت داشتن یک موضوع فکاهی برای خندیدن انجام دهیم. به عنوان مثال، قبل از سال ۲۰۱۰، رشد نصب و راه‌اندازی تاسیسات فوتوولتاییک خورشیدی بسیار آهسته بود، و بنده بشخصه شدیداً شک داشتم که این تاسیسات بتوانند طی دهه‌های آتی جایگزین منابع انرژی مرسوم شوند. به هر حال، این فناوری بسیار سریعتر از انتظار ما رشد کرد و توسعه یافت. قوای تجاری، محیط زیستی و فنی دست به دست یکدیگر دادند تا این امر را ممکن سازند. در فصل بعدی کتاب ما این جرات را به خود می‌دهیم که بعضی از اهداف بلند مدت برای دهه آینده را ابراز کنیم.

فصل



چشم انداز سال ۲۰۳۰ و سالهای بعد از آن

"انتظار می‌رود که نیاز جهان به الکتریسیته تا سال ۲۰۳۰، در بیشتر نواحی دارای اقتصاد رو به رشد، بیش از ۵۰٪ افزایش یابد. برای تامین این تقاضاها، و در عین حال تلاش برای توسعه‌ی جهانی و در نظر داشتن هدف‌های توسعه‌ی پایدار، دولت‌ها باید سیاست‌هایی را به کار گیرند تا از آن طریق بتوانند به سقف ظرفیت و توانایی انرژی‌های خورشیدی دست یابند"

اندان زی. امین^۱ مدیر کل آژانس بین‌المللی انرژی‌های تجدیدپذیر،

با سال ۲۰۳۰ تنها ۱۲ سال فاصله است. (توضیح اینکه نویسنده کتاب را در سال ۲۰۱۸ نوشته است.) سازمان‌های زیادی وضعیت‌های احتمالی فن‌آوری‌های تجدیدپذیر را برای سال ۲۰۳۰ و سال‌های بعد از آن پیش‌بینی و منتشر کرده‌اند و به طور کلی بلندپروازانه و خوش‌بینانه به نظر می‌رسند. شاید پیش‌بینی کردن موارد غیر قابل پیش‌بینی خنده‌دار و بیهوده بنماید؛ ولی نگاه به گذشته از طرفی کار آسانی است، که البته این تفکر در مورد آینده است که بشر را به جلو می‌راند، و دیگر زمانی

۱. Andan Z. Amin

برای از دست دادن نیست.

۱-۱۵ پیش‌بینی اوضاع احتمالی انرژی‌های تجدیدپذیر

سازمان بین‌المللی انرژی‌های تجدیدپذیر (IRENA)^۱ اهداف خوش بینانه و بلند پروازانه‌ای را برای انرژی‌های تجدیدپذیر در نظر دارد (IRENA, 2016b, 2017a)، که طبق این پیش‌بینی، تا سال ۲۰۳۰، سهم انرژی حاصل از سیستم‌های تجدیدپذیر دو برابر خواهد شد و به سطح ۳۶٪ درصد خواهد رسید.

انتظار می‌رود که سهم انرژی فوتوولتاییک خورشیدی ۶ برابر شود، و تا سال ۲۰۳۰ به ۷٪ از کل تولید انرژی جهان برسد. و البته برخی پیش‌بینی‌های خوش بینانه تر، سطح ۱۳٪ را بیان می‌کنند. طبیعتاً، برای حصول این امر بایستی توسعه‌ی تکنولوژی، توسعه‌ی سیاست‌ها و تامین هزینه‌ها از طریق سرمایه‌گذاری با یکدیگر تلفیق شوند.

مالکیت تولید انرژی در حال رویارویی با تغییرات بسیار مهمی است. در گذشته، سیستم‌های انرژی الکتریکی تحت سلطه آژانس‌های دولتی یکپارچه و سازمان‌های بسیار بزرگ بودند. با افزایش تولید انرژی با مقیاس کوچک، تعداد تولیدکنندگان و مالکین تکنولوژی رو به افزایش است. همچنین این امر مسئولیت و طرز برخورد سیستم‌ها را دستخوش تغییر می‌کند.

مسائل رفاهی هر شخص مانند بهداشت شخصی و تحصیل و همچنین مزایای آب و هوایی بایستی مورد توجه زیادی قرار گیرند. سیستم‌های فوتوولتاییک خورشیدی و بادی نیاز بسیار کمی به آب دارند؛ و حتی با کمک این منابع انرژی می‌توان به تامین و بازیافت آب آشامیدنی پرداخت.

واضح است که هزینه‌های تولید انرژی و ذخیره‌سازی انرژی به طور ناگهانی افت خواهند کرد. با این حال، اندازه و توانایی پرداخت هزینه‌های اولیه همچنان بعنوان یک چالش باقی خواهند بود، چرا که سرمایه‌گذاری اولیه، بخش عمده هزینه

۱. International Renewable Energy Agency

انرژی‌های تجدیدپذیر را شامل می‌شود.

دلایلی واضحی برای بررسی دقیق توسعه بالقوه نواحی جنوب صحرای آفریقا وجود دارد. IRENA (۲۰۱۳) یک منبع آموزنده درباره توسعه انرژی‌های تجدیدپذیر در آفریقا می‌باشد. IEA (آژانس بین‌المللی انرژی) گزارشی تحت عنوان چشم‌انداز انرژی آفریقا منتشر کرده است که در نوع خود اولین گزارش است که وضعیت عدم دسترسی به انرژی کشورهای جنوب صحرای آفریقا در امروز و در آینده را ترسیم می‌کند (IEA, 2017d). این ناحیه شامل ۱۳٪ جمعیت جهان می‌باشد، ولی تنها متقاضی یک سهم ۴ درصدی از انرژی تولیدی در جهان است. با این حال، از سال ۲۰۰۰ تاکنون، مصرف انرژی در این نواحی ۴۵٪ افزایش داشته است، که نشانگر یک رشد سریع اقتصاد می‌باشد.

