Shahid Beheshti University

**Researches in Earth Sciences**

Journal homepage: https://esrj.sbu.ac.ir

*Research Article*

# Urban energy modeling to achieve regenerative cities (Case study: Tehran metropolis)

**Sohrab Moazzen***

Department of Human Geography and Spatial Planning, Faculty of Earth Sciences, Shahid Beheshti University, Tehran, Iran

Received: 27 May 2023 Accepted: 07 Jan 2024

## Extended Abstract

**Introduction:** As a result of the problem of pollution in the metropolitan areas and the amount of energy consumption, the effort to solve this problem is that it can be identified as the introduction of systems and models to replace the systems and the existing models of energy supply. In this research, quantitative modeling for energy in Tehran metropolis is considered according to environmental, economic and climatic goals.

**Materials and methods:** In this research to analyze the collected data from experimental and quantitative methods and analytical software GIS and Windographer have been used. To better process the solar radiant energy status, a series of radar images from the PALSAR sensor from the ALSO satellite were selected and processed and solar energy modeling was performed using the Area Solar Radiation model.

**Results and discussion: Solar Energy:** Due to the radar analysis process, Palsar radar images were obtained from the JAXA database. DEM radar images were used in ArcGIS software, in which the initial operation was performed. After converting the desired images into a single image, the image of the study area was extracted from the radar image. Finally, to create a better view of the study area, a map of the solar energy has been prepared. This map shows us in which areas of the region there is more possibility to use solar energy and in which areas this possibility is less. In the metropolis of Tehran, the northern half of the study area has more potential to use radiant energy.

**Wind energy:** In order to obtain a general of the situation in the region, wind energy potential in sample stations including: Chitgar, Firoozkooh, Geophysics, Imam Airport, Mehrabad Airport and Varamin has been calculated. Analysis of data related to wind energy in the region showed that the western and southern regions have the most potential for wind power generation capacity in the metropolis of Tehran.

**Biomass energy (municipal waste):** Today, biomass is recognized as one of the world's largest renewable energy sources. One of the types of biomass compounds is municipal waste. The amount of waste produced in Tehran is more than 7600 tons. The analysis of the obtained data showed that due to the huge volume of daily waste production in the metropolis of Tehran, with optimal modeling and proper planning, a good renewable energy source can be achieved for the region.

**Conclusion:** In relation to modeling, according to the obtained results, the model was created based on three groups of renewable energy, including solar energy, wind energy and biomass (municipal waste). To provide an integrated model for the Tehran metropolis, solar, wind, and biomass (municipal waste) data had to be analyzed on the same scale. Therefore, in order for the solar, wind and biomass energy data to have the same scale, first these data were evaluated using multi-criteria evaluation and then these values to have the same scales, the fuzzy membership function was used. Finally, the final output of the model will be in the form of a zoning map, in which there are three groups of energy (solar, wind and biomass).

**Keywords:** Renewable Energy, Regenerative Cities, Tehran Metropolis, Modeling.

***Citation:*** Moazzen, S., 2024. Urban energy modeling to achieve regenerative cities; (Case study: Tehran metropolis), *Res. Earth. Sci:* 15(1), (99-113) DOI: 10.48308/esrj.2022.102102

* Corresponding author E-mail address: moazzen.sohrab@gmail.com

Copyright: © 2023 by the authors. Submitted for possible open access publication under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution (CC BY). license (https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/).

