

جغرافیا و توسعه شماره ۴۳ تابستان ۱۳۹۵

وصول مقاله: ۱۳۹۴/۰۹/۲۴

تأیید نهایی: ۱۳۹۴/۱۲/۰۸

صفحات: ۱۳۲-۱۱۳

## امکان سنجی تولید برق از پنل خورشیدی پشت‌بام در مناطق روستایی استان خوزستان

دکتر عباس عساکره<sup>۱</sup>، دکتر محسن غدیریان فر<sup>۲</sup>، دکتر محمدجواد شیخ داودی<sup>۳</sup>

### چکیده

هدف از این تحقیق امکان‌سنجی تولید برق خورشیدی با سامانه فتوولتائیک در مناطق روستایی و با استفاده از پشت‌بام واحدهای مسکونی در استان خوزستان به عنوان سامانه‌ی کمک‌یار شبکه‌ی تأمین برق است. بررسی واحدهای مسکونی روستایی این استان نشان داد که بیشترین سطوح قابل استفاده پشت‌بام این واحدها، جهت نصب پنل‌های خورشیدی، به ترتیب با ۲۲/۵۶، ۱۰/۰۸، ۸/۵۸ و ۷/۷۳ درصد از کل مساحت مفید، در شهرستان‌های اهواز، دزفول، شوش و شادگان، قرار دارند. همچنین مقدار سطح مفید پشت‌بام واحدهای مسکونی روستایی، جهت نصب سامانه فتوولتائیک، ۴۵ درصد محاسبه شد. بر اساس نقشه‌ی تهیه شده در محیط GIS، میانگین سالانه‌ی شدت تابش روزانه آفتاب در کل روستاهای استان خوزستان، ۵/۲۱۹ کیلووات‌ساعت به دست آمد. بیشترین میانگین سالانه شدت تابش آفتاب در روستاهای شهرستان‌های رامهرمز و هندیجان، به ترتیب با ۵/۳۷ و ۵/۳۶ کیلووات‌ساعت بر مترمربع در روز به دست آمد. با فرض استفاده از ۲۵ درصد از سطح پشت‌بام و بازده ۶/۴۸ درصدی سامانه تبدیل انرژی خورشیدی، امکان تولید برق در پشت‌بام واحدهای مسکونی روستایی استان خوزستان، ۷۶۶/۵ گیگاوات‌ساعت در سال می‌باشد که این مقدار، ۷/۲۹ درصد از مصرف کل برق خانگی استان و ۲۸/۸۰ درصد سرانه مصرف برق خانگی در استان خوزستان است. همچنین در استان خوزستان بیشترین مصرف برق همزمان با بیشترین تابش خورشیدی است. بنابراین، می‌توان با استفاده از سامانه‌های فتوولتائیک در پشت‌بام منازل روستایی، فشار بر خطوط انتقال برق و قطعی برق را کاهش داد. کلیدواژه‌ها: انرژی خورشیدی، پشت‌بام واحدهای مسکونی روستایی، خوزستان، سامانه‌ی اطلاعات جغرافیایی، سامانه فتوولتائیک.

A.Asakereh@scu.ac.ir

M.ghadiryan@scu.ac.ir

Mj.davoodi@scu.ac.ir

۱- استادیار گروه مهندسی بیوسیستم، دانشگاه شهید چمران اهواز (نویسنده مسؤول)

۲- استادیار گروه مهندسی بیوسیستم، دانشگاه شهید چمران اهواز

۳- دانشیار گروه مهندسی بیوسیستم، دانشگاه شهید چمران اهواز

## مقدمه

نقش انرژی در توسعه و پیشرفت جوامع بشری از چنان حساسیتی برخوردار است که در صورت نبود آن، توسعه‌ی تمدن‌ها به شکل امروزی آن امری محال بود. علاوه بر این، تولید و تأمین انرژی، مستلزم صرف هزینه است و این هزینه، همواره یکی از چالش‌های پیش روی سیاست‌گذاران بوده است.

در دهه‌های اخیر و به دلیل افزایش فعالیت‌های کشاورزی، صنعتی و خانگی، تقاضا برای انرژی نیز بطور قابل ملاحظه‌ای افزایش یافته است که این امر منجر به استفاده‌ی هر چه بیشتر از منابع فسیلی، و به تبع آن افزایش انتشار گازهای گلخانه‌ای و افزایش قیمت سوخت‌های فسیلی شده است. استفاده از منابع انرژی تجدیدناپذیر، به ویژه در کشورهای در حال توسعه که از سطح دانش فنی پایینی نیز برخوردارند، نه تنها موجب آلودگی محیط زیست می‌شود، بلکه کاهش شدید این منابع گران‌بها را نیز به همراه دارد (Fadai, 2007: 147). همچنین با روند کنونی رشد مصرف انرژی، مساله‌ی تأمین انرژی یکی از چالش‌های اصلی آینده نزدیک، حتی برای کشورهای دارای ذخایر غنی نفتی خواهد بود (Vine, 2008: 50). این در صورتی است که منابع انرژی تجدیدپذیر می‌توانند بدون محدودیت و در مقایسه با سوخت‌های فسیلی و هسته‌ای، با حداقل اثرات زیست‌محیطی مورد استفاده قرار گیرند. در واقع، افزایش سریع تقاضای انرژی و اثرات زیست‌محیطی محلی، ناحیه‌ای و جهانی ناشی از تولید و مصرف انرژی، دو مشکل عمده جهان امروز می‌باشد (Chineke, 2008: 828). بنابراین بسیاری از کشورها جهت پاسخ‌گویی به رشد فزاینده تقاضای انرژی و برآوردن اهداف توسعه‌ی پایدار، توجه زیادی به استفاده از منابع انرژی جایگزین به ویژه انرژی‌های تجدیدپذیر نموده‌اند. جایگزینی تدریجی منابع انرژی تجدیدناپذیر

با منابع تجدیدپذیر، برای بیشتر کشورها به یکی از مهم‌ترین انگیزه‌ها تبدیل شده است، بطوری که انرژی‌های تجدیدپذیر در حال تبدیل شدن به منابع اصلی انرژی جهان هستند (Hossain & Badr, 2007: 1618; Fadai, 2007: 174).

سهولت دسترسی به انرژی خورشیدی در خاورمیانه نسبت به سایر انرژی‌های تجدیدپذیر بیشتر است. ایران در شرق خاورمیانه نه تنها از منابع سوخت‌های فسیلی و گاز طبیعی ارزشمند و گسترده بهره‌مند است، بلکه از نظر منابع انرژی‌های تجدیدپذیر نیز غنی می‌باشد. ایران دومین کشور بهره‌مند از منابع مختلف انرژی در خاورمیانه است. در کنار منابع انرژی مرسوم مانند نفت و گاز طبیعی، ایران از منابع فراوان انرژی‌های تجدیدپذیر مانند خورشید، باد، زمین‌گرایی و آب برخوردار است (Fadai, 2007: 174). هر چند آخرین ترانزنامه‌های انرژی ایران نشان می‌دهند که تعادلی نسبی بین عرضه و تقاضای توان برقی در کشور وجود دارد، ولی چنین موفقیتی بیشتر بر منابع انرژی مرسوم (فسیلی) استوار است. به‌هر حال عمر ذخایر نفتی محدود بوده و باید سهم تولید آن در آینده کشور در نظر گرفته شود. به‌همین دلیل دولت جمهوری اسلامی ایران براساس سیاست کمینه‌کردن استخراج سوخت‌های فسیلی و تلفیق آن با فناوری‌های پیشرفته، و در راستای کاهش آثار زیست‌محیطی، تلاش گسترده‌ای را در جهت استفاده‌ی وسیع از انرژی‌های تجدیدپذیر، هسته‌ای و استفاده‌ی ترکیبی از منابع انرژی، شروع کرده است (Ghorashi, 2007: 1644; Ghorashi & Rahimi, 2011: 730). با این وجود به علت محدودیت‌های مختلف اقتصادی و فناوری، هنوز انرژی‌های تجدیدپذیر در ایران در سطح وسیعی مورد استفاده قرار نمی‌گیرند و کشور به شدت وابسته به سوخت‌های فسیلی است و این در صورتی است که بخش قابل توجهی از انرژی مورد نیاز ایران را

می‌توان از منابع انرژی تجدیدپذیر به دست آورد (Atabi, 2004: 69). امروزه و با توسعه‌ی کشاورزی به نقاط دوردست، موضوع انتقال انرژی از طریق شبکه‌های برق سراسری و یا لوله‌های نفت و گاز، با کمترین هدررفت و افزایش قیمت حامل‌های انرژی، از جمله مسائلی هستند که ذهن پژوهش‌گران زیادی را برای یافتن راه حلی برای حل آنان معطوف کرده است. از جمله راه‌حل‌های توصیه شده می‌توان به تولید انرژی از منابع تجدیدپذیر در محل مورد استفاده اشاره نمود. انرژی باد، زیست‌توده و خورشید از رایج‌ترین منابع تجدیدپذیر در مناطق روستایی، می‌باشند. طراحی و برنامه‌ریزی جامع و فراگیر و ارزیابی سامانه‌های تبدیل انرژی‌های تجدیدپذیر، به اطلاعات کافی از وضعیت انرژی‌های تجدیدپذیر در محل مورد استفاده، نیاز دارد. مصرف برق کشور در سال‌های اخیر به دلایل متعددی از قبیل رشد سریع جمعیت، توسعه‌ی شهرنشینی، افزایش سطح زندگی و رفاه، واقعی نبودن تعرفه‌ها، گرمایش متوسط جهانی و توسعه‌ی صنعتی و تجاری، افزایش داشته است. مصرف برق در سال ۱۳۹۰ نسبت به سال ۱۳۸۴ ۳۹/۵ درصد رشد کرده است. بخش خانگی و کشاورزی با ۳۰/۸۷ و ۱۶/۳۲ درصد به ترتیب پس از بخش صنعت بیشترین مصرف برق کشور را به خود اختصاص داده‌اند. بر اساس ترازنامه‌ی انرژی در سال ۱۳۹۱، مصرف برق در استان خوزستان ۲۳۵۳۸/۸ گیگاوات ساعت بوده است که مصرف بخش کشاورزی ۱۶۲۰/۷ گیگاوات ساعت از آن (۶/۸۹ درصد مصرف برق استان خوزستان) را شامل می‌شده است (ترازنامه انرژی، ۱۳۹۱: ۱۸۸).

کل خانوارهای بهره‌مند از برق روستایی در استان خوزستان تا سال ۱۳۹۱، ۱۸۱۲۴۶ خانوار بوده است. بر اساس میانگین سالانه مصرف برق خانگی در استان خوزستان (۹۷۳۱ کیلو وات ساعت به ازای هر مشترک)،

مصرف سالانه برق خانگی روستایی برابر با ۱۷۶۳/۷۲ گیگاوات ساعت است (وزارت نیرو، ۱۳۹۲: ۱۶). تعداد ۴۰۵۵ آبادی و روستای دارای سکنه در سرتاسر استان خوزستان پراکنده شده‌اند. انتقال انرژی به این روستاها علاوه بر هزینه‌های زیاد، نیاز به ایجاد تأسیسات و تخریب محیط زیست، هدررفت انرژی در روند انتقال را در پی خواهد داشت. در سال ۱۳۹۱ حدود ۱۵ درصد از کل انرژی برق تولید یا خریداری شده در ایران، در شبکه‌های انتقال و توزیع، عمدتاً به صورت گرما تلف شده است (ترازنامه انرژی، ۱۳۹۱: ۳۳).