همان‌گونه که در بخش ۳-۱ گفته شد، اتصالات توزیع شبکه‌ی برق معمولاً غیر قابل اطمینان هستند. این قضیه باعث می‌شود که سرمایه‌گذاری‌های هنگفت در استفاده از ژنراتورهای دیزلی یا گازوئیلی تبدیل به امری واجب گردد. IEA پیش‌بینی می‌کند که ۷۰٪ از ساکنین نواحی روستایی تا سال ۲۰۴۰ به الکتریسیته دست پیدا خواهند نمود و به شبکه‌های محلی توزیع الکتریسیته یا سیستم‌های خارج از شبکه توزیع الکتریسیته متصل خواهند شد. با این حال، یک پیش‌بینی غم‌بار این است که بیش از ۵۰۰ میلیون نفر، غالباً ساکنین نواحی روستایی، در سال ۲۰۴۰ نیز به الکتریسیته دسترسی نخواهند داشت. IEA پیش‌بینی می‌کند که حدود دو سوم سیستم‌های روستایی متصل به شبکه‌های توزیع کوچک یا خارج از شبکه در سال ۲۰۴۰ توسط انرژی بادی، فوتوولتاییک خورشیدی یا انرژی برق آبی تغذیه خواهند شد. و متعاقباً، رقابت میان سیستم‌های انرژی تجدیدپذیر با ژنراتورهای دیزلی افزایش خواهد یافت.

۱۷۷. چشم‌اندازی به سال ۲۰۳۰ و بعد تر

۲-۱۵ تحقیق و توسعه‌ی آب شیرین کن‌ها

تطابق تکنولوژی آب شیرین کنی با تغییرات منابع انرژی تجدیدپذیر می‌تواند یک موضوع تحقیق حائز اهمیت باشد. تولید منقطع انرژی سیستم‌های فوتوولتاییک خورشیدی دلالت بر این دارد که غشاهای نمک‌زدایی که از خورشید نیرو می‌گیرند بدون شک خارج از شرایط عملیاتی مناسبشان کار می‌کنند. بنابراین، لازم است که قابل اتکا بودن غشاها برای فعالیت به صورت منقطع و متغیر (تحت سطوح فشار ناپایدار و نرخ جریان ناپایدار) در طولانی مدت مورد بررسی قرار گیرد. این امر شامل عبور نمک در سطح یونی، مسدود شدن (کلوئیدی، بیولوژیکی و ارگانیک) و رسوب گرفتن (معدنی و ته‌نشینی نمک‌ها) غشاها می‌گردد.

تحقیقات زیادی بر روی یافتن انواع جدید از غشاها برای اسمز معکوس در حال انجام است. گرافن یکی از قوی‌ترین مواد شناخته شده است. یک غشای ساخته شده از گرافن تنها به اندازه یک لایه اتم ضخامت دارد و سطح نفوذپذیری آن بسیار بیشتر از غشاهای امروزی است. به عبارتی دیگر، فشار و انرژی الکتریکی کمتری برای نمک‌زدایی لازم خواهد بود.

سایر چالش‌ها شامل طراحی کلی و بهینه‌سازی اجزا در قالب یک سیستم یکپارچه است. جنبه‌های کنترل و مدیریت بایستی در مرحله طراحی در نظر گرفته شوند تا بتوان از جریان یافتن انرژی درون سیستم در تمامی شرایط کاری اطمینان حاصل کرد.

یک چالش دیگر مربوط به تکنولوژی مقیاس کوچک است. عملیات‌های مقیاس کوچک در تلاشند تا بتوانند از نظر هزینه‌ها با عملیات‌های آبی مقیاس بالا رقابت کنند.

۳-۱۵ مسائل نرم (مسائل انسانی)

تامین آب پاکیزه با استفاده از انرژی‌های تجدیدپذیر با مسائل "نرم" ("انسانی") زیادی ارتباط دارد، همان‌گونه که در فصل‌های قبل به آن‌ها اشاره شد. ادغام شدن تامین انرژی و عملیات‌های آبی باید بهتر درک شود و واجب است که

تولید انرژی با نیاز بارهایی مانند پمپ‌ها، واحدهای نمک‌زدایی و واحدهای مصرف مجدد آب تطبیق یابند.

۱-۳-۱۵ تحصیل و آموزش

تولید انرژی خارج از شبکه توزیع برق و عملیات‌های آبی در مقیاس‌هایی کوچک و بدون وابستگی به یک مرکزیت خاص صورت می‌گیرند. تا این جای کار، درس‌هایی هستند که باید از تجربه‌ها آموخته شوند، و بعضی از آن‌ها در IEA (۲۰۱۴) خلاصه شده‌اند. مشکلاتی وجود دارند که ماورای چالش‌های تکنولوژیکی هستند. پروژه‌های زیادی به دلیل مدیریت و بهره‌برداری و نگهداری نادرست یا نامشخص از سیستم‌ها شکست خورده‌اند. بنابراین، بایستی درک درست و مناسبی از نیازهای مصرف‌کننده‌ها وجود داشته باشد. به طور مشابه، پیش‌بینی و برآورد نیاز آتی و فعلی به انرژی به صورتی عقلانی انجام شود. آموزش و تحصیل دارای دو جنبه هستند: (۱) تحصیلات ضروری جهت استفاده بهینه از انرژی‌های تجدیدپذیر و تاسیسات آبی و (۲) تاثیر دسترسی به الکتریسته بر آموزش.