پژوهشهای دانش زمین
Journal homepage: https://esrj.sbu.ac.ir
Shahid Beheshti University

# مدلسازی انرژی شهری برای دستیابی به شهرهای خودبازآفرین (مطالعه موردی: کلانشهر تهران)

**سهراب موذن***

گروه جغرافیای انسانی و آمایش، دانشکده علوم زمین، دانشگاه شهید بهشتی، تهران، ایران

(**پژوهشی**) دریافت مقاله: ۱۴۰۲/۰۳/۰۶ پذیرش نهایی مقاله: ۱۴۰۲/۱۰/۱۷

## چکیده گسترده

**مقدمه:** با شدت گرفتن مسئله آلودگی در کلانشهرها و میزان مصرف انرژی تلاش برای حل این مشکل شدت گرفت که حاصل آن را می‌توان معرفی سیستم‌ها و مدل‌هایی برای جایگزینی سیستم‌ها و مدل‌های موجود عرضه انرژی کلانشهرها دانست. در این تحقیق مدل‌سازی کمی برای انرژی در کلانشهر تهران با توجه به اهداف محیط‌زیستی، اقتصادی و اقلیمی منظور می‌شود.

**مواد و روش‌ها:** در این پژوهش از روش‌های تجربی و کمی و نرم‌افزارهای تحلیلی GIS و Windographer بهره گرفته شده است. برای پردازش بهتر وضعیت انرژی تابشی خورشید، سری تصاویر راداری از سنجنده PALSAR از ماهواره ALSO انتخاب و پردازش شد و با استفاده از مدل Area Solar Radiation مدلسازی انرژی خورشیدی انجام شد. از آن‌جا که به‌طور معمول برای تعیین پتانسیل انرژی باد در یک مکان و تخمین انرژی خروجی آن، از روش‌های آماری استفاده می‌شود، نرم‌افزار Windographer برای تطبیق داده‌های سرعت باد ایستگاه‌ها از تابع توزیع ویبول استفاده شده است.

**نتایج و بحث: انرژی خورشیدی:** برای فرآیند تجزیه و تحلیل راداری، تصاویر راداری Palsar از پایگاه داده‌های JAXA تهیه شدند. این تصاویر باید در طول و عرضی انتخاب می‌شدند که محدوده مورد مطالعه را پوشش قطعی دهند بنابراین، تصاویر مورد نیاز محدوده مورد مطالعه، انتخاب شدند. سپس، تصویر راداری DEM در نرم افزار ArcGIS فراخوانی شدند که عملیات ابتدایی در آن به کار گرفته شد. در مرحله بعد، تصاویر باید به همدیگر چسبانده شدند. پس از تبدیل تصاویر مورد نظر به تصویر واحد، تصویر محدوده مورد مطالعه از تصویر رادار استخراج گردید. در نهایت برای ایجاد دید بهتر از منطقه مورد مطالعه، نقشه ناحیه‌بندی انرژی دریافتی خورشید تهیه شده است.

**انرژی بادی:** به منظور به دست آوردن دید کلی نسبت به وضعیت منطقه پتانسیل انرژی باد در ایستگاه‌های نمونه شامل: چیتگر، فیروزکوه، ژئوفیزیک، فرودگاه امام، فرودگاه مهرآباد و ورامین محاسبه شده است. تجزیه و تحلیل داده‌های مربوط به انرژی بادی منطقه نشان داد مناطق غربی و جنوبی بیش‌ترین پتانسیل برای ظرفیت تولید برق بادی را در کلانشهر تهران دارند.

**انرژی حاصل از زیست‌توده (زباله شهری):** میزان زباله تولید شده در شهر تهران بیش از ۷۶۰۰ تُن می‌باشد. تجزیه و تحلیل داده‌های به دست آمده نشان داد با توجه به حجم عظیم تولید روزانه زباله در کلانشهر تهران، با مدلسازی بهینه و برنامه‌ریزی درست می‌توان به منبع انرژی تجدیدپذیر خوبی برای منطقه دست یافت.