استفاده از منابع انرژی محلی و تجدیدپذیر می‌تواند جایگزین مناسبی برای تأمین انرژی در روستاها و مناطق دورافتاده باشد. استان خوزستان با توجه به موقعیت جغرافیایی خود دارای پتانسیل مناسبی از نظر انرژی خورشیدی است. انرژی خورشیدی می‌تواند بدون خطر و انتشار آلاینده‌های هوا، به شکل‌های دیگر انرژی تبدیل گردد. از انرژی خورشیدی می‌توان به شکل مستقیم به عنوان منبع تولید گرما در جمع‌کننده‌ها و یا به صورت غیرمستقیم در تولید برق در سلول‌های خورشیدی (فتوولتائیک) استفاده نمود. تحقیقات زیادی در زمینه‌های مختلف انرژی خورشیدی به خصوص تعیین شدت تابش و پتانسیل انرژی خورشیدی در ایران صورت گرفته است که پیش‌بینی تابش خورشیدی با شبکه‌ی عصبی مصنوعی در همدان (سبزی‌پرور و علیائی، ۱۳۹۰: ۴۰-۳۱)، برآورد تابش کلی خورشید در اصفهان (بیزدان‌پناه و همکاران، ۱۳۸۹: ۱۰۴-۹۵)، بررسی مدل‌های مختلف برآورد تابش خورشیدی برای اقلیم نیمه‌خشک ایران (موسوی‌بایگی و همکاران، ۱۳۸۹: ۱۴۴-۱۳۶)، برآورد تابش خورشیدی در ایران با مدل رگرسیون (معینی و همکاران، ۱۳۸۹: ۱۰-۱)، برآورد و تهیه‌ی اطلس تابش خورشید برای ایران (صفائی و همکاران، ۱۳۸۴: ۳۷-۱۷)، ارائه‌ی رابطه‌ی جهت تخمین

میزان تابش کل در اقلیم‌های مختلف ایران (براهیم‌پور و همکاران، ۱۳۸۸: ۱-۲۲) و برآورد و پهنه‌بندی تابش خورشیدی دریافتی استان آذربایجان شرقی در محیط GIS (خسروی و همکاران، ۱۳۹۲: ۶۳-۳۹)، تعدادی از این پژوهش‌ها هستند. نتایج پژوهش‌ها در این زمینه نشان می‌دهد که بیشتر نقاط کشور دارای شرایط مناسبی از نظر شدت تابش و پتانسیل استفاده از انرژی خورشیدی می‌باشند. ارزیابی اقتصادی استفاده از انرژی خورشیدی نیز از موضوعات مهم در زمینه‌ی انرژی خورشیدی است. در ایران نیز تحقیقاتی در این زمینه صورت گرفته است که نشان می‌دهد استفاده از انرژی خورشیدی در ایران، اقتصادی و به صرفه است (مهروی عادل و همکاران، ۱۳۹۳: ۱۴۷-۱۲۳؛ سلیمی‌فر و همکاران، ۱۳۹۲: ۱۳۶-۱۱۵؛ خوش‌اخلاق و همکاران، ۱۳۸۴: ۱۹۲-۱۷۱). یکی از مهم‌ترین کاربردهای سامانه‌های فتوولتائیک استفاده در ساختمان‌ها جهت تأمین بخشی از برق مصرفی است که به یکی از زمینه‌های مهم تحقیقاتی و کاربردی در نقاط مختلف جهان تبدیل شده است. از این‌رو انجام مطالعه‌ای جامع و فراگیر در زمینه‌ی امکان و پتانسیل تولید برق خورشیدی با استفاده از سطوح پشت‌بام منازل در استان خوزستان (به عنوان یکی از استان‌های برخوردار از میزان تابش خورشیدی مناسب در ایران) ضروری می‌باشد. با وجود مزایای برق خورشیدی از جمله امکان استفاده از این منبع نسبتاً پاک در مناطق دوردست، هنوز چالش‌هایی از قبیل امکان تولید اقتصادی این انرژی وجود دارد. با این وجود هدف از این مطالعه، امکان‌سنجی تولید برق خورشیدی از طریق سامانه‌ی فتوولتائیک در پشت‌بام منازل روستایی استان خوزستان، به عنوان سامانه‌ی کمک‌یار شبکه‌ی تأمین برق می‌باشد و به دیگر موضوعات مرتبط با این صنعت از قبیل موضوعات

اجتماعی، اقتصادی، زیست‌محیطی و غیره پرداخته نمی‌شود.

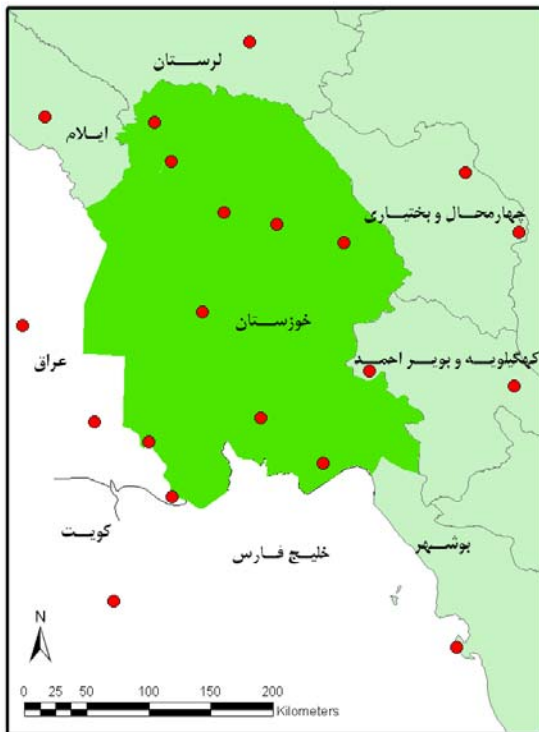
### داده‌ها و روش‌شناسی

ارزیابی پتانسیل تولید انرژی خورشیدی با پنل خورشیدی بر روی پشت‌بام ساختمان‌ها نیازمند سنجش و بررسی پتانسیل فیزیکی، پتانسیل جغرافیایی و پتانسیل فنی است. پتانسیل فیزیکی شامل تابش خورشیدی قابل استفاده است و برابر با مقدار تابشی است که به سطح زمین می‌رسد. علی‌رغم نیاز مبرم، اندازه‌گیری مستقیم انرژی تابش خورشیدی تنها در تعداد معدودی از ایستگاه‌های هواشناسی کشور در دسترس است. پتانسیل جغرافیایی شامل مساحت در دسترس و قابل استفاده پشت‌بام، جهت نصب پنل و سامانه‌ی فتوولتائیک است. برای جبران بازدهی پایین سامانه‌ی فتوولتائیک، باید مساحت زیادی از پنل به کار گرفته شود و این یکی از مشکلات این سامانه‌ها است. محاسبه‌ی مقدار مساحت پشت‌بام قابل استفاده جهت نصب سامانه‌ی فتوولتائیک با توجه به ویژگی و شرایط پشت‌بام و منطقه از عوامل تعیین‌کننده‌ی مقدار برق تولیدی است. پتانسیل فنی و بازده سامانه‌ی فتوولتائیک مقدار انرژی قابل استحصال از یک مساحت و مقدار تابش مشخص را نشان می‌دهد.

### تابش خورشیدی

داده‌های قابل اطمینان از تابش طولانی‌مدت آفتاب، تنها برای مناطق دارای ایستگاه اندازه‌گیری، موجود است. تابش آفتاب در مناطق فاقد داده، با روش‌های درون‌یابی مناسب، از داده‌های ایستگاه‌های با شرایط آب و هوایی مشابه به دست می‌آیند. بطور کلی تجزیه و تحلیل پتانسیل انرژی خورشید در مقیاس بزرگ، با تقریب قابل قبولی از میزان تابش خورشید، امکان‌پذیر

است (Izquierdo et al, 2011:208-2013). نقشه‌ی تابش خورشید به صورت رستری با دقت ۱۰۰ در ۱۰۰ متر برای کل استان خوزستان تهیه گردید. جهت اطمینان از صحت نقشه‌ی تهیه شده از شدت تابش آفتاب، این نقشه با برآوردهای صورت‌گرفته در تحقیقات دیگر مورد مقایسه قرار گرفت (حق‌پرست‌کاشانی و همکاران، ۱۳۸۸: ۱۶۹-۱۵۸؛ سپهوند، ۱۳۹۰: ۴۹-۴۷) که همخوانی مناسبی با همدیگر نشان دادند.



شکل ۱: موقعیت مکانی ایستگاه‌های مورد بررسی تهیه و ترسیم: نگارندگان، ۱۳۹۴

### مساحت قابل استفاده پشت‌بام

محاسبه‌ی مساحت پشت‌بام واحدهای مسکونی براساس مساحت زیربنای منازل روستایی صورت گرفت. مساحت زیربنای واحدهای مسکونی بر اساس سطح زیربنا، آپارتمانی و غیر آپارتمانی، به تفکیک شهرستان‌های خوزستان در سال ۱۳۹۰، از مرکز آمار ایران اخذ گردید

است (Bergamasco & Asinari, 2011: 1043).

داده‌های تابش آفتاب از سازمان‌های هواشناسی و انرژی‌های نو ایران و سازمان فضایی امریکا (ناسا)، برای ۱۷ نقطه داخل کشور و سه نقطه خارج از کشور (شهرهای بصره و عماره در کشور عراق و شهر کویت در کشور کویت)، بر اساس میانگین شدت تابش روزانه در ماه و سال تهیه گردید. میانگین تابش روزانه آفتاب برای هر ماه و سال بر اساس کیلووات‌ساعت بر متر مربع بر روز بیان شده است. دوره‌ی آماری داده‌های هواشناسی از زمان تأسیس ایستگاه سنجش تابش خورشیدی تا سال ۲۰۱۱ میلادی می‌باشد.

موقعیت ایستگاه‌ها در شکل (۱) نشان داده شده است. میانگین‌های محاسبه شده برای هر ایستگاه و نقطه، با توجه به مختصات جغرافیایی آن ایستگاه، بر روی نقشه رسم گردید. طول و عرض جغرافیایی هر ایستگاه و نقطه بر اساس سامانه مختصات جغرافیایی UTM<sup>۱</sup> تعیین گردیده و با استفاده از روش درون‌یابی در محیط Arc GIS مقادیر تابش روزانه برای سایر مناطق نیز به دست آمد. روش‌های درون‌یابی مختلفی در نرم‌افزار Arc GIS نسخه ۹/۳ وجود دارد که هر یک دارای روش‌ها و معادله‌های مختلفی هستند. جهت درون‌یابی، همه روش‌ها و معادله‌های مختلف در نرم‌افزار Arc GIS نسخه ۹/۳، آزمون گردیدند و در نهایت روش کریجینگ<sup>۲</sup>، با توجه به برخورداری از کمترین ریشه میانگین مربعات خطا، انتخاب گردید. این روش یکی از فنون درون‌یابی پیشرفته است که برای تعیین مقادیر مکان‌های اندازه‌گیری نشده با استفاده از مقادیر اندازه‌گیری شده اطراف آن، استفاده می‌شود

(Ruelland et al, 2008:98; Gormally et al., 2012: 285).