توسعه پروژه‌ها به صورت محلی اتفاق می‌افتد. تا به اینجا بر اهمیت بالای تحصیل و آموزش تاکید زیادی شد. نیاز به افزایش دانش در همه‌ی سطوح وجود دارد. می‌توان از میان مشتریان و کاربران و همچنین میان افراد محلی، افرادی ماهر برای نصب و نگهداری از عملیات‌های آب پاکیزه به صورت بومی تربیت نمود. چنین توسعه‌هایی می‌توانند شغل‌ها و درآمدهای محلی ایجاد کنند.

البته، دسترسی به آب و انرژی باعث توسعه نواحی روستایی در زمینه‌های بهبود کشاورزی، بهره‌وری، درآمد و شرایط زندگی بهتر می‌شود.

خدمات درمانی، آموزش، و فضای خانه همگی از دسترسی به انرژی مدرن و آب پاکیزه بهره می‌برند. همچنین ماژولار بودن انرژی و عملیات‌های آبی به این معنی است که می‌توان از این موارد برای رفع نیاز و جهت کاربری‌های متفاوت سفارشی‌سازی شوند.

تاثیر دسترسی به الکتریسته بر روی تحصیلات در بخش ۲-۲ به تصویر کشیده

شد. الکتریسیته‌ی در دسترس می‌تواند در عادت‌ها و برنامه‌ریزی‌های فعالیت‌های روزانه‌ی مردم نیز نقش مهمی را ایفا نموده و حتی ممکن است سطح مشارکت روزانه مردم در روز افزایش یابد. این مسائل به تفصیل در مطالعه ریوا^۱ و همکاران (۲۰۱۸) تجزیه و تحلیل شده است.

۴-۱۵ مطالعه‌ی بیشتر

SNV، یک سازمان توسعه‌ی بین‌المللی غیرانتفاعی که بیش از ۵۰ سال از تاسیس آن در لهستان می‌گذرد، مدت‌هاست که به طور محلی در فقیرترین کشورهای آسیایی، آفریقایی و آمریکای لاتین فعالیت می‌کند. این سازمان، کتابچه راهنمای آموزشی فوق‌العاده‌ای پیرامون سیستم‌های فوتوولتاییک خورشیدی منتشر نموده است. (SNV, 2015)

IRENA^۲، IEA^۳ و بانک جهانی^۴ مرتباً پیش‌بینی‌های خود درباره انرژی‌های تجدیدپذیر را به روز رسانی می‌کنند. آب و جنبه‌های ضد عفونی آن موضوع مورد تمرکز چندین گروه متخصص درون IWA می‌باشد.^۵

۱. Riva

۲. www.irena.org

۳. www.iea.org

۴. www.worldbank.org

۵. www.iwa-network.org

پیوست ۱

واژه نامه

فرآیند لجن فعال: یک فرآیند تصفیه بیولوژیکی پساب، که در آن باکتری‌هایی که از پسماند آلی (ارگانیک) تغذیه می‌کنند به طور مرتب در گردش هستند تا در حضور اکسیژن با پسماند ارگانیک در تماس بوده و نرخ سرعت تجزیه را افزایش دهند.

هوازی: "همراه با اکسیژن"، برای سیستم‌های تصفیه‌ای که به نسبت سطح اکسیژن موجود در آنها طبقه‌بندی می‌شوند، معمولاً با اکسیژن محلول در آب همراه هستند.

جریان متناوب (AC): جریان الکتریسیته‌ای که در هر ثانیه، ۵۰ تا ۶۰ بار جهت آن معکوس می‌شود.

بی هوازی: عدم نیاز به هوا

سفره آبخیز: توده‌ی بزرگی از مواد متخلخل یا نفوذپذیر که در زیر یک سفره آبی قرار دارد و دارای آب‌های زیر زمینی است یا آب‌های زیر زمینی را منتقل می‌کند.

باتری: نوعی از باتری که با گذراندن جریان الکتریکی از درون آن، شارژ می‌شود، و البته به آن باتری ذخیره‌سازی نیز می‌گویند. در یک باتری سرب اسیدی، جنس الکترودها از صفحه‌هایی از جنس سرب خالص یا اکسید سرب، و جنس الکترولیت‌ها نیز سولفوریک اسید است؛ کاربرد این باتری‌ها برای تاسیسات خارج از شبکه توزیع برق رایج باقی خواهند ماند. در الکترود یک باتری لیتیومی، از یک ماده مایع بر پایه لیتیوم استفاده می‌شود.

۱۸۰. آب پاکیزه با استفاده از انرژی خورشیدی و بادی: خارج از شبکه‌ی توزیع نیرو

یک باتری جریانی از دو جزء شیمیایی استفاده می‌کند که در مایع‌های مختلفی حل و درون سیستم محصور شده‌اند و معمولاً این دو مایع توسط یک غشا از یکدیگر جدا شده‌اند.

آب سیاه: آب ناشی از سرویس‌های بهداشتی. (با آب خاکستری مقایسه کنید)

آب لب شور: آبی که نه شور است نه شیرین.

شورآب: محلولی که دارای غلظت بسیار بالایی از سدیم کلرید و دیگر نمک‌ها می‌باشد. (غلظت نمک‌های محلول در شورآب بسیار بالاتر از آب شور یا آب دریا می‌باشد).

ظرفیت: ظرفیت نامی (مثلاً ۱ مگاوات) یک نیروگاه تولید انرژی، به الکتریسیته خروجی آنی اشاره دارد.

ضریب ظرفیت: نسبت بین خروجی واقعی یک نیروگاه و خروجی نظری همان نیروگاه هنگام کار کردن در حداکثر ظرفیت. فاکتور ظرفیت در طول یک بازه زمانی خاصی مانند یک سال مطرح می‌شود.

اکسیژن شیمیایی مورد نیاز: روشی برای اندازه‌گیری تمام مواد قابل اکسایش درون آب.