**نتیجه‌گیری:** در ارتباط با مدلسازی با توجه به نتایج به دست آمده، ایجاد مدل بر مبنای سه گروه انرژی تجدیدپذیر شامل انرژی خورشیدی، انرژی بادی و زیست‌توده (زباله شهری) انجام گردید. برای ارائه مدل یکپارچه برای کلانشهر تهران داده‌های انرژی‌های خورشیدی، بادی و زیست‌توده (زباله شهری) هم‌مقیاس شدند. در نهایت خروجی نهایی مدل به صورت نقشه‌ای خواهد بود به صورت منطقه‌بندی که در داخل فیلدهای آن سه گروه انرژی (خورشیدی، بادی و زیست‌توده) وجود دارند، در این نقشه نهایی برای اینکه بتوانیم اهمیت این سه گروه انرژی را در مناطق نشان دهیم از دیاگرام دایره‌ای استفاده شده است.

**واژگان کلیدی:** انرژی‌های تجدیدپذیر، شهرهای خودبازآفرین، کلانشهر تهران، مدلسازی.

**استناد:** موذن، س.، ۱۴۰۳. مدلسازی انرژی شهری برای دستیابی به شهرهای خودبازآفرین: مطالعه موردی: کلانشهر تهران، پژوهشهای دانش زمین: ۱۵(۱)، (۱۱۳-۹۹)، DOI: 10.48308/esrj.2022.102102

* نویسنده مسئول: E-mail: moazzen.sohrab@gmail.com

Copyright: © 2023 by the authors. Submitted for possible open access publication under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution (CC BY). license (https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/).