از این روش در کشور اسپانیا برای محاسبه‌ی انرژی خورشیدی در مناطق فاقد داده استفاده شده

1-Universal Transverse Mercator coordinate system  
2-Kriging

(مرکز آمار ایران، ۱۳۹۴). بر اساس این داده‌ها، مساحت زیربنای ۱/۵۸ درصد از واحدهای مسکونی روستایی استان خوزستان نامشخص بودند. منازل روستایی با توجه به مساحت زیربنا، به ده دسته تقسیم شدند و از حاصل ضرب تعداد واحد مسکونی هر دسته، در میانگین مساحت زیربنای آن دسته، مساحت زیربنای واحدهای مسکونی در هر شهرستان به دست آمد. محاسبه‌ی مساحت واحدها با زیربنای نامشخص، بر اساس میانگین وزنی زیربنای سایر واحدها به تفکیک هر شهرستان صورت گرفت. مهم‌ترین عوامل مؤثر بر مقدار مساحت قابل استفاده پشت‌بام منازل، عبارتند از: نوع و شیب پشت‌بام، وجود سازه یا سامانه‌های گرمایشی و سرمایشی بر روی پشت‌بام، سایه‌اندازی سلول‌های خورشیدی بر سلول‌های مجاور و سایه‌اندازی تأسیسات، ساختمان‌ها و درختان مجاور. تقریباً پشت‌بام خانه‌های همه‌ی آبادی‌ها و روستاهای استان خوزستان، به صورت مسطح و تخت است و به ندرت سقف شیروانی وجود دارد. به همین دلیل سقف همه‌ی منازل به صورت تخت در نظر گرفته شد. از عوامل دیگری که بر مقدار سطح قابل استفاده پشت‌بام منازل اثر می‌گذارد، وجود دودکش، نورگیر و هواکش می‌باشد. تقریباً در روستاهای ایران به خصوص بافت سنتی، چنین تجهیزاتی در سقف منازل وجود ندارند یا بسیار کم و ناچیز می‌باشند و می‌توان از آن‌ها صرف نظر کرد. سایه‌اندازی سلول‌های خورشیدی بر روی یکدیگر علاوه بر کاهش شدید بازده، ممکن است موجب آسیب رسیدن به سلول‌های خورشیدی شود. اگر بر روی بخشی از یک ماژول خورشیدی (هر ۱۲ سلول خورشیدی متصل به هم به صورت سری را یک ماژول گویند) سایه‌ای بیفتد، برخی از سلول‌های آن به صورت یک بایاس معکوس عمل می‌کنند. یعنی این سلول‌ها نه تنها برقی تولید نمی‌کنند بلکه برق تولیدی سلول‌های

دیگر را نیز مصرف می‌کنند. زمانی که بایاس معکوس از مقدار ولتاژ شکست سلول‌های خورشیدی سایه‌دار بیشتر شود، آن سلول بطور کامل آسیب می‌بیند و مدار ماژول در نقطه‌ای که سلول آسیب‌دیده قرار دارد، قطع می‌گردد (Silvestre & Chouder, 2008: 141).

جهت پرهیز از سایه‌اندازی هر سلول خورشیدی بر روی سلول‌های خورشیدی دیگر و کاهش بهره‌وری آن، باید فواصل کافی بین سلول‌های خورشیدی وجود داشته باشد. به منظور محاسبه‌ی سطح مؤثر و قابل استفاده، بدون سایه‌اندازی سلول‌ها بر روی یکدیگر، از ضریب شاخص پوشش ( $C_{cov}$ ) استفاده می‌گردد که نشان‌دهنده‌ی سطح مؤثر پشت‌بام، جهت نصب سلول خورشیدی، بدون سایه‌اندازی سلول‌ها بر روی یکدیگر می‌باشد. این ضریب در مطالعات مشابه، بر اساس بیشترین زمین پوشیده شده و کمترین سایه‌ی ایجاد شده، در کشور عمان برابر با ۰/۷ (Charabi & Gastli, 2011: 2560) و در ایالات متحده‌ی آمریکا ۰/۷۵ در نظر گرفته شده است (Arnette & Zobel, 2011: 2797). مقدار این ضریب در این مطالعه، با توجه به قرابت آب و هوایی استان خوزستان با کشور عمان و جهت اطمینان بیشتر از عدم سایه‌اندازی سلول‌ها بر یکدیگر، ۰/۷ در نظر گرفته شد. ایجاد سایه توسط درختان و ساختمان‌ها و تأسیسات اطراف نیز از عواملی است که می‌تواند مقدار مساحت قابل استفاده پشت‌بام جهت نصب سلول خورشیدی را کاهش دهد. اثر این عوامل نیز با ضریبی به نام ضریب سایه‌اندازی ( $C_{sh}$ )، تصحیح می‌گردد. بیشتر ساختمان‌ها و منازل مسکونی روستایی در استان خوزستان، یک طبقه بوده (۹۸/۴۲ درصد) و سایه‌ای بر روی واحدهای مسکونی دیگر ایجاد نمی‌کنند. همچنین با بررسی امکانات روستایی در استان،

۰/۵ در نظر گرفته می‌شود.  $C_F$ ، ضریب تصحیح عوارض<sup>۳</sup> (دودکش شومینه و موارد دیگر)، که برای پشت‌بام‌های شیروانی ۰/۷ و برای سطح ۱ در نظر گرفته می‌شود.  $C_{ST}$ ، ضریب تصحیح برای وجود سامانه‌های گرمایی خورشیدی در پشت‌بام،  $C_{COV}$ ، ضریب پوشش ناشی از سایه‌اندازی پنل‌های خورشیدی بر روی هم،  $C_{SH}$ ، ضریب پوشش ناشی از سایه‌اندازی ساختمان‌ها، درختان و تأسیسات مجاور بر روی پشت‌بام،  $S_{roof}$ ، مساحت کل پشت‌بام منازل مسکونی روستایی بر حسب متر و  $\theta$ ، زاویه شیب بام ساختمان است. همان‌طور که بیان شد تقریباً سقف همه ساختمان‌ها و منازل روستایی در استان خوزستان تخت و مسطح بوده و زاویه شیب بام آن‌ها صفر است.

#### – پتانسیل تولید برق در پشت‌بام

از مهم‌ترین مسائل فنی تولید برق از انرژی خورشیدی، بازده سامانه فتوولتائیک است که انرژی خورشیدی را به انرژی برق تبدیل می‌کند. بازده این سامانه تحت تأثیر بازده پنل خورشیدی، گرد و خاک، پنل DC، تغییرات دما، متناوب‌ساز، باتابش مدول و اتصالات می‌باشد. همچنین تغییرات زاویه آزیموت نیز مقدار انرژی خورشیدی تبدیل شده را کاهش می‌دهد. امروزه بازار پنل و مدول فتوولتائیک به شدت متغیر است و دامنه وسیعی از فناوری‌های مدول‌های فتوولتائیک با بازدهی مختلف توسط تولیدکنندگان ارائه می‌گردد. با پیشرفت فناوری، بازده مدول‌های فتوولتائیک افزایش پیدا کرده و در نتیجه‌ی آن هزینه‌ی تولید برق خورشیدی کاهش یافته است و پیش‌بینی می‌شود که این روند در آینده نیز ادامه یابد. بازده پنل و مدول فتوولتائیک، در شرایط آزمون استاندارد (STC) بیان می‌شود. در وضعیت STC، تابش خورشیدی، ۱۰۰۰

تأسیسات خاص و مرتفعی که بتواند بر روی پشت‌بام منازل سایه بیاندازد، بسیار ناچیز بود. به همین علت سایه ایجاد شده توسط این تأسیسات نادیده گرفته شد. بر همین اساس برای  $C_{SH}$  دو مقدار یک و ۰/۸ در نظر گرفته و مساحت قابل استفاده پشت‌بام برای این دو مقدار به صورت جداگانه، محاسبه شد. انتخاب مقدار یک با این فرض صورت گرفت که درختان نیز مانند ساختمان‌ها و تأسیسات مجاور، سایه‌ی چندانی بر روی پشت‌بام منازل روستایی ایجاد نمی‌کنند. برای اطمینان از عدم وجود خطای ناشی از سایه‌اندازی احتمالی درختان و تأسیسات مجاور، مقدار ۰/۸ برای  $C_{SH}$  منظور گردید و مجدداً سطح مؤثر پشت بام برای این مقدار محاسبه شد. استفاده از سامانه‌های گرمایی خورشیدی مانند آبگرمکن خورشیدی نیز نیازمند مساحتی از پشت‌بام است. بجز مواردی اندک، تاکنون از آبگرمکن خورشیدی و سامانه‌های گرمایی خورشیدی در واحدهای مسکونی روستایی استان خوزستان استفاده نشده است. به همین دلیل، مقدار ضریب تصحیح احتمال وجود سامانه‌های گرمایی خورشیدی ( $C_{ST}^1$ ) بر روی پشت‌بام، برابر با یک در نظر گرفته شد. جهت محاسبه‌ی سطح قابل استفاده پشت‌بام، در صورت نصب این تجهیزات در آینده ممکن، ضریب احتیاطی ۰/۹ ( $C_{ST}^2=0/9$ ) در نظر گرفته شد. در نهایت برای محاسبه‌ی سطح قابل استفاده‌ی پشت‌بام ساختمان‌ها برای نصب پنل خورشیدی، از رابطه‌ی ۱ استفاده شد (Bergamasco & Asinari, 2011: 1046).

رابطه ۱:

$$S_{roof}^{avail} = C_{RT} \times C_F \times C_{ST} \times C_{COV} \times C_{SH} \times \frac{S_{roof}}{\cos(\theta_{res})}$$

که در آن:  $C_{RT}^2$ ، ضریب نوع پشت‌بام که برای پشت‌بام‌های سطح ۱ و برای پشت‌بام‌های شیروانی



بین محدوده‌ی  $\pm 90$  تغییر می‌کند. بنابراین پنل‌های خورشیدی در نیم‌کره‌ی شمالی باید به سمت جنوب باشند تا بیشترین تابش را دریافت کنند و بازده آزمون آن‌ها برابر با ۱۰۰ درصد گردد. بطور کلی در محاسبات، مقدار  $0/9$  برای این ضریب بازده در نظر گرفته می‌شود. پتانسیل تولید برق با استفاده از سامانه‌ی فتوولتائیک بر روی پشت‌بام خانه‌ها، با استفاده از رابطه‌ی (۲) محاسبه گردید (Bergamasco & Asinari, 2011: 1048).

رابطه ۲:

$$\prod = \eta_{\text{mod}} \times \eta_{\text{TH}} \times \eta_{\text{AZ}} \times \eta_{\text{inst}} \times \eta_m^{\text{min}} \times S_{\text{roof}}^{\text{avail}}$$

که در آن:  $\eta_{\text{mod}}$  بازده‌ی مدول و سلول خورشیدی؛  $\eta_{\text{TH}}$  کاهش بازده‌ی سامانه‌ی فتوولتائیک متأثر از تغییرات دما (بطور کلی برای همه‌ی انواع مدول خورشیدی با بازده‌ی مختلف، کاهش بازده در اثر تغییرات دما، ۱۰ درصد فرض می‌شود ( $\eta_{\text{TH}}=0/9$ ))؛  $\eta_m^{\text{min}}$  میانگین سالانه‌ی تابش خورشیدی برحسب کیلو وات ساعت بر متر مربع در روز؛  $S_{\text{roof}}^{\text{avail}}$  مقدار سطح قابل استفاده پشت‌بام؛  $\eta_{\text{inst}}$  بازده اتصال سامانه فتوولتائیک به شبکه و تجهیزات است که شامل بازتابش مدول، تأثیرات گرد و خاک، پنل DC و متناوب‌ساز است. ائتلاف بازده در اثر گرد و خاک،  $0/5$ ؛ در پنل DC،  $0/2$ ؛ بازتابش مدول،  $0/3$ ؛ و متناوب‌ساز،  $0/10$ ؛ در نظر گرفته شد (Bergamasco & Asinari, 2011: 1048). در مجموع ائتلاف بازده سامانه فتوولتائیک در اتصال به شبکه،  $0/20$ ؛ به دست آمد ( $\eta_{\text{inst}}=0/8$ ). در این تحقیق با مطالعه منابع و پژوهش‌های انجام شده، بازده‌ی ۱۰، ۱۵ و ۲۰ درصد برای پنل خورشیدی انتخاب گردید و با استفاده از رابطه (۲)، بازده کل سامانه‌ی فتوولتائیک جهت تبدیل انرژی خورشیدی به برق به ترتیب  $6/48$ ،  $9/72$  و  $12/90$  درصد محاسبه شد (جدول ۲).