بازده تبدیل: نسبت میان انرژی تولید شده از یک دستگاه تبدیل‌کننده انرژی و انرژی ورودی به آن دستگاه. برای یک دستگاه فوتوولتاییک خورشیدی، بازده انرژی نشان دهنده درصدی انرژی خورشیدی که به انرژی الکتریکی تبدیل شده و به ماژول می‌رسد است. اگر ۱۰۰ کیلووات ساعت تابش خورشیدی دریافت و ۱۵ کیلووات ساعت الکتریسیته تولید شده باشد، بنابراین بازده تبدیل ۱۵٪ در نظر گرفته می‌شود.

جریان قطع (در باتری): حداقل ولتاژ مجاز. معمولاً این ولتاژی است که وضعیت "خالی" باتری را بیان می‌کند.

جریان مستقیم: شار تک جهته بار الکتریکی. یک باتری یک مثال خوب از یک منبع نیروی جریان مستقیم است. جریان الکتریکی در یک جهت ثابت جاری می‌شود که آن را از جریان متناوب جدا می‌کند.

نمک‌زدایی: کاهش مواد جامد محلول یا نمک‌ها و مواد معدنی در آب دریا یا آب لب شور و تبدیل آن به آب شیرین.

زمان تخلیه: به صورت ظرفیت انرژی تقسیم بر توان نامی بیان می‌شود. مدت زمانی که انرژی ذخیره شده در یک وسیله ذخیره‌سازی می‌تواند با نرخ توان نامی تخلیه شود.

۱۸۱. واژه نامه

تولید پراکنده: یک تکنولوژی تولید انرژی در مقیاس‌هایی کوچک، که انرژی الکتریکی را از مکانی نزدیک‌تر از نیروگاه مرکزی به مصرف کنندگان ارائه می‌کند.

انرژی‌های تجدیدپذیر پراکنده: سیستم انرژی که در آن تولید و توزیع مستقل از شبکه‌ی مرکزی اتفاق می‌افتد. این نوع سیستم به محل‌های مصرف نزدیک‌تر است.

بازده: نسبتی که با تقسیم مقدار واقعی توان یا انرژی بر مقدار تئوری توان یا انرژی به دست می‌آید.

ظرفیت انرژی: مقدار انرژی که می‌توان در یک دستگاه ذخیره ساز انرژی ذخیره یا از آن دستگاه بازیابی کرد و معمولاً با ژول یا کیلووات ساعت بیان می‌شود.

سوخت فسیلی: سوخت‌هایی مانند ذغال سنگ، نفت خام یا گاز طبیعی که از باقی مانده‌های گیاهان یا حیوانات شکل گرفته‌اند.

جرم گرفتن: فرآیند کثیف یا مسدود شدن، به عنوان مثال، انباشته شدن مواد خارجی ناخواسته در پایین فیلتر یا مدیای تبادل‌کننده یون، که باعث مسدود شدن روزه‌ها و پوشانده شدن سطوح می‌شود، که در نهایت مانع عملکرد درست انتهای فیلتر شده یا این عملکرد را به تاخیر میندازد. جرم گرفتن یک مبدل حرارتی در نتیجه انباشته شدن غبار یا دیگر مواد روی دیواره آن می‌شود، که باعث خوردگی و ناهموار شدن و در نهایت منجر به کاهش نرخ بازده مبدل می‌شود.

آب شیرین: آبی که کمتر از ۱۰۰۰ تا ۲۰۰۰ پی پی ام نمک‌های محلول داشته باشد.
ژنراتور: دستگاهی که انرژی چرخشی یک توربین را به انرژی الکتریکی تبدیل می‌کند.
آب خاکستری: آب حاصل از مصارف خانگی مانند حمام، سینک ظرفشویی، ماشین ظرفشویی و لباسشویی و... با آب سیاه مقایسه کنید.

آب زیرزمینی: آبی که پایین‌تر از سطح زمین است و در حفره‌ها و درزهای خاک، شن و سنگ وجود دارد، و در یک حوزه آبخوان محصور شده است. اگر سرعت تجدید آب زیر زمینی بسیار طولانی باشد به آن آب تجدیدنپذیر یا فسیلی می‌گویند.

برق آبی: تحت کنترل درآوردن آب جاری - با استفاده از سد یا دیگر سازه‌های منحرف‌کننده - برای ایجاد انرژی که می‌توان آن را با توربین جمع‌آوری و از آن الکتریسیته تولید کرد.

۱۸۲. آب پاکیزه با استفاده از انرژی خورشیدی و بادی: خارج از شبکه‌ی توزیع

برق

نیروگاه‌های برق آبی بزرگ معمولاً توان نامی‌ای بالاتر از ۳۰ مگاوات دارند. توان نامی نیروگاه‌های برق آبی کوچک معمولاً کمتر از ۱۰ مگاوات می‌باشد.

الکتریسیته‌ی منقطع: انرژی الکتریکی که به خاطر عوامل خارجی به طور پیوسته در دسترس نیست و نمی‌توان آن را کنترل کرد. از منابع الکتریسیته منقطع می‌توان انرژی خورشیدی و انرژی بادی را نام برد. میزان الکتریسیته خروجی آن‌ها در هیچ زمانی برآورده کردن تقاضای متغیر برای الکتریسیته را تضمین نمی‌کند.

اینورتر (خورشیدی): یک وسیله الکترونیکی که که الکتریسیته جریان مستقیم ماژول‌های خورشیدی فوتوولتاییک یا باتری‌ها را به جریان متناوب با فرکانس و ولتاژ خروجی مورد نظر تبدیل می‌کند. این جریان می‌تواند در شبکه‌های محلی خارج از شبکه توزیع مرکز مورد استفاده قرار گیرد. حالت موج ولتاژ خروجی مدار یک اینورتر جریان متناوب یک موج سینوسی نیست، بلکه یک موج مربعی یا یک موج سینوسی مغشوش است.