**مقدمه**

در عصر آنتروپوسین[1]، سیاره زمین با اقدامات انسان‌ها، با فناوری‌های گسترده دچار دگرگونی شده است. این عصر، هم‌چنین متعلق به شهرها است: نواحی شهری مراکز اقتصادی جهان هستند که ۸۰ درصد تولید ناخالص داخلی در این نواحی تولید می‌شود. منابع مورد استفاده شهرها و خروجی مواد زائد آن‌ها، بیش از هر عامل دیگری تأثیرات انسانی بر روی سیاره زمین را تعیین می‌کند. بنابراین شهرنشینی جهانی ظهور آغازین عصر آنتروپوسین است. رشد شهری یک روند جهانی به ظاهر غیرقابل توقف است. در سال‌های اخیر در مورد این روند تاریخی و این‌که چگونه در آینده این روند سرعت بیش‌تری خواهد گرفت، بحث شده است. یک انقلاب شهری با محوریت سوخت‌های فسیلی که توسط جهانی‌شدن نئولیبراسیونی تقویت شده است، منابع سیاره زمین رو جارو کرده و الگوهای زندگی و رفتار میلیاردها انسان را تغییر داده است (Glaeser, 2010). هرچه شهرها بزرگ‌تر و ثروتمندتر باشند، بیشتر تمایل دارند تا از موهبت‌های طبیعت از سراسر دنیا حتی ورای پسکرانه خودشان بهره‌برداری کنند. تاثیرات انسان بر اکوسیستم‌ها و چشم‌اندازهای جهان تحت سلطه جاپای اکولوژیکی شهرها قرار دارند که در حال حاضر در بسیاری از نقاط کره زمین گسترده شده‌اند. این اثرات می‌توانند صدها بار بزرگتر از خود شهرها باشند. در چنین دنیای شهری‌شده، شهرها نیاز دارند تا به سرعت به انرژی‌های تجدیدپذیر روی بیاورند و فعالانه به بازگرداندن اکوسیستم آسیب‌دیده کمک کنند(World Future Council, 2014). براساس برآوردهای سازمان‌های مختلف، نیمی از جمعیت جهان در شهرها زندگی می‌کنند. شهرها سهم بسیار زیادی (بین ۶۰ تا ۸۰ درصد) از تولید انرژی در دنیا را بر عهده دارند و سهم آن‌ها از انتشار دی‌اکسید کربن نیز تقریبا به همین مقدار است (Kamal-chaui and Robert, 2009). در واقع شهرها مصرف‌کننده‌های اصلی انرژی به شمار می‌آیند و پیش‌بینی می‌شود که تا سال ۲۰۵۰ این سهم به ۷۰ درصد افزایش یابد (Bose and Nandi, 2010). در سال‌های اخیر، توجه به مسائل مربوط به آب‌وهوا و انرژی شهری حائز اهمیت بوده است. بنابراین این روند نشان دهنده به رسمیت شناختن ضرورت پرداخت به مسائل انرژی، در شهرهاست (Keirstead et al, 2010). انرژی به عنوان یکی از منابع اصلی در اختیار بشر، به‌طور مستقیم بر توسعه اقتصادی و کیفیت محیط‌زیست اثرگذار است. در این راستا اقدامات و فعالیت‌های بسیاری در جهان صورت گرفته است که عمده این فعالیت‌ها در دو محور کلی توسعه پایدار و مقابله با تغییرات آب‌وهوایی متمرکز گشته است. با توجه به ضرورت و اهمیت دسترسی به انرژی برای توسعه پایدار و محدودیت منابع انرژی‌های که امروزه مورد استفاده قرار دارد، حفاظت از منابع انرژی و استفاده بهینه از آن ضروری است. از آن‌جا که شهرها مصرف‌کننده‌های اصلی انرژی به شمار می‌روند، می‌توان از آن‌ها به عنوان راه‌حل کلیدی استفاده نمود. به این ترتیب یکی از مهم‌ترین وظایف برنامه‌ریزان شهری، ایجاد شهرهایی است که به لحاظ مصرف انرژی کارا باشند. (AGECC, 2010). با توجه به نیاز روزافزون به منابع انرژی و محدود بودن منابع انرژی فسیلی، ضرورت سالم نگه داشتن محیط‌زیست، کاهش آلودگی هوا و تأمین سوخت از اهمیت بالایی برخوردار است. معضلات ایجاد شده از طریق مصرف سوخت‌های فسیلی هم‌چون تغییرات آب‌وهوا همه کره‌زمین را تحت‌تأثیر قرار داده و این مسئله امروزه به ویژه در مناطق آسیب‌پذیرتر قابل مشاهده است که سلامت شهروندان را به شدت تهدید می‌کند ( Ministry of Energy, 2009). برای مقابله با این تهدیدها جنبش‌ها و دیدگاهای فکری نوینی شکل گرفته است. از مهم‌ترین دیدگاه‌های برنامه‌ریزی محیطی(به ویژه محیط‌های مصنوع و شهری) در هزاره سوم تحول در چهارچوب فکری توسعه پایدار و شکل‌گیری توسعه پایدار خودبازآفرین[2] بوده است. توسعه پایدار خودبازآفرین به ما می‌گوید که چالش امروزی که پیش روی ما قرار دارد دیگر آفرینش و شهرهای پایدار نمی‌باشد بلکه در حقیقت چالش امروزی عبارت است از خلق شهرهای خودبازآفرین[3]، تا اطمینان حاصل کنیم این شهرها فقط شهرهایی نیستند که از لحاظ استفاده بهینه منابع و تولید پایین کربن شناخته شده‌اند بلکه یقیناً بیشتر از آنکه اکوسیستمی که ورای مرزهای آنان قرار دارد و منابعی که از آن دریافت می‌کنند به تحلیل ببرند، آن‌را ارتقاء ببخشند (World Future Council, 2014). با توجه به این تعریف، بحث پایداری خودبازآفرین در زمینه انرژی نیز به عنوان یکی از نیازهای زندگی شهری مصداق داشته و توجه به پایداری خودبازآفرین انرژی را در شهرها به دلیل حجم بالای مصرف انرژی در آن‌ها و آلودگی‌های محیط