وات بر متر مربع، دمای مدول،  $25$  درجه سلسیوس، و چگالی هوا،  $1/5$  اسپکتروم<sup>۱</sup> می‌باشد. در منابع و پژوهش‌های مختلف بازده‌های مختلفی برای مدول و پنل خورشیدی بیان شده است که تعدادی از آن‌ها، در جدول (۱) بیان شده است.

جدول ۱: بازده‌ی پنل خورشیدی برای تولید برق

منبع	بازده‌ی پنل (%)
(Bergamasco and Asinari, 2011)	۶، ۱۲، ۱۵
(Arnette and Zobel, 2011)	۱۴
(Gormally et al., 2012)	۱۳/۷
(Charabi and Gastli, 2011)	۷/۹، ۸/۴، ۸/۸، ۱۳/۱، ۲۶/۳
(Wakeyama and Ehara, 2010)	۱۲

مأخذ: Bergamasco & Asinari, 2011:1047; Arnette & Zobel, 2011: 2792; Gormally et al., 2012: 277; Charabi & Gastli, 2011: 2560; Wakeyama & Ehara, 2010: 449

یکی دیگر از عوامل مهم در سامانه‌های خورشیدی که باید مورد توجه قرار گیرد زاویه‌ی قرارگیری و تمایل مدول خورشیدی است، بطوری‌که بیشترین تابش خورشیدی به سطح مدول برسد. زاویه‌ی مطلوب قرارگیری در فصول مختلف سال، متفاوت است بطوری‌که افزایش زاویه‌ی تمایل پنل در زمستان و کاهش آن در تابستان مطلوب‌تر می‌باشد. سعی می‌شود زاویه‌ی تمایل پنل در موقع نصب، میانگین زاویه تمایل مطلوب پنل در فصل تابستان و زمستان انتخاب گردد تا بیشترین مقدار تابش سالانه را دریافت نماید. عامل مهم دیگر در نصب سلول خورشیدی، زاویه‌ی آزمون است که زاویه‌ی پنل با جهت جنوب را نشان می‌دهد. جهت در نظر گرفتن کاهش بازده‌ی سامانه‌ی فتوولتائیک در اثر زاویه‌ی آزمون، بازده‌ی به‌عنوان بازده‌ی آزمون ( $\eta_{\text{AZ}}$ ) معرفی شده است.

این بازده برای یک زاویه تمایل مشخص و مناسب (بر اساس عرض جغرافیایی محل)، از ۱ برای مدول فتوولتائیک با جهت جنوبی، تا  $0/8$  برای زاویه آزمون



بطور کلی با افزایش سطح ارتفاع در شرایط یکسان آب و هوایی، از غلظت جو کاسته شده و از مقدار اشعه‌ی خورشیدی جذب شده توسط جو کاسته شده و مقدار بیشتری از تابش، به سطح زمین می‌رسد. بنابراین می‌توان نتیجه گرفت که عرض جغرافیایی و تفاوت ارتفاع از سطح دریا، دو عامل اصلی در روند تغییرات شدت تابش خورشیدی در استان است. میانگین سالانه شدت تابش روزانه آفتاب در استان خوزستان، ۵/۱۳ تا ۵/۴۱ کیلووات ساعت در مترمربع به دست آمد.

لی<sup>۱</sup> (۲۰۱۳) در پژوهشی جهت انتخاب مکان مناسب استفاده از سامانه‌ی فتوولتائیک، پتانسیل انرژی خورشید بیشتر از ۱/۱۵ مگاوات ساعت بر متر مربع در سال (۳/۱۵ کیلو وات ساعت بر متر مربع در روز) را مناسب بیان کرده است.

هات<sup>۲</sup> و همکاران (۲۰۱۲)، انرژی دریافتی از خورشید در وایومینگ<sup>۳</sup> ایالات متحده آمریکا را از ۳/۸ تا ۵/۸ کیلووات ساعت بر مترمربع در روز به دست آوردند که همه‌ی این محدوده را برای استفاده از سامانه‌های فتوولتائیک مناسب بیان کردند. کمینه‌ی پتانسیل اقتصادی تولید انرژی خورشیدی در کشور ترکیه، ۴/۵ کیلو وات ساعت بر متر مربع در روز، برآورد شده است (Aydin, 2009: 69).

این پژوهش‌ها نشان می‌دهند که انرژی خورشیدی در استان خوزستان می‌تواند به صورت اقتصادی و مقرون به صرفه استفاده گردد. بر اساس تقسیم‌بندی انرژی خورشیدی بر مبنای میانگین شدت تابش، توسط آزمایشگاه ملی انرژی تجدیدپذیر آمریکا، استان خوزستان در دسته بسیار مناسب قرار می‌گیرد.

جدول ۲: بازدهی سامانه فتوولتائیک

بازده			عوامل
C	B	A	
۰/۲۰	۰/۱۵	۰/۱۰	بازدهی پنل ( $\eta_{mod}$ )
۰/۹۰	۰/۹۰	۰/۹۰	تغییرات دما ( $\eta_{TH}$ )
۰/۹۰	۰/۹۰	۰/۹۰	زاویه‌ی آزیموت ( $\eta_{AZ}$ )
۰/۸۰	۰/۸۰	۰/۸۰	اتصال و تجهیزات ( $\eta_{inst}$ )
۰/۱۲۹	۰/۰۹۷۲	۰/۰۶۴۸	کل

مأخذ: Bergamasco & Asinari, 2011: 1047-1048;

Charabi & Gastli, 2011: 2556-2561

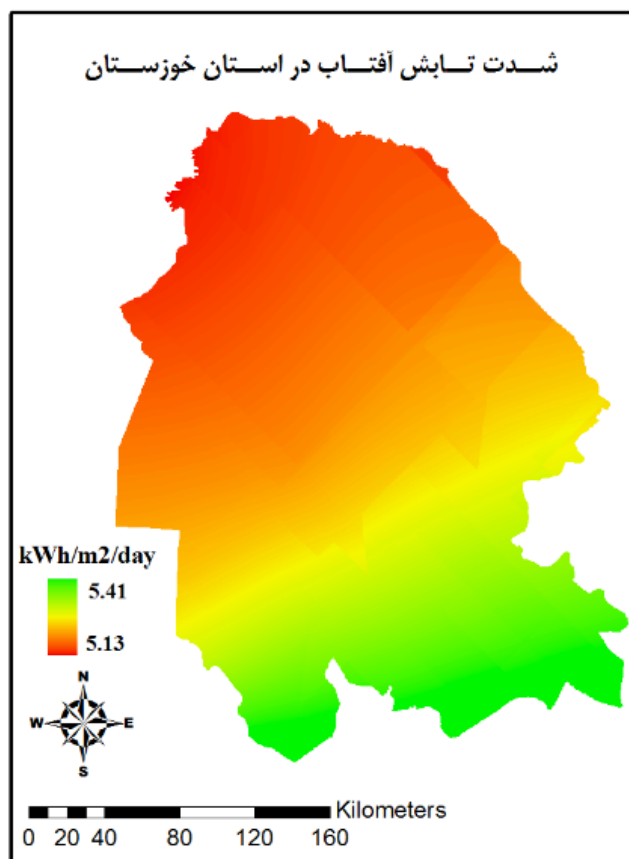
## نتایج و بحث

نقشه‌ی میانگین سالانه‌ی تابش روزانه‌ی خورشید در سال، در استان خوزستان با استفاده از داده‌های نقطه‌ای و درون‌یابی در محیط Arc GIS تهیه گردید (شکل ۲). همان‌طور که مشاهده می‌گردد شدت تابش آفتاب از شمال و شمال غرب به سمت جنوب و جنوب شرق افزایش می‌یابد که این امر می‌تواند متأثر از عرض جغرافیایی و همچنین آرایش مکانی توپوگرافی باشد. با افزایش عرض جغرافیایی (دور شدن از خط استوا) مقدار تابش فرودی خورشید در واحد سطح، به دلیل مایل شدن تابش و تقسیم شدن بر مساحت بیشتر، کاهش می‌یابد. همچنین در عرض‌های بالاتر، ارتفاع پایین خورشید (مایل بودن خورشید نسبت به سطح افقی زمین) موجب می‌شود که اشعه‌ی خورشید از جوی با ضخامت زیادتر عبور کرده مقدار بیشتری از آن جذب جو شده و به همان نسبت، مقدار کمتری به سطح زمین برسد. به همین دلیل، بطور کلی در نیمکره شمالی، از شمال به سمت جنوب، شدت تابش خورشید افزایش می‌یابد. از نظر پستی و بلندی، می‌توان استان خوزستان را به دو منطقه‌ی کوهستانی و جلگه‌ای تقسیم‌بندی کرد. منطقه‌ی کوهستانی بطور عمده از شمال به سمت جنوب شرقی کشیده شده است و حدود دو پنجم مساحت کل استان را شامل می‌شود.

1-Li

2-Hott

3-Wyoming



شکل ۲: میانگین سالانه شدت تابش روزانه آفتاب در استان خوزستان

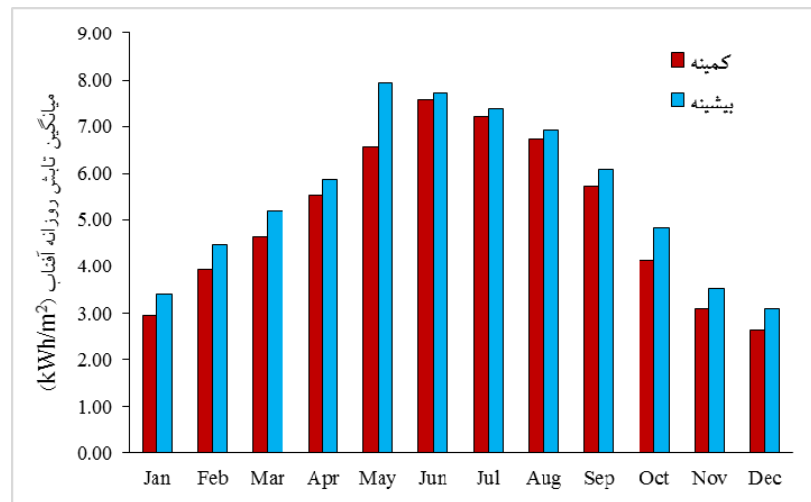
تهیه و ترسیم: نگارندگان، ۱۳۹۴

۷/۵۹ کیلووات ساعت بر مترمربع در شمال استان، تا ۷/۷۳ کیلووات ساعت بر مترمربع در جنوب استان تغییر می‌کند. میانگین روزانه تابش آفتاب در کل استان خوزستان از ماه آوریل (از ابتدای دهه‌ی دوم ماه فروردین) تا ماه سپتامبر (انتهای دهه اول مهرماه)، به مدت شش ماه بیش از ۵/۵ کیلووات ساعت در مترمربع (بیش از میانگین تابش سالانه) است. این دوره، مصادف با ماه‌های گرم و بیشترین مصرف برق در استان خوزستان است. این امر موجب فشار بر خطوط انتقال برق و قطعی برق در استان می‌شود. وجود تابش بسیار مناسب در این ماه‌ها امکان استفاده از آن در جهت تأمین بخشی از برق استان و کاهش فشار بر

با استفاده از داده‌های مورد بررسی، اطلس شدت تابش آفتاب برای ماه‌های مختلف در استان خوزستان نیز به صورت مجزا تهیه گردید. با استفاده از این اطلس‌ها، محدوده شدت تابش آفتاب و بیشینه و کمینه میانگین شدت تابش روزانه آفتاب برای ماه‌های مختلف سال در استان خوزستان به دست آمد که در شکل (۳) نشان داده شده است. کمترین میانگین تابش ماهانه آفتاب در ماه دسامبر است و مقدار آن از ۲/۶۴ تا ۳/۱۰ کیلووات ساعت در کل استان متغیر می‌باشد. پس از ماه دسامبر، ماه‌های ژانویه و نوامبر کمترین مقدار تابش آفتاب را دارند. بیشترین مقدار تابش در استان خوزستان در ماه ژوئن است که میانگین روزانه‌ی آن از

آن به‌عنوان یک‌منبع مناسب جهت تأمین برق، استفاده نمود. این مقدار شدت تابش، در تقسیم‌بندی انرژی خورشیدی توسط آزمایشگاه ملی انرژی تجدیدپذیر آمریکا، در دسته‌ی عالی قرار می‌گیرد.