هزینه تراز انرژی / الکتریسیته (LCOE): مقیاس اندازه‌گیری کل هزینه‌ها (به عنوان مثال، هزینه اندازه‌گیری شده به ازای هر کیلووات ساعت) برای تولید الکتریسیته، که شامل هزینه‌های اولیه، هزینه‌های بهره‌برداری، هزینه‌های نگهداری و هزینه‌های سوخت می‌شود.

هزینه تراز ذخیره‌سازی (LCOS): متوسط هزینه ذخیره‌سازی و تخلیه انرژی (هزینه به ازای کیلووات ساعت). LCOS در کل طول عمر یک ذخیره‌ساز محاسبه می‌شود و شامل هزینه‌های اولیه و هزینه‌های بهره‌برداری می‌شود. هزینه تراز نسبت به ارزش پول در همان سال محاسبه می‌شود.

انرژی تجدیدپذیر خارج از شبکه توزیع برق: تولید انرژی تجدیدپذیر بدون اتصال به یک شبکه یا سیستم بزرگتر الکتریسیته.

اسمز: حرکت خود به خودی مولکول‌های حلال (مانند مولکول‌های آب) از درون یک غشاء نیمه نفوذپذیر به ناحیه‌ای با غلظت حلال بالاتر (مانند آب دریا) در جهتی که تمایل دارد تا غلظت هر دو ناحیه یکسان و متعادل کند.

فوتوولتاییک: تولید جریان الکتریسیته در محل اتصال دو ماده که در معرض نور قرار گرفته‌اند. یک سلول فوتوولتاییک یک دیود نیمه رسانا است که به طور خاصی ساخته می‌شود و نور مرئی را به جریان مستقیم تبدیل می‌کند. بعضی از سلول‌های فوتوولتاییک می‌توانند تابش فرابنفش یا مادون قرمز را هم به جریان الکتریسته‌ی مستقیم تبدیل کنند.

اسمز معکوس: نوعی فیلتراسیون غشایی (اسمز را ببینید).

۱۸۳. واژه نامه

تشکیل رسوب: ته نشینی مواد جامد بر روی غشاء در فیلتراسیون اسمز معکوس و اسمز نانو.

سیلیکون: ماده‌ی پایه‌ای که برای ساخت سلول‌های خورشیدی استفاده می‌شود. سیلیکون دومین عنصر فراوان در پوسته‌ی زمین بعد از اکسیژن می‌باشد. سیلیکون یک فلز می‌باشد و بنابراین اتم‌های آن ساختمانی کریستالی دارند.

سیستم خانه‌ی خورشیدی: یک سیستم مستقل (به شبکه توزیع الکتریسیته متصل نیست) که از یک ماژول فوتوولتاییک نسبتاً توان پایین، یک باتری و گاهی یک کنترل‌کننده‌ی شارژ (بار) تشکیل شده است و می‌تواند وسایل الکتریکی کوچک را روشن کند و مقدار معقولی الکتریسیته برای خانه‌ها برای روشنایی و رادیوها تامین کند.

وضعیت شارژ: ظرفیت حال حاضر باتری که به صورت درصدی از حداکثر ظرفیت بیان می‌شود. وضعیت شارژ را می‌توان با انتگرال گرفتن از جریان در طول زمان به دست آورد.

آب سطحی: آبی که از منابع آب مانند رودخانه‌ها، دریاچه‌ها و مخازن آب تا سطح اتمسفر پمپاژ شده است.

هزینه‌های سیستم: این هزینه‌ها شامل تمام اجزای یک سیستم انرژی تجدیدپذیر غیر از پنل‌های فوتوولتاییک یا توربین‌های بادی می‌شود. این هزینه‌ها شامل سیم کشی‌ها، کلیدها و سویچ‌ها، سرهم کردن سیستم، یک یا چند اینورتر، مجموعه‌ی باتری‌ها و یک شارژکننده باتری می‌باشد. دیگر هزینه‌های نرم عبارتند از: تامین سرمایه، نصب اجزای مکانیکی، نصب اجزای الکتریکی، طراحی سیستم، آموزش به مشتری، مجوزها، بازرسی و دریافت تاییدیه، اتصالات، بهره‌برداری و نگهداری.

انرژی‌های تجدیدپذیر متغیر: به الکتریسیته منقطع مراجعه فرمایید.

مصرف آب: حجم آبی که برداشت شده و به منبع باز نمی‌گردد (به عبارت دیگر تبخیر شده یا به محل دیگری منتقل شده است) و طبق معنی آن برای استفاده‌های دیگر در دسترس نیست (برداشت آب را ببینید).

ردپای آب: میزان آب شیرین مصرف شده، مثلاً برای تولید انرژی (مثل لیتر به ازای کیلووات ساعت)

تنش آبی: زمانی که منابع آب شیرین تجدیدپذیر به کمتر از ۱۷۰۰ مترمکعب به ازای هر نفر در سال کاهش پیدا کنند؛ کم آبی به ازای هر شخص به کمتر از ۱۰۰۰ مترمکعب آب در سال رسیده و همینطور به ازای هر شخص، بی‌آبی به سطح کمتر از ۵۰۰ مترمکعب آب در سال به ازای هر شخص می‌باشد.

۱۸۴. آب پاکیزه با استفاده از انرژی خورشیدی و بادی: خارج از شبکه‌ی توزیع برق

تصفیه‌ی آب: فرآیند حذف آلوده‌کننده‌ها از آب یا از آب مصرف شده به منظور بالا آوردن سطح کیفی آب تا استانداردها و ذخیره‌سازی آن در مخازن آب شیرین.

برداشت آب: حجم آبی که از منبع برداشته می‌شود، طبق تعریف برداشت همیشه بزرگتر یا مساوی با میزان مصرف می‌باشد (واژه مصرف آب را ببینید).

پارک بادی (مزرعه‌ی بادی): گروهی از توربین‌ها که با هدف تولید برق در یک ناحیه قرار داده شده‌اند.