زیستی را ضروری می‌نماید. به‌طور کلی، استفاده از منابع تجدیدپذیر و کارا ساختن انرژی و توجه به الگوی دورانی متابولیسم شهری به جای الگوی خطی از راهکارهای اصلی تحقق پایداری خودبازآفرین انرژی در شهرها می‌باشند. پارادایم پایداری خودبازآفرین با توجه به تغییر رویکرد مکانیکی به یک رویکرد اکولوژیکی سیستم‌های زنده شکل گرفته است (du Plessis, 2012). توسعه خوبازآفرین شهرها رویکردی جامع می‌باشد که ورای مفاهیم موجود در ارتباط با توسعه پایدار می‌باشند (Giradet and Mendonca, 2009). بنابراین به منظور کاهش آلودگی هوا و مصرف بهینه انرژی در شهرها رویکرد شهرهای خودبازآفرین و احیاء کننده انرژی مدنظر قرار گیرد. هدف خودبازآفرینی انرژی این است که یک عصر جدید طراحی و برنامه‌ریزی را نشان دهد که در آن محیط ساخته شده (شهرها) به تنهایی متکی به اشکال انرژی‌های تجدیدپذیر باشند و در طول سال عاری از آلودگی باشند. اثرات منابع انرژی تجدیدناپذیر بر سلامت منطقه‌ای و سیاره‌ای به‌طور فزاینده‌ای از طریق تغییرات اقلیمی مشهود است که عمده‌ترین روند نگران‌کننده جهان است که مربوط به فعالیت‌های انسانی است (Brown et al, 2018). برای مقابله با چنین روندهای مخاطره‌آمیزی خودبازآفرینی انرژی از طریق تأمین انرژی از طریق برنامه پیش به سوی شهرهای با انرژی‌های صد در صد تجدیدپذیر محلی گام بنیادی را برای رسیدن به شهرهای خودبازآفرین برمی‌دارد. گذار (انتقال) به شهرهای با ۱۰۰ درصد انرژی های تجدیدپذیر امتیاز مخصوص شهرهای خودبازآفرین است. در برنامه‌ریزی ملی و منطقه‌ای، مناطق کلان‌شهری را باید نیازمندترین مناطق هر کشور به برنامه‌ریزی انرژی به شمار آورد. کلانشهر تهران نمونه‌ای گویا از این مناطق است. کلانشهر تهران بزرگترین شهر ایران بوده و مرکز اداری، ارتباطی، سیاسی، صنعتی، فرهنگی و نظامی کشور شناخته می‌شود. این کلانشهر نیز همچون دیگر کلانشهرهای کشور با مشکلات و معضلات عمده‌ای در بخش انرژی شهری همچون شدت انرژی شهری، مصرف بالای انرژی شهری، نبود الگوی بهینه و هوشمند مصرف انرژی، انتشار آلاینده‌های هوا، تخریب محیط‌زیست می‌باشد. در این تحقیق مدل‌سازی کمی برای انرژی در کلانشهر تهران با توجه به اهداف محیط‌زیستی، اقتصادی و اقلیمی منظور می‌شود. هدف این تحقیق به منظور برطرف کردن مصرف روزافزون انرژی در کلانشهر تهران براساس سیستم-های انرژی محلی مانند بادی، فتوولتائیک و ... دنبال می-شود. بر همین مبنا، با توجه به شرایط کشور در زمینه مصرف انرژی، مدل‌سازی انرژی شهری جهت بهینه نمودن مصرف انرژی، کاهش آلودگی‌های محیط‌زیستی به منظور دستیابی به توسعه پایدار خودبازآفرین چگونه می‌باشد؟

**مفاهیم نظری پژوهش**

واژه‌های زیادی چون نوسازی، بازآفرینی و مرمت و اصلاح به عنوان مترادف در پروژه‌های خودبازآفرینی و خط‌مشی های دولتی ارائه شده‌اند، اما معنای این واژه‌ها بر چه چیزی دلالت دارند؟ جدول ۱ در برگیرنده تعریف برخی از این کلیدواژه‌هاست که برگرفته از دیکشنری آکسفورد می‌باشد.