خطوط انتقال برق و در نتیجه کاهش قطعی برق را مهیا می‌سازد. بطور کلی بیشترین مصرف برق در استان خوزستان از اواخر فصل بهار تا اواخر تابستان است که تابش آفتاب در این مدت به بیش از ۶/۵ کیلووات‌ساعت بر مترمربع در روز می‌رسد و می‌توان از



شکل ۳: کمینه و بیشینه میانگین ماهانه شدت تابش روزانه آفتاب در استان خوزستان

تهیه و ترسیم: نگارندگان، ۱۳۹۴

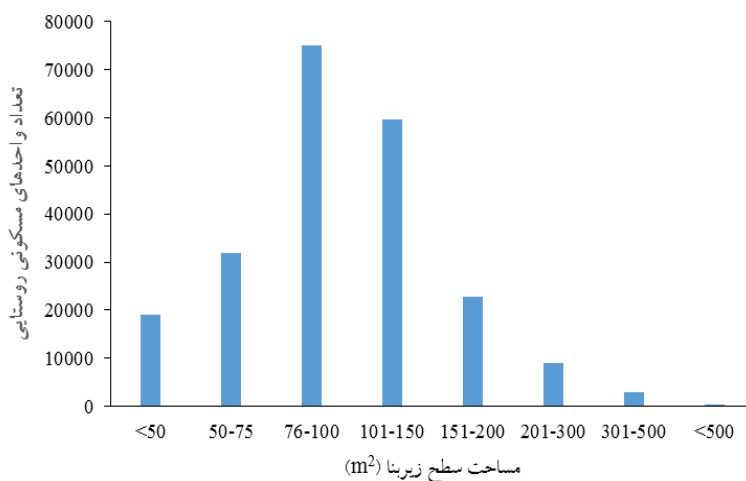
مسکونی، بیشترین تعداد واحد مسکونی روستایی را دارد. شهرستان‌های دزفول، شوش و شادگان نیز به ترتیب با ۱۰/۷۵، ۸/۸۲ و ۶/۵۶ درصد واحدهای مسکونی، در رتبه‌های بعدی قرار دارند. از نظر واحدهای آپارتمانی، شهرستان اهواز، شوشتر و دزفول بیشترین تعداد را به خود اختصاص داده‌اند، ولی بیشترین نسبت واحدهای آپارتمانی به کل واحدها، به ترتیب مربوط به شهرستان‌های شوشتر، اهواز و اندیمشک است. مساحت کل زیربنای واحدهای مسکونی روستایی در استان خوزستان ۲۴۸۷۴/۵ هزار متر مربع به دست آمد. بیشترین سطح زیربنای واحدهای مسکونی روستایی در شهرستان‌های اهواز، دزفول، شوش و شادگان، و به ترتیب با ۲۲/۵۶، ۱۰/۰۸،

بر اساس سرشماری نفوس و مسکن سال ۱۳۹۰، جمعیت استان خوزستان در این سال، برابر با ۴/۵۳ میلیون نفر بوده است که از این تعداد ۷۱/۰۲ درصد در مناطق شهری، ۲۸/۶۹ درصد در مناطق روستایی و ۰/۲۹ درصد به صورت غیر ساکن بوده‌اند. جمعیت ۱/۳۰ میلیون نفری مناطق روستایی استان خوزستان، در ۲۲۴/۲ هزار واحد مسکونی زندگی می‌کنند. واحدهای مسکونی در شهرستان‌های مختلف استان خوزستان بر اساس نوع و مساحت زیربنا در جدول (۳) نشان داده شده است. با توجه به این جدول، بیشتر واحدهای مسکونی روستایی استان خوزستان به صورت غیر آپارتمانی و تنها ۱/۱۴ درصد آپارتمانی هستند. شهرستان اهواز با داشتن ۱۹/۴۷ درصد واحدهای

زیربنا برای کل استان، در شکل (۴) نشان داده شده است. با توجه به این شکل، واحدهای مسکونی روستایی با سطح زیربنای ۷۶ تا ۱۰۰ مترمربع بیشترین فراوانی را دارند. واحدهای مسکونی با سطح زیربنای ۱۰۰ تا ۱۵۰ مترمربع با ۵۹۷۶۲ واحد در رتبه دوم قرار دارند. واحدهای با سطح زیربنای ۵۰ تا ۱۵۰ متر مربع، ۶۱/۱۶ درصد کل واحدهای مسکونی روستایی و واحدهای مسکونی با سطح زیربنای ۵۰ تا ۲۰۰ متر مربع، ۸۵/۸۶ درصد کل واحدهای مسکونی روستایی استان را تشکیل می‌دهند.

۸/۵۸ و ۷/۷۳ درصد قرار دارد. این در حالی است که سرانه‌ی مساحت زیربنای واحدهای مسکونی روستایی در خرمشهر با ۲۳/۲ مترمربع و بهبهان با ۲۲/۶ مترمربع، بیشترین مقدار است. واحدهای مسکونی روستایی شهرستان آبادان و هویزه به ترتیب با داشتن سرانه مساحت زیربنای ۲۲/۲ و ۲۰ مترمربع، در رتبه بعدی قرار دارند.

با توجه به داده‌های زیاد سطوح زیربنا و واحدهای مسکونی روستایی، امکان نشان دادن جزئیات نتایج برای ۲۴ شهرستان استان خوزستان وجود ندارد. به همین دلیل تعداد واحدهای مسکونی بر اساس سطح



شکل ۴: واحدهای مسکونی روستایی بر اساس سطح زیربنا

تهیه و ترسیم: نگارندگان، ۱۳۹۴

میانگین سالانه‌ی شدت تابش آفتاب در روستاهای شهرستان رامهرمز و هندیجان و به ترتیب، ۵/۳۷ و ۵/۳۶ کیلووات ساعت بر مترمربع در روز است. میانگین سالانه‌ی انرژی تابشی خورشید که به واحد سطح پشت‌بام خانه‌های مسکونی روستایی در استان خوزستان می‌تابد، برابر با ۱۹۰۴/۹ کیلو وات ساعت بر مترمربع است. بنابراین انرژی تابشی خورشیدی

میانگین شدت تابش روزانه‌ی آفتاب در سال برای هر شهرستان، بر اساس میانگین شدت تابش روزانه در روستاهای مختلف شهرستان و تعداد واحدهای مسکونی روستایی، با استفاده از میانگین وزنی، محاسبه و در جدول (۳) نشان داده شده است. میانگین سالانه‌ی شدت تابش روزانه آفتاب در کل روستاهای استان خوزستان، ۵/۲۱۹ کیلووات ساعت به دست آمد. بیشترین

است که این مقدار، برای خانه‌های با پشت‌بام شیروانی، ۱۸ درصد و برای پشت‌بام مسطح، ۶۵ درصد می‌باشد (Chaudhari et al, 2004: 827-831). در مطالعه دیگری در مناطق گرمسیری ایالات متحده آمریکا، ۶۰ درصد پشت‌بام‌های مسطح، برای نصب پنل خورشیدی قابل استفاده بوده است (Paidipati et al, 2008: 34). همچنین بیان شده است که در مکان‌هایی که اطلاعات دقیقی از ویژگی‌های آن وجود ندارد، ۵۰ درصد از مساحت پشت‌بام برای نصب پنل خورشیدی در نظر گرفته شود (Gennusa et al, 2011: 1643-1647). در مطالعه‌ای در تایوان، ۲۵ درصد پشت‌بام ساختمان‌ها جهت نصب پنل خورشیدی در نظر گرفته شده است (Yue & Wang, 2006: 734). در جدول (۴) مساحت قابل استفاده پشت‌بام ساختمان‌های روستایی جهت نصب پنل خورشیدی بر اساس درصدهای در نظر گرفته شده در شرایط استان خوزستان و سایر مطالعات انجام شده در نقاط مختلف جهان، نشان داده شده است. کمترین مساحت قابل استفاده‌ی پشت‌بام منازل مسکونی، ۲۵ درصد در نظر گرفته شد.

دریافتی در کل پشت‌بام خانه‌های روستایی در استان خوزستان برابر با  $47383/42$  گیگاوات‌ساعت در سال است. این مقدار انرژی، بسیار زیاد بوده و  $4/5$  برابر مصرف برق خانگی استان خوزستان در سال ۱۳۹۱ است. به دلیل محدودیت‌های مختلف و بازده پایین سامانه‌های تبدیل انرژی خورشیدی، فقط مقدار کمی از این انرژی، قابل استفاده می‌باشد.

مساحت قابل استفاده پشت‌بام ساختمان‌ها برای نصب پنل خورشیدی با استفاده از رابطه (۱) محاسبه گردید. با فرض برابر هر دو مقدار  $C_{SH}$  و  $C_{ST}$  با ۱، ۴۵ درصد از مساحت پشت‌بام، برای پنل خورشیدی قابل استفاده می‌باشد. در صورتی که برای  $C_{ST}$  مقدار احتیاطی  $0/9$  و برای سایه‌اندازی درختان و ساختمان‌های مجاور، مقدار احتیاطی  $0/8$  در نظر گرفته شود،  $32/4$  درصد از مساحت پشت‌بام، برای پنل خورشیدی در دسترس خواهد بود. پژوهش‌های زیادی در مورد مقدار سطح قابل استفاده پشت‌بام ساختمان‌ها، برای نصب پنل خورشیدی صورت گرفته است. مطالعه‌ای در ایالات متحده آمریکا نشان داد که ۳۲ درصد از کل مساحت پشت‌بام خانه‌ها، برای پنل خورشیدی قابل استفاده