پیوست ۲

تبدیل واحدها

توان و انرژی

مهم است که میان نیرو و انرژی تفاوت قائل شویم. نیرو واحد انرژی به ازای زمان، نرخ تولید یا مصرف انرژی می باشد. واحد اس آی (یا سیستم بین المللی واحدها) متریک انرژی ژول می باشد (J) و به صورت ۱ وات ثانیه بیان می شود.

۱ ژول نام اختصاص یافته برای میزان کار ۱ نیوتون*متر می باشد، به عبارت دیگر، نیروی یک نیوتون در طول ۱ متر. واحد اصلی نیرو وات (W) می باشد و به صورت ۱ J/s (یک ژول بر ثانیه) بیان می شود

$$1 \text{ J} = 1 \text{ Ws} \quad (1 \text{ وات ثانیه} = 1 \text{ ژول})$$

$$1 \text{ مگاژول} = 10^6 \text{ J} = (\text{MJ})$$

$$1 \text{ گیگاژول} = 10^9 \text{ J} = (\text{GJ})$$

کیلووات ساعت (kWh) یک واحد استاندارد انرژی الکتریکی است. از آن جایی که ۱ کیلووات برابر با ۱۰۰۰ وات می باشد و ۱ ساعت نیز مساوی ۳۶۰۰ ثانیه است، به مقادیر زیر می رسیم:

$$1 \text{ kWh} = (10^3 \text{ W}) * (3600 \text{ s}) = 3.6 * 10^6 \text{ Ws} = 3.6 * 10^6 \text{ J} = 3.6 \text{ MJ} \quad (\text{دقیقا})$$

$$1 \text{ MW} (\text{مگاوات}) = 10^3 \text{ kW} = 10^6 \text{ W}$$

(توان نامی یک نیروگاه صنعتی بزرگ یا یک سیستم تصفیه ی فاضلاب معمولاً ضربی از مگاوات است)

۱۸۶. آب پاکیزه با استفاده از انرژی خورشیدی و بادی: خارج از شبکه ی توزیع برق

در یک نیروگاه حرارتی، ما باید میان توان الکتریکی (MWe) و توان گرمایی (MWth) تفاوت قائل شویم.

$$1 \text{ GW} (\text{گیگاوات}) = 10^3 \text{ MW} (\text{مگاوات})$$

(ظرفیت توانی رایج برای یک نیروگاه هسته بزرگ)

$$1\text{TWh}=1000\text{GWh}=10^6\text{MWh}=10^9\text{kWh}=10^{12}\text{Wh}$$

مصرف انرژی الکتریکی یک ملت معمولا با TWh بیان می‌شود. به عنوان مثال، تمامی تاسیسات تصفیه آب مصرف شده در سوئد در سال حدودا به $0.6\text{TWh}=600\text{GWh}$ نیاز دارند. متعاقبا، به طور متوسط میزان توان $600/8760=0.0698\text{GW}=68\text{MW}$ هر ساعت هر روز و هر شب وجود دارد. با ۹ میلیون نفر جمعیت، هر شهروند به طور متوسط ۷,۵ وات انرژی برای آب مصرف شده استفاده می‌کند. تقریبا همین میزان توان و انرژی برای تامین آب آشامیدنی مورد استفاده قرار می‌گیرد.

همچنان شاهد واحدهای قدیمی اسب بخار در انتشارات آمریکا هستیم.

$$1\text{ اسب بخار}=1\text{ hp}=746\text{ W}$$

فشار

واحد متریک فشار پاسکال می‌باشد (Pa)، که ۱ پاسکال = ۱ نیوتون تقسیم بر متر مربع، که فشار خیلی پایینی می‌باشد.

$$1\text{ بار}=10^5\text{ پاسکال}=0.1\text{ مگا پاسکال}$$

$$1\text{ مگاپاسکال}=10\text{ بار}$$

واحدهای قدیمی به صورت زیر هستند:

$$1\text{ پی اس آی (پوند بر اینچ مربع)}=6895\text{ پاسکال}$$

$$1\text{ بار}=14.5\text{ پی اس آی}$$

محتوای گرمایی

پیش از آن که کشف شود که گرما در واقع نوعی از انرژی است، به صورت توانایی آن برای افزایش دمای آب اندازه‌گیری می‌شد. واحد کالری و واحدهای گرمایی انگلیسی بر این مبنی تعریف شدند.

کالری (Cal): طبق تعریف سنتی آن یک کالری میزان گرمای مورد نیاز برای افزایش دمای ۱ گرم آب به اندازه‌ی یک درجه سلسیوس می‌باشد، از ۱۴,۵ تا ۱۵,۵ درجه‌ی سلسیوس.

واحد گرمای انگلیسی (Btu) نظیر کالری در سیستم انگلیسی است.
 ۱ Btu گرمای مورد نیاز برای افزایش دمای یک پوند آب به اندازه ۱ درجه فارنهایت می‌باشد.

$$1 \text{ Btu} = 251.9958 \text{ Cal}$$

۱۸۷. تبدیل واحدها

در سال ۱۹۴۸، از آن جایی که گرما نوعی از انرژی می‌باشد، تصمیم گرفته شد که واحد اس‌آی گرما نیز باید برای همه شکل‌های انرژی یکسان و در واحد ژول باشد. ۱ کالری به طور دقیق ۴,۱۸۶۰ ژول و بدون مبنی قرار دادن گرم کردن آب تعریف شده است. (در علوم تغذیه منظور از واحد کالری، در واقع کیلوکالری می‌باشد).
 رابطه‌ی بین kWh و Btu به Btu مورد استفاده بستگی دارد.