جدول ۱: تعریف کلیدواژه‌های مرتبط با پروژه خودبازآفرینی

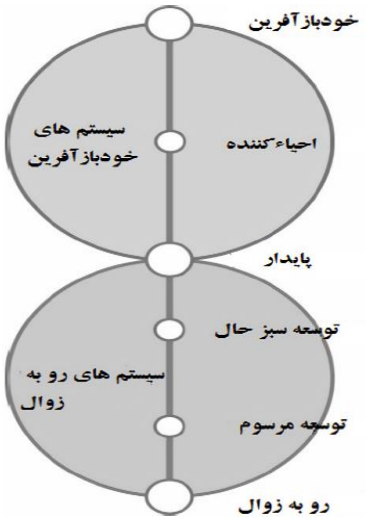
| Word | واژه | معنی |
|---|---|---|
| Reactivate | دوباره فعال کردن، دوباره به کار انداختن | بازگرداندن به حالت فعالیت؛ بازگشت به عمل |
| Restore | ترمیم کردن، به حالت اولیه برگرداندن | اقدام به بازگرداندن چیزی به شرایط، محل، وضعیت و صاحب سابق |
| Renewal | تجدید، نو کردن | جایگزینی یا تعمیر چیزی |
| Revitalize | باززنده سازی، احیا | زندگی جدید و سرزندگی را به ارمغان آوردن |
| Regenerate | خودبازآفرینی، حیات تازه یافته، از نوع رشد کردن | زندگی جدید و قویتری را برای یک منطقه، صنعت، موسسه و .... به ارمغان آوردن |

(منبع: Oxford Dictionary, 2018)

خودبازآفرینی صرفاً به تقویت و احیای یک سیستم یا بازگرداندن آن به وضعیت یا شرایط بهتر اشاره نمی‌کند؛ بلکه تغییر سیستم به چیزی متفاوت و بهتر، هم‌چنین ایجاد تغییر اخلاقی تام یا تهذیب اخلاقی اشاره دارد (Hes and Du Plessis, 2015). "عبارت خودبازآفرینی فرآیندهایی را توصیف می‌کند که این فرآیندها منابع انرژی و مواد خودشان را احیا، تجدید و تقویت می‌کنند و سیستم‌های پایدار را ایجاد می‌کنند که نیازهای جامعه را با یکپارچگی طبیعت ادغام می‌کند. اساس این اصطلاح برگرفته از سیستم‌های اکولوژی با یک مدل ورودی-خروجی حلقه

بسته یا مدلی است که در آن ورودی و خروجی سیستم برابر یا همانند هم باشد." "برقراری ارتباط همزیستی بین مناطق شهری و نواحی اطراف در قلب چشم‌انداز خودبازآفرینی قراردارد. برخلاف شهرهایی که از پس کرانه های خود استفاده می‌کنند و چیزی جز ضایعات به آن باز نمی‌گردانند، یک شهر خودبازآفرین دارای رابطه متقابل سودمند با قلمرو پیرامونی و روستایی خود است". اصطلاح توسعه خودبازآفرین نباید به عنوان یک رویکرد منفرد تلقی شود، بلکه به عنوان یک اصطلاح گسترده در نظر گرفته شود که از آن رویکردهای چندگانه می‌توانند استنتاج شوند (Healey et al, 2013). رویکرد توسعه خودبازآفرین بایستی منجر به افزایش سرمایه طبیعی و اجتماعی شود که سیستم اکولوژی را به صورت بهینه‌ای قبل از توسعه حفظ کند، به این دلیل که این رویکرد نه تنها حفظ و محافظت می‌کند بلکه کمال از دست رفته را احیا می‌کند (Birkeland, 2008). توسعه، استفاده از منابع برای بهبود رفاه جامعه است. آنچه که توسعه پایدار نامیده می‌شود، عبارت است از استفاده از منابع برای بهبود رفاه جامعه به شیوه‌ای که سیستم‌های پشتیبانی مورد نیاز برای رشد