جدول ۳: مساحت زیربنا و انرژی تابشی خورشید

شهرستان	آپارتمانی		غیر آپارتمانی		تابش آفتاب	مجموع مساحت	درصد از کل مساحت	جمعیت روستایی	مساحت سرانه	کل انرژی رسیده (GJ/year)
	تعداد	مساحت	تعداد	مساحت						
آبادان	۳۵	۴۷۹۸	۷۸۱۶	۹۴۰۴۴۲	۵/۳۴۵	۹۴۵۲۳۹	۳/۸۰	۴۲۵۷۹	۲۲	۱۸۴۴/۰۹
امیدیه	۲۱	۱۶۲۸	۵۴۰۶	۵۰۷۴۶۵	۵/۳۲	۵۰۹۰۹۲	۲/۰۵	۲۷۵۵۸	۱۸	۹۸۸/۵۶
اندیکا	۷۴	۹۱۶۶	۷۹۷۵	۶۳۸۸۰۷	۵/۱۷	۶۴۷۹۷۳	۲/۶۰	۴۸۴۳۱	۱۳	۱۲۲۲/۷۶
اندیمشک	۱۳۳	۱۱۵۳۰	۶۴۵۳	۶۱۵۵۸۵	۵/۱۴	۶۲۷۱۱۴	۲/۵۲	۳۴۹۸۵	۱۸	۱۱۷۶/۵۳
اهواز	۹۲۸	۱۲۸۸۳۴	۴۲۷۲۱	۵۴۸۱۸۵۰	۵/۲۰	۵۶۱۰۶۸۴	۲۲/۵۶	۲۶۲۱۸۱	۲۱	۱۰۶۴۹/۰۸
ایذه	۷۶	۶۰۴۴	۱۴۰۵۳	۱۲۹۷۷۷۹	۵/۲۱	۱۳۰۳۸۲۳	۵/۲۴	۸۱۵۸۱	۱۶	۲۴۷۹/۴۱
باغ ملک	۵۱	۴۷۳۸	۱۰۸۶۹	۱۱۳۲۰۱۲	۵/۲۳	۱۱۳۶۸۵۰	۴/۵۷	۶۳۸۰۸	۱۸	۲۱۷۰/۱۹
باوی	۱۲	۱۱۲۳	۵۱۰۸	۵۷۰۹۳۹	۵/۲۰	۵۷۲۰۶۲	۲/۳۰	۳۴۲۷۴	۱۷	۱۰۸۵/۷۷
ماهشهر	۱۵	۱۰۸۹	۳۷۹۱	۳۴۰۷۶۹	۵/۲۹	۳۴۱۸۵۸	۱/۳۷	۲۰۷۶۴	۱۶	۶۶۰/۰۸
بهبهان	۴۶	۴۳۹۲	۱۱۰۲۱	۱۲۰۱۷۵۶	۵/۳۵	۱۲۰۶۱۴۸	۴/۸۵	۵۳۲۷۰	۲۳	۲۳۵۵/۳۱
خرمشهر	۲۹	۲۸۷۴	۶۱۰۶	۷۶۳۸۹۰	۵/۲۷	۷۶۶۷۶۴	۳/۰۸	۳۲۹۹۴	۲۳	۱۴۷۴/۹۱
دزفول	۳۱۲	۳۱۸۵۳	۲۳۷۸۷	۲۴۷۵۴۱۷	۵/۱۵	۲۵۰۷۲۷۱	۱۰/۰۸	۱۳۱۴۶۵	۱۹	۴۷۱۳/۰۴
دشت آزادگان	۲۰	۱۸۹۰	۷۱۰۶	۷۸۵۸۶۱	۵/۱۷	۷۸۷۷۵۱	۳/۱۷	۴۸۱۰۴	۱۶	۱۴۸۶/۵۳
رامشیر	۳۱	۳۲۳۰	۴۱۶۳	۵۰۶۵۶۳	۵/۲۷	۵۰۹۷۹۳	۲/۰۵	۲۴۱۴۲	۲۱	۹۸۰/۶۱
رامهرمز	۳۵	۴۰۲۹	۶۳۸۱	۷۲۷۴۹۱	۵/۳۷	۷۳۱۵۲۰	۲/۹۴	۳۵۰۱۳	۲۱	۱۴۳۳/۸۲
شادگان	۵۸	۷۲۷۸	۱۴۶۴۲	۱۹۱۵۶۲۴	۵/۲۶	۱۹۲۲۹۰۱	۷/۷۳	۹۴۸۱۰	۲۰	۳۶۹۱/۷۸
شوش	۱۹۴	۲۰۵۶۷	۱۹۵۸۵	۲۱۱۳۴۹۲	۵/۱۶	۲۱۳۴۰۵۹	۸/۵۸	۱۱۵۰۲۸	۱۹	۴۰۱۹/۳۹
شوشتر	۴۲۷	۳۸۵۰۰	۱۱۴۲۹	۱۲۶۴۳۵۶	۵/۱۸	۱۳۰۲۸۵۶	۵/۲۴	۷۰۳۱۷	۱۹	۲۴۶۳/۳۱
گتوند	۱۸	۲۱۰۰	۳۶۳۳	۳۲۲۱۰۹	۵/۱۶۵	۳۲۴۲۰۹	۱/۳۰	۲۰۲۳۸	۱۶	۶۱۱/۲۱
لالی	۱۴	۱۴۱۳/۵	۲۳۳۱	۱۹۱۷۵۳	۵/۱۶۵	۱۹۳۱۶۵	۰/۷۸	۱۹۴۵۴	۱۰	۳۶۴/۱۶
مسجد سلیمان	۱۱	۸۰۷	۲۰۱۲	۱۶۷۶۴۱	۵/۱۹	۱۶۸۴۴۸	۰/۶۸	۹۱۴۹	۱۸	۳۱۹/۱۰
هفت گل	۱۳	۱۱۸۴	۱۲۲۲	۱۲۳۶۲۰	۵/۲۱۵	۱۲۴۸۰۴	۰/۵۰	۷۴۲۱	۱۷	۲۳۷/۵۶
هندیجان	۳	۲۱۷	۱۸۵۷	۱۸۲۰۹۰	۵/۳۶	۱۸۲۳۰۷	۰/۷۳	۹۲۲۴	۲۰	۳۵۶/۶۷
هویزه	۳	۳۴۴	۲۱۲۳	۳۱۷۴۴۳	۵/۱۷	۳۱۷۷۸۷	۱/۲۸	۱۴۴۶۸	۲۲	۵۹۹/۶۸
کل	۲۵۵۹	۲۸۹۷۲۵	۲۲۱۵۹۰	۲۴۵۸۴۷۵۳	۵/۲۱۹	۲۴۸۷۴۴۷۸	۱۰۰	۱۳۰۱۲۶۸	۱۹	۴۷۳۸۳/۴۲

مأخذ: مطالعات میدانی نگارندگان، ۱۳۹۴

۶/۴۸ درصد برای سامانه‌ی فتوولتائیک (بازده ی ۱۰ درصد برای پنل خورشیدی)، به ترتیب ۷۶۶/۵، ۹۹۳/۴ و ۱۳۷۹/۸ گیگاوات ساعت در سال به دست آمد. این پتانسیل برای سامانه فتوولتائیک با بازده ۹/۷۲ درصد (۱۵ درصد برای بازده پنل)، به ترتیب ۱۱۴۹/۸، ۱۴۹۰/۲ و ۲۰۶۹/۷ گیگاوات ساعت در سال محاسبه گردید. با توجه به مصرف برق خانگی استان خوزستان

پتانسیل برق تولیدی با پنل خورشیدی بر روی پشت‌بام، بر اساس درصدهای مختلف قابلیت استفاده از پشت‌بام واحدهای مسکونی روستایی استان خوزستان و بازده مختلف سامانه‌های فتوولتائیک با استفاده از رابطه‌ی (۲) محاسبه و در جدول (۵) نشان داده شده است. میانگین پتانسیل تولید برق از پشت‌بام با ۲۵، ۳۲/۴ و ۴۵ درصد قابلیت استفاده پشت‌بام و با بازده

طریق سامانه فتوولتائیک پشت‌بام واحدهای مسکونی روستایی استان، وجود دارد. این درصد با استفاده از ۴۵ درصد سطح پشت‌بام و بازده ۹/۷۲ درصدی سامانه تبدیل، به ۱۳/۱۲ درصد افزایش می‌یابد.

در سال ۱۳۹۱ (۱۰۵۱۹/۶ مگاوات‌ساعت)، و با فرض کمترین سطح قابل استفاده پشت‌بام و بازده ۶/۴۸ درصدی سامانه فتوولتائیک، سالانه امکان تولید ۷/۲۹ درصد از مصرف برق خانگی در کل استان خوزستان، از

جدول ۴: مساحت قابل استفاده پشت‌بام بر اساس درصدهای مختلف

درصد قابلیت استفاده پشت‌بام	۲۵	۳۲/۴	۴۵	۵۰	۶۵	۷۰
آبادان	۲۳۶۳۱۰	۳۰۶۲۵۸	۴۲۵۳۵۸	۴۷۲۶۲۰	۶۱۴۴۰۶	۶۶۱۶۶۸
امیدیه	۱۲۷۲۷۳	۱۶۴۹۴۶	۲۲۹۰۹۲	۲۵۴۵۴۶	۳۳۰۹۱۰	۳۵۶۳۶۵
اندیکا	۱۶۱۹۹۳	۲۰۹۹۴۳	۲۹۱۵۸۸	۳۲۳۹۸۶	۴۲۱۱۸۱	۴۵۳۵۸۱
اندیمشک	۱۵۶۷۷۹	۲۰۳۱۸۵	۲۸۲۲۰۱	۳۱۳۵۵۷	۴۰۷۶۲۴	۴۳۸۹۸۰
اهواز	۱۴۰۲۶۷۰	۱۸۱۷۸۶۱	۲۵۲۴۸۰۸	۲۸۰۵۳۴۲	۳۶۴۶۹۴۴	۳۹۲۷۴۷۸
ایذه	۳۲۵۹۵۶	۴۲۲۴۳۹	۵۸۶۷۲۰	۶۵۱۹۱۱	۸۴۷۴۸۵	۹۱۴۶۷۶
باغ‌ملک	۲۸۴۲۱۲	۳۶۸۳۳۹	۵۱۱۵۸۲	۵۸۴۲۵	۷۳۸۹۵۲	۷۹۵۷۹۵
بای	۱۴۲۰۱۶	۱۸۵۳۴۸	۲۵۷۴۲۸	۲۸۶۰۳۱	۳۷۱۸۴۰	۴۰۰۴۴۴
ماهشهر	۸۵۴۶۵	۱۱۰۷۶۲	۱۵۳۸۳۶	۱۷۰۹۲۹	۲۲۲۲۰۸	۲۳۹۳۰۱
بهبهان	۳۰۱۵۳۷	۳۹۰۷۹۲	۵۴۲۷۶۷	۶۰۳۰۷۴	۷۸۳۹۹۶	۸۴۴۳۰۴
خرمشهر	۱۹۱۶۹۱	۲۴۸۴۳۲	۳۴۵۰۴۴	۳۸۳۳۸۲	۴۹۸۳۹۷	۵۳۶۷۳۵
دزفول	۶۲۶۸۱۸	۸۱۲۳۵۶	۱۱۲۸۲۷۲	۱۲۵۳۶۳۵	۱۶۲۹۷۲۶	۱۷۵۵۰۸۹
دشت‌آزادگان	۱۹۶۹۳۸	۲۵۵۲۳۱	۳۵۴۴۸۸	۳۹۲۸۷۶	۵۱۲۰۳۸	۵۵۱۴۲۶
رامشیر	۱۲۷۴۴۸	۱۶۵۱۷۳	۲۲۹۴۰۷	۲۵۴۸۹۶	۳۳۱۳۶۵	۳۵۶۸۵۵
رامهرمز	۱۸۲۸۸۰	۲۳۷۰۱۳	۳۲۹۱۸۴	۳۶۵۷۶۰	۴۷۵۴۸۸	۵۱۲۰۶۴
شادگان	۴۸۰۷۲۵	۶۲۳۰۲۰	۸۶۵۳۰۶	۹۶۱۴۵۱	۱۲۴۶۸۸۶	۱۳۴۶۰۳۱
شوش	۵۳۳۵۱۵	۶۹۱۴۳۵	۹۶۰۳۲۷	۱۰۶۷۰۲۹	۱۳۸۷۱۳۸	۱۴۹۳۸۴۱
شوشتر	۳۲۵۷۱۴	۴۲۲۱۲۵	۵۸۶۲۸۵	۶۵۱۴۲۸	۸۴۶۸۵۶	۹۱۱۹۹۹
گتوند	۸۱۰۵۲	۱۰۵۰۴۴	۱۴۵۸۹۴	۱۶۲۱۰۴	۲۱۰۷۳۶	۲۲۶۹۴۶
لالی	۴۸۲۹۱	۶۲۵۸۵	۸۶۹۲۴	۹۶۵۸۳	۱۲۵۵۵۷	۱۳۵۲۱۶
مسجد سلیمان	۴۲۱۱۲	۵۴۵۷۷	۷۵۸۰۲	۸۴۲۲۴	۱۰۹۴۹۱	۱۱۷۹۱۳
هفت‌گل	۳۱۲۰۱	۴۰۴۳۶	۵۶۱۶۲	۶۲۴۰۲	۸۱۱۲۲	۸۷۳۶۳
هندیجان	۴۵۵۷۷	۵۹۰۶۷	۸۲۰۳۸	۹۱۱۵۳	۱۱۸۵۰۰	۱۲۷۶۱۵
هویزه	۷۹۴۴۷	۱۰۲۹۶۳	۱۴۳۰۰۴	۱۵۸۸۹۴	۲۰۶۵۶۲	۲۲۲۴۵۱
کل	۶۲۱۸۶۲۰	۸۰۵۹۳۳۰	۱۱۱۹۳۵۱۷	۱۲۴۴۷۲۳۸	۱۶۱۶۸۴۰۸	۱۷۴۱۲۱۳۶