$$1 \text{ kWh} = 3412 \text{ Btu} ; 10^6 \text{ J} = 0.278 \text{ kWh} = 947.8 \text{ Btu} ; 1 \text{ MJ} = 1 \text{ مگاژول}$$

$$1000 \text{ Btu} = 0.293 \text{ kWh} \quad 100000 \text{ Btu} = \text{therm}$$

واحد کواد معمولاً در آمریکا استفاده می‌شود

$$1 \text{ کواد} = 10^{15} \text{ Btu} = 1,055,06 \times 10^{12} \text{ مگاژول} = 1,055 \text{ EJ}$$

(در نظر داشته باشید که کوادرلیون در اروپا = 10^{24} می‌باشد)

حجم، مساحت و طول

بعضی از واحدهای رایج متریک طول:

$$1 \text{ میکرون} = 1 \text{ میکرومتر} = 10^{-6} \text{ متر}$$

$$1 \text{ انگستروم} (\text{\AA}) = 10^{-18} \text{ متر (نام‌گذاری شده به افتخار فیزیکدان سوئدی، ای. جی. انگستروم ۱۸۷۴-۱۸۱۴)}$$

$$10 \text{ انگستروم} (\text{\AA}) = 1 \text{ نانومتر} = 10^{-9} \text{ متر}$$

واحدهای متریک مساحت عبارتند از:

$$1 \text{ هکتار} = 10,000 \text{ متر مربع}$$

۱ کیلومتر مربع = 1000^2 متر مربع

واحدهای غیرمتریک عبارتند از:

۱ گالن آمریکایی = ۳,۷۸ لیتر ؛ ۱ گالن انگلیس = ۴,۵۴۶ لیتر = ۱,۲ گالن مایع آمریکایی
۱ بشکه آمریکا = واحد اندازه‌گیری مایعات که برای نفت، معمولاً نفت خام، مورد استفاده قرار می‌گیرد = ۴۲ گالن آمریکا = ۱۵۹ لیتر

معادل یک بشکه نفت یک واحد اندازه‌گیری انرژی است که معادل با انرژی حاصل از یک بشکه نفت خام می‌باشد = ۵,۸ * 10^6 Btu یا ۶۱۱۹ مگاژول

جریب^۱ - فوت (حجم یک جریب فرنگی (۴۰۴۷ متر مربع یا ۴۳۵۶۰ فوت مربع) با عمق یک پا (۰,۳۰۵) که معمولاً در آمریکا استفاده می‌شود؛ که برای نشان دادن میزان مصرف آب سالانه یک خانواده یا برای آبیاری استفاده می‌شود.

۱ جریب فوت = ۴۰۴۷ متر مربع

۰,۳۰۵ متر = ۱۲۳۳,۵ مترمکعب (= ۴۳۵۶۰ فوت مکعب = ۳۲۶۷۰۰ گالن)

۱ فوت مکعب = 0.305^3 مترمکعب = ۰,۰۲۸۴ مترمکعب = ۲۸,۴ لیتر؛

۱ مترمکعب = ۳۵,۲۵ فوت مکعب

جرم

۱ پوند (lb) = ۰,۴۵۳۶ کیلوگرم

۱ متریک تن = ۰,۹۸۴ تن انگلیسی

غلظت

غلظت معمولاً با میلی گرم بر لیتر (= ppm یک جزء در هر میلیون) معادل کیلوگرم بر مترمکعب، اندازه‌گیری می‌شود.

کاربرد آب در تولید انرژی

در بعضی از منابع آمریکایی واحد گالن بر میلیون Btu (Gallons/million Btu) را می‌بینیم:

$$1 \text{ Mbtu} = 293 \text{ kWh} = 1054 \text{ Mj}$$

$$1000 \text{ Gallon/Mbtu} = 12.9 \text{ litres/kWh} = 3,59 \text{ Litres/MJ}$$

$$1 \text{ litre/MJ} = 279 \text{ Gallons/Mbtu}$$

مصرف انرژی در عملیات‌های آبی

kWh/million Gallons: (کیلووات ساعت بر میلیون گالن):

$$1000 \text{ kWh/Million Gallons} = 1 \text{ MWh/million Gallons} = 0.264 \text{ kWh/m}^3$$

$$1 \text{ kWh/m}^3 = 3780 \text{ kWh/million Gallons} = 3.78 \text{ MWh/million Gallons}$$

kWh/acre-foot: (کیلووات ساعت بر جریب-فوت)

$$1000 \text{ kWh/acre-foot} = 1 \text{ MWh/acre-foot} = 0.81 \text{ kWh/m}^3$$

$$1 \text{ kWh/m}^3 = 1230 \text{ kWh/acre-foot} = 1.23 \text{ Mwh/acre-foot}$$

کلمات اختصاری {سرواژه‌ها}

AC: alternating current:	جریان متناوب
AD: anerobic digestion:	هاضم بی‌هوازی
AMTA: American Membrane Technology Association:	اتحادیه‌ی تکنولوژی غشاهای آمریکایی
BOD: biochemical oxygen demand, a measure of the organic carbon content in wastewater:	اکسیژن مورد نیاز بیوشیمیایی، مقیاسی برای اندازه‌گیری میزان کربن آلی در پساب
BWRO: brackish water reverse osmosis:	آب لب شور اسمز معکوسی
Capex: capital expenditures:	کل آورده‌ها (سرمایه‌ها)
COD: chemical oxygen demand:	تقاضا برای اکسیژن شیمیایی
CSP: concentraring Solar power:	متمرکز کردن انرژی خورشیدی
DC: direct current:	جریان مستقیم
Do: dissolved oxygen:	اکسیژن حل شده
DoD: Depth of discharge:	عمق تخلیه
EBPT: energy payback time:	زمان برگشت انرژی
GHI: global horizontal Irradiance:	تابش جهانی افقی
GOGLA: Globall off-grid Lighting Association:	اتحادیه‌ی جهانی روشنایی خارج از شبکه
GWP: Global warming potential:	پتانسیل گرمایش جهانی
IAEA: International Atomic Energy Agency:	اتحادیه‌ی جهانی انرژی اتمی
IEA: International Energy Agency:	اتحادیه‌ی بین‌المللی انرژی
IEC: International Electrotechnical Commission:	کمیسیون الکتروتکنیکال بین‌المللی
IRENA: International Renewable Energy Agency:	آژانس بین‌المللی انرژی‌های تجدیدپذیر
IWR: Irrigation water requiremet:	نیازمندی‌های آبی آبرسانی
LCOE: levelised cost of Energy:	بهای سطح‌بندی شده‌ی انرژی