مأخذ: مطالعات میدانی نگارندگان، ۱۳۹۴

جدول ۵: پتانسیل تولید برق خورشیدی بر روی پشت‌بام واحدهای مسکونی روستایی استان خوزستان

درصد قابلیت استفاده پشت‌بام	۲۵	۳۲/۴	۴۵	۵۰	۶۵	۷۰
مساحت در دسترس (۱۰۰۰ m <sup>۲</sup> )	۶۲۱۸/۶	۸۰۵۹/۳	۱۱۱۹۳/۵	۱۲۴۴۷/۲	۱۶۱۶۸/۴	۱۷۴۱۲/۱
پتانسیل تولید برق (GWh)	A	۷۶۶/۵	۹۹۳/۴	۱۳۷۹/۸	۱۵۳۳/۱	۲۱۴۶/۳
	B	۱۱۴۹/۸	۱۴۹۰/۲	۲۰۶۹/۷	۲۲۹۹/۶	۲۹۸۹/۵
	C	۱۵۲۵/۰	۱۹۷۷/۷	۲۷۴۶/۸	۳۰۵۲/۰	۳۹۷۶/۶
a: سامانه فتوولتائیک با بازده ۶/۴۸ درصد، b: سامانه فتوولتائیک با بازده ۹/۷۲، c: سامانه فتوولتائیک با بازده ۱۲/۹۰ درصد						

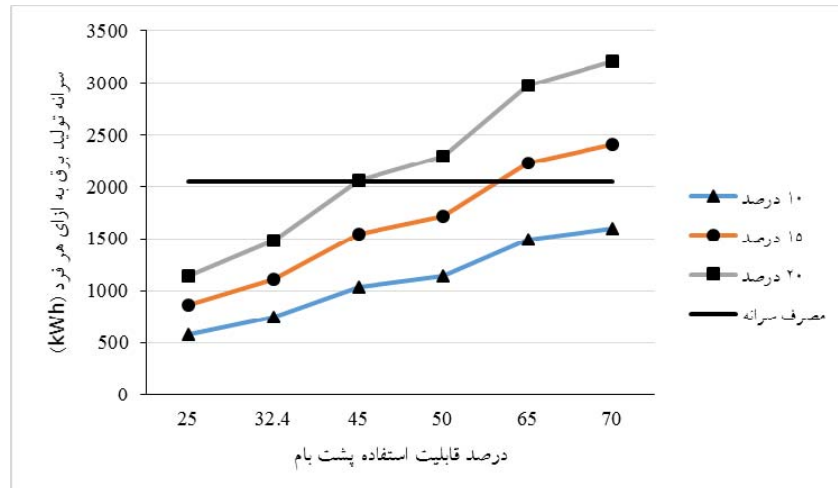
مأخذ: مطالعات میدانی نگارندگان، ۱۳۹۴



سرانه‌ی پتانسیل تولید برق از پشت‌بام منازل روستایی، بر اساس درصد مختلف قابلیت استفاده پشت‌بام و بازده مختلف سامانه‌های فتوولتائیک در شکل (۵) نشان داده شده است. سرانه‌ی پتانسیل تولید برق از پشت‌بام منازل روستایی، با استفاده از پنل با بازده‌ی ۱۰ درصد و استفاده از ۲۵ درصد پشت‌بام، برابر با ۵۸۹/۱ کیلو وات ساعت در سال به دست آمد که این مقدار، ۲۸/۸ درصد سرانه مصرف برق خانگی در استان خوزستان است. بر اساس ترازنامه انرژی و سالنامه‌ی آماری در سال ۱۳۹۱، سرانه مصرف برق خانگی در استان خوزستان، ۲۰۴۵/۴ کیلو وات ساعت بوده است. با استفاده از ۵۰ درصد مساحت پشت‌بام و بازده ۱۵ درصدی پنل خورشیدی، سرانه تولید برق خورشیدی در مناطق روستایی برابر با ۱۷۶۷/۲ کیلووات‌ساعت محاسبه گردید که این مقدار، ۸۶/۴۰ درصد میانگین سرانه‌ی مصرف برق خانگی استان خوزستان است. با استفاده از پنل با بازده ۲۰ درصد و استفاده از ۴۵ درصد مساحت پشت‌بام منازل روستایی، امکان تولید برق، بیش از سرانه‌ی برق مصرفی خانگی در استان خوزستان وجود دارد (۱/۰۳ برابر سرانه‌ی مصرف برق خانگی). با سامانه‌ی فتوولتائیک با بازده ۶/۴۸ درصد، باید ۸۹/۲۶ درصد پشت‌بام منازل روستایی استان خوزستان استفاده گردد، تا تولید برق خورشیدی برابر

با سرانه‌ی مصرف برق خانگی شود. این درصد مساحت پشت‌بام برای سامانه‌ی تبدیلی با بازده‌ی ۹/۷۲ و ۱۲/۹۰ درصد به ترتیب ۵۹/۵۰ و ۴۴/۶۳ درصد محاسبه گردید.

میانگین مصرف مشترکین برق در استان خوزستان در سال ۱۳۹۱ برابر با ۹۷۳۱/۱ کیلو وات ساعت در سال بوده است. با فرض اینکه هر واحد مسکونی روستایی یک مشترک باشد، پتانسیل تولید برق از پنل خورشیدی با بازده ۱۰ درصد و استفاده از ۲۵ درصد پشت‌بام، برابر با ۳۴۱۹/۸ کیلووات‌ساعت به دست آمد که ۳۵/۱ درصد میانگین مصرف مشترکین برق خانگی در استان خوزستان در سال ۱۳۹۰ است. این در حالی است که تا پایان سال ۱۳۹۱، کل روستاهای برقدار شده‌ی استان خوزستان، ۳۱۶۶ روستا با ۱۸۱۲۴۶ خانوار بوده‌اند. همچنین ۱۹/۱۴ درصد از خانوارهای روستایی تا سال ۱۳۹۱ از برق شبکه برخوردار نبودند (وزارت نیرو، ۱۳۹۲). با لحاظ میانگین مصرف هر مشترک (۹۷۳۱/۱ کیلووات ساعت)، برق‌کشی به روستاهای باقی مانده نیازمند ۴۵۱/۳۲ گیگاوات‌ساعت برق در سال است. از طرف دیگر پراکندگی روستاها، هزینه انتقال و توزیع برق و همچنین هدررفت آن را نیز افزایش می‌دهد.

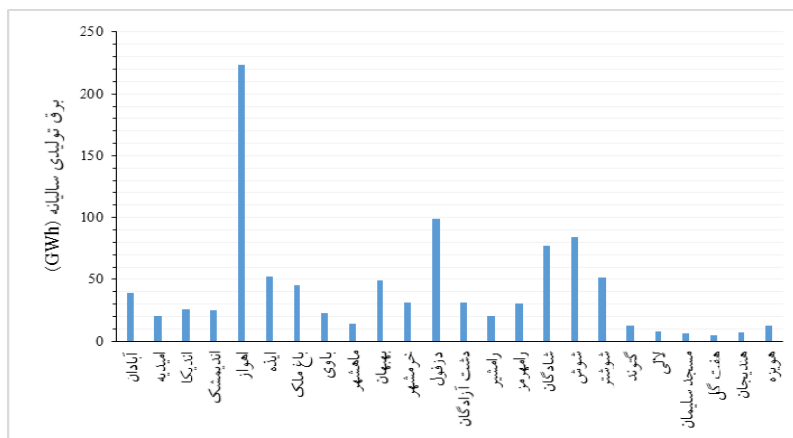


شکل ۵: سرانه تولید برق خورشیدی با درصد‌های مختلف بازده سلول خورشیدی و پشت‌بام

تهیه و ترسیم: نگارندگان، ۱۳۹۴

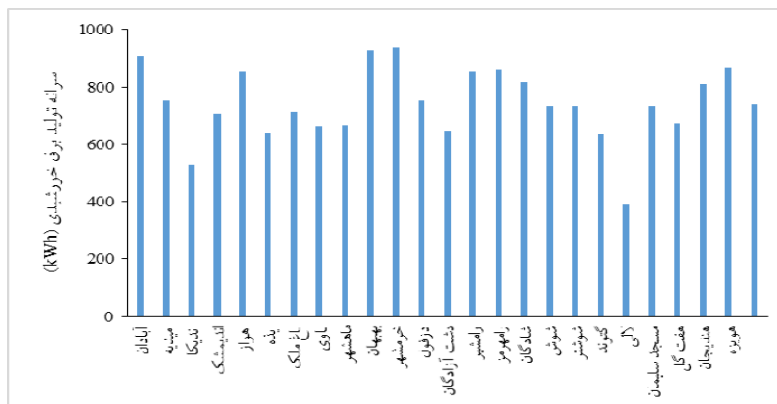
است. شهرستان‌های دزفول، شوش و شادگان به ترتیب با ۷۷/۵۱ و ۸۴/۹۸،۳۹/۹۵ گیگاوات ساعت در سال، در رتبه‌های بعدی قرار دارند. همچنین با همین شرایط، سرانه تولید برق در شهرستان‌های خرمشهر، بهبهان و آبادان، به ترتیب با ۹۳۹، ۹۲۸ و ۹۰۹ کیلووات ساعت، بیشترین مقدار محاسبه گردید. کمترین مقدار به شهرستان لالی با ۳۹۳ کیلووات ساعت اختصاص دارد (شکل ۷).

پتانسیل برق تولیدی با فرض استفاده از ۳۲/۴ درصد پشت‌بام روستایی و بازده ۶/۴۸ درصدی سامانه تبدیل انرژی خورشیدی، به تفکیک شهرستان‌های استان خوزستان در شکل (۶) نشان داده شده است. بر این اساس، پتانسیل تولید برق در شهرستان اهواز با ۲۲۳/۶ گیگاوات ساعت در سال بطور چشمگیری بیش از سایر شهرستان‌ها است که این امر به دلیل وجود واحدهای مسکونی روستایی بیشتر در این شهرستان



شکل ۶: پتانسیل تولید برق با ۳۲،۴ درصد پشت‌بام و ۶،۴۸ درصد بازده سامانه فتوولتائیک

تهیه و ترسیم: نگارندگان، ۱۳۹۴



شکل ۷: سرانه‌ی تولید برق با ۳۲/۴ درصد پشت‌بام و ۶/۴۸ درصد بازده‌ی سامانه‌ی خورشیدی

تهیه و ترسیم: نگارندگان، ۱۳۹۴

## نتیجه

در استان خوزستان اوج مصرف برق، مصادف با بیشترین تابش خورشیدی است. بنابراین، می‌توان با استفاده از سامانه‌های فتوولتائیک پشت‌بام، فشار بر خطوط انتقال برق و قطعی برق را کاهش داد. تولید برق خورشیدی با استفاده از پشت‌بام واحدهای روستایی به دلیل پراکندگی روستاها می‌تواند در کاهش اتلاف و هزینه انتقال برق نیز مؤثر باشد بطوری‌که با ۴۵ درصد پشت‌بام و بازده ۹/۷۲ درصدی سامانه تبدیل انرژی خورشیدی، ۳۱۰/۵ گیگاوات ساعت در سال امکان کاهش اتلاف برق در خطوط انتقال و توزیع وجود دارد.

## سپاسگزاری

نویسندگان این مقاله از سازمان هواشناسی ایران و منابع طبیعی استان خوزستان بخاطر تهیه‌ی داده‌های مورد نیاز و دانشگاه شهید چمران اهواز به جهت تأمین اعتبار مالی این تحقیق کمال سپاسگزاری را دارند.

پتانسیل تولید برق از پشت‌بام منازل روستایی با سامانه‌ی فتوولتائیک در استان خوزستان می‌تواند تا ۱۰۰ درصد برق مصرفی خانگی واحدهای مسکونی روستایی را تأمین نماید. بر اساس شرایط مختلف واحدهای مسکونی روستایی و شرایط طبیعی استان خوزستان، تا ۴۵ درصد پشت‌بام واحدهای مسکونی روستایی، جهت تولید انرژی با سامانه فتوولتائیک، قابل استفاده می‌باشند. با ۲۵ درصد پشت‌بام و بازده‌ی ۶/۴۸ درصدی سامانه‌ی تبدیل انرژی خورشیدی، امکان تولید ۷۶۶/۵ گیگاوات‌ساعت در سال در واحدهای مسکونی روستایی استان خوزستان وجود دارد که این مقدار، ۷/۲۹ درصد مصرف کل برق خانگی استان خوزستان است. با همین شرایط امکان تولید ۲۸/۸۰ درصد سرانه‌ی مصرف برق خانگی در استان خوزستان وجود دارد. استفاده از مساحت قابل استفاده‌ی پشت‌بام، جهت نصب سامانه‌ی فتوولتائیک می‌تواند جایگزین مناسبی برای زمین‌های باز و مزارع خورشیدی باشد.

همچنین

## منابع

- واحد خانگی در شهرستان مشهد، مطالعات اقتصادی کاربردی ایران. دوره ۲. شماره ۸. صفحات ۱۳۶-۱۱۵.
- صفائی، بتول؛ مرتضی خلجی‌اسدی؛ حبیب تقی‌زاده؛ افسانه جیلاوی؛ گیتی طالقانی؛ ماندانا دانش (۱۳۸۴). برآورد پتانسیل تابش خورشیدی در ایران و تهیه اطلس تابشی آن، مجله علوم و فنون هسته‌ای. شماره ۳۳. صفحات ۳۴-۱۷.
- مرکز آمار ایران (۱۳۹۴). نتایج سرشماری نفوس و مسکن ۱۳۹۰، نتایج تفصیلی جمعیت و مسکن، [http://www.sci.org.ir/SitePages/report\\_90/ostani/ostani\\_House\\_report\\_final\\_permission.aspx](http://www.sci.org.ir/SitePages/report_90/ostani/ostani_House_report_final_permission.aspx)
- معینی، سام؛ شهرام جوادی؛ محسن کوکبی؛ محسن دهقان منشادی (۱۳۸۹). برآورد تابش خورشیدی در ایران با استفاده از یک مدل بهینه، نشریه انرژی ایران. دوره ۱۳. شماره ۲. صفحات ۱۰-۱.
- موسوی‌بایگی، محمد؛ بتول اشرف؛ آمنه میان‌آبادی (۱۳۸۹). بررسی مدل‌های مختلف برآورد تابش خورشیدی به منظور معرفی مناسب‌ترین مدل در یک اقلیم نیمه‌خشک، نشریه آب و خاک، شماره ۲۴. شماره ۴. صفحات ۸۴۴-۸۳۶.
- مهدوی‌عادلی، محمدحسین؛ مصطفی سلیمی‌فر؛ اعظم قزلباش (۱۳۹۳). ارزیابی اقتصادی استفاده از انرژی برق خورشیدی (فتوولتائیک) و برق فسیلی در مصارف خانگی (مطالعه موردی: مجتمع سه واحدی در شهرستان مشهد)، سیاست‌گذاری اقتصادی. شماره ۱۱. صفحات ۱۴۷-۱۲۳.
- وزارت نیرو (۱۳۹۲). آمار برق روستایی در سال ۱۳۹۱، شرکت مادر تخصصی توانیر. وزارت نیرو.
- یزدان‌پناه، حجت‌الله؛ راضیه میرمجریان؛ حمید برقی (۱۳۸۹). برآورد تابش کلی خورشید در سطح افقی زمین در اصفهان، مجله جغرافیا و برنامه‌ریزی محیطی. شماره ۳۷. صفحات ۱۰۴-۹۵.
- Arnette, A. N., & Zobel, C. W (2011). Spatial analysis of renewable energy potential in the greater southern Appalachian mountains. *Renewable Energy*, 36, 2785-2798.
- Atabi, f (2004). *Renewable energy in Iran: Challenges and opportunities for sustainable*
- ابراهیم‌پور، عبدالسلام؛ مهدی معرفت؛ هادی نیری (۱۳۸۸). ارائه‌ی یک رابطه‌ی جدید برای تخمین میزان تابش کل در اقلیم‌های مختلف ایران، فضای جغرافیایی، شماره ۲۵. صفحات ۲۲-۱.
- ترازنامه انرژی سال (۱۳۹۱). معاونت امور برق و انرژی دفتر برنامه‌ریزی کلان برق و انرژی. انتشارات وزارت نیرو. معاونت امور برق و انرژی.
- حق‌پرست کاشانی، آرش؛ پژمان صالح‌ایزدخواست؛ حمیدرضا لاری (۱۳۸۸). تدوین اطلس جامع GIS انرژی خورشیدی ایران بر اساس مدل تابش‌سنجی، بیست و چهارمین کنفرانس بین‌المللی برق. ۱۶۹-۱۵۸.
- خسروی، محمود؛ سعید جهانبخش اصل؛ جعفر درخشی (۱۳۹۲). برآورد و پهنه‌بندی تابش خورشیدی دریافتی در سطح افقی با استفاده از پارامترهای اقلیمی در محیط GIS مطالعه موردی: استان آذربایجان شرقی، فضای جغرافیایی، شماره ۴۳. صفحات ۶۳-۳۹.
- خوش‌اخلاق، رحمان؛ علیمراد شریفی؛ میثم کوچک‌زاده (۱۳۸۴). ارزیابی اقتصادی استفاده از انرژی خورشیدی در مقایسه با نیروگاه دیزلی، پژوهش‌های اقتصادی ایران، شماره ۲۴. صفحات ۱۹۲-۱۷۱.
- سبزی‌پرور، علی‌اکبر؛ احسان علیائی (۱۳۹۰). ارزیابی عملکرد شبکه‌ی عصبی مصنوعی در پیش‌بینی تابش خورشیدی کل روزانه و مقایسه‌ی آن با نتایج مدل آنگستروم (مطالعه‌ی موردی: ایستگاه همدیدی تبریز). مجله ژئوفیزیک ایران، دوره ۵. شماره ۳. صفحات ۴۰-۳۱.
- سپهوند، موحد (۱۳۹۰). امکان‌سنجی فنی، اقتصادی و زیست‌محیطی آبگرمکن‌های خورشیدی در مناطق روستایی استان خوزستان، پایان‌نامه کارشناسی ارشد دانشگاه کشاورزی و منابع طبیعی رامین خوزستان.
- سلیمی‌فر، مصطفی؛ محمدحسین مهدوی‌عادلی؛ حبیب رجبی‌مشهدی؛ اعظم قزلباش (۱۳۹۲). ارزیابی اقتصادی انرژی برق خورشیدی (فتوولتائیک) و برق فسیلی در یک

- Hott, R., Santini, R., & Brownson, J (2012). GIS-base spatial analysis for large-scal solar power and transmission line issues: case studt of Wyoming,U.S, Proceedings of the 41st American Solar Energy Society Meeting, May 13-17.
- Izquierdo, S., Montanes, C., Dopazo, C& Fueyo, N (2011). Roof-top solar energy potential under performance-based building energy codes: The case of Spain. *Solar Energy*, 85, 208-213.
- Li, D (2013). Using GIS and Remote Sensing Techniques for Solar Panel Installation Site Selection. M.Sc thesis, University of Waterloo.
- Mahvi, A. H (2007). Feasibility of solar energy in disinfection of drinking water in Iran. *American-Eurasian Journal of Agricultural & Environmental Scince*, 2 (4), 407-410.
- Paidipati, J., Frantzis, L., Sawyer, H., & Kurrasch, A (2008). Rooftop photovoltaics marketpenetration scenarios, NREL Report No. SR-581-42306.
- Ruelland, D., Ardoin-Bardin, S., Billen, G., & Servat, E (2008). Sensitivity of a lumped and semi-distributed hydrological model to several methods of rainfall interpolation on a large basin in West Africa. *Journal of Hydrology*, 361, 96-117.
- Vine, E (2008). Breaking down the silos: the integration of energy efficiency, renewable energy, demand response and climate change. *Energy Efficiency*, 1, 49-63.
- Wakeyama, T., & Ehara, S (2010). Renewable energy potential evaluation and analysis for use by using GIS -a case study of Northern-Tohoku area and Tokyo metropolis, Japan, *International Journal of Environmental Science and Development*, 1(5), 446- 453.
- Yue, C & Wang, S (2006). GIS-based evaluation of multifarious local renewable energy sources: a case study of the Chigu area of southwestern Taiwan. *Energy Policy*, 35, 383-394.
- Silvestre, S., & Chouder, A (2008). Effects of shadowing on photovoltaic module performance. *Progress in Photovoltaics. Research and applications*, 16(2), 141-149.
- development. *International Journal of Environmental Science & Technology*, 1(1), 69- 80.
- Aydin, N. Y (2009). GIS-based site selection approach for wind and solare energy systems: a case study from western turky, M.Sc thesis, Middle East Technical University.
- Bergamasco, L., & Asinari, P (2011). Scalable methodology for the photovoltaic solar energy potential assessment based on available roof surface area: Application to Piedmont Region, Italy. *Solar Energy*, 85, 1041-1055.
- Charabi, Y., & Gastli, A (2011). PV Ssite suitability analysis using GIS-based spatial fuzzy multi-criteria evaluation. *Renewable Energy*, 36, 2554-2561.
- Chaudhari, M., Frantzis, L., & Hoff, T. E (2004). PV grid connected market potential in 2010 under a cost breakthrough scenario, Energy Foundation, Navigant Consulting, Clean Power Research.
- Chineke, T (2008). Equations for estimating global solar radiation in data sparse regions. *Renewable Energy*, 33(4), 827-831.
- Fadai, D (2007). Utilization of renewable energy sources for power generation in Iran. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 11, 173-181.
- Gennusa, M. L., Lascari, G., Rizzo, G., Scaccianoce, G., & Sorrentino, G (2011). A model for predicting the potential diffusion of solar energy systems in complex urban environments. *Energy Policy*, 39, 5335-5343.
- Ghorashi, A. H (2007). Prospects of nuclear power plants for sustainable energy development in Islamic Republic of Iran. *Energy Policy*, 35, 1643-1647.
- Ghorashi, A., & Rahimi, A (2011). Renewable and non-renewable energy status in Iran: Art of know-how and technology-gaps. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 15, 729-736.
- Gormally, A. M., Whyatt, J. D., Timmis, R. J., & Pooley, C. G (2012). A regional scale assessment of local renewable energy resources in Cumbria, UK. *Energy Policy*, 50, 283-293.
- Hossain, A. K., & Badr, O (2007). Prospects of renewable energy utilisation for electricity generation in Bangladesh, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 11, 1617-1649.