LCOS: levelised cost of storage:	بهای سطح‌بندی شده‌ی ذخیره‌سازی
LED: light-emitting diod:	دیود نور ساطع‌کننده
LOHC: liquid organic hydrogen carrier:	حمل‌کننده‌ی ارگانیک نیتروژن مایع
MCI: manufacturing, construction and installation:	تولید، ساخت و نصب
MED: multiple effect distillation:	تقطیر چند تأثیره
MF: microfiltration:	میکروفیلتراسیون
MSF: multistage flash distillation:	تقطیر چند مرحله‌ای لحظه‌ای
NF: nanofiltration:	نانو فیلتراسیون
NOM: natural organic material:	ماده‌ی ارگانیک طبیعی
NRECA: National rural electric cooperative Association:	اتحادیه‌ی ملی تعاونی برق حومه‌ای
NREL: national renewable energy laboratory:	آزمایشگاه ملی انرژی‌های تجدیدپذیر
O&M: operations and maintenance:	عملیات‌ها و نگهداری
Opex: operating expenditures:	هزینه‌های اجرایی
PAYG: pay as you go:	پرداخت حین اجرا
Ppm: parts per million or mg/l:	قطعات {اجزا} به ازای هر یک میلیون یا میلی گرم بر لیتر
PV: photovoltaic:	فوتو ولتاییک
REEEP: Renewable energy and energy efficiency partnership:	همکاری ما بین انرژی تجدیدپذیر و بازدهی انرژی
RO: reverse osmosis:	اسمز معکوس
Sdg: (united nations) sustainable development goals:	اهداف توسعه‌ی پایدار (سازمان ملل)
SHS: solar home system:	سیستم خانه‌ی خورشیدی
SSA: sub-Saharan Africa:	کشورهای آفریقایی جنوب صحرائی
SSD: solar still distillation:	تصفیه‌ی تقطیری با استفاده از انرژی خورشیدی
SWRO: seawater reverse osmosis:	آب شور {آب دریا} اسمز معکوسی
SWT: small wind turbines:	توربین‌های بادی کوچک
TRL: technology readiness level:	سطح آمادگی تکنولوژی
UF: ultra-filtration:	فرا فیلتراسیون
UNDP: United Nation Development Plan:	طرح توسعه‌ی سازمان ملل

UNESCO: United Nation Educational, Scientific and Cultural Organization:

سازمان علمی و فرهنگی و آموزشی سازمان ملل

UNICEF: United Nations Children's Fund, initially un International children
Emergency Fund: صندوق کودکان سازمان ملل، در ابتدا صندوق اورژانسی کودکان سازمان ملل

UNIDO: United Nations Industrial Development Organization:

سازمان توسعه‌ی صنعتی سازمان ملل

USAID: United States Agency for International Development:

سازمان توسعه‌ی جهانی ایالات متحده‌ی آمریکا

VFB: vanadium redox-flow Batteries:

باتری‌های جریان‌ی-اکسایشی کاهشی وانادیومی

WEC: world energy council:

شورای جهانی انرژی

WEF: world economic forum:

انجمن اقتصاد جهانی

WHO: World Health Organization:

سازمان سلامت جهانی

WWDR: (United Natons) World Water Development Report:

گزارش توسعه‌ی آب جهانی (سازمان ملل)

Solar photo-voltaic (PV) and wind offer to bring both clean energy and clean water to remote regions and peri-urban areas in the world, outside the conventional electric grids. One out of seven people has no electric power available that would bring light to the home, cook the food, pump to access water and purify or re-use it. Off-grid systems are scalable and can be designed to any size, from household to village and community levels. The renewable energy cost development is remarkable and can make electric power affordable also for the poorest.

Renewables promise an end to the era where energy security is closely related to geopolitics. The expenditure is up-front capital cost while "fuel" is free. With renewables, there is no geopolitical pressure where one country has deposits of a fossil fuel while another does not.

This book aims to show how clean water and clean energy are reachable for all while contributing to both a better climate and a healthier life.

"Prof. Olsson has deep insights and wisdom on the importance of synergy between water and energy sectors, thus this book would serve as a main reference for professionals on how both sectors could serve the needs of the people in a sustainable manner."

***Dato' Seri Ir. Dr. Zaini Ujang, Secretary-general, Energy, Green Technology
and Water Ministry (KeTTHA), Malaysia***

"Prof. Olsson's latest book is designed to enhance understanding of the renewable energy revolution that is now underway, and how use of solar and wind energy can help provide water services to those currently underserved. He succeeds in a carefully written, concise, and yet comprehensive book that will appeal to many audiences ... His book is an important contribution to understanding vital changes taking place broadly in the 21st century that will improve the lives of millions."

***Dr. Allan Hoffman, Senior Analyst, Office of Energy Efficiency and Renewable Energy,
U.S. Department of Energy (retired), Author, The U.S. Government and Renewable Energy:
A Winding Road, Washington D.C., United States***

"Gustaf has rightfully stressed the specific importance of solar and wind energy for providing clean drinking water and sanitation to the underprivileged communities. This book will be a highly valuable reference for both power and water engineers."

***Professor Zhiguo Yuan, Director, Advanced Water Management Centre, The University of
Queensland, Brisbane, Australia***



iwapublishing.com

@IWAPublishing

ISBN: 9781789062953 (eBook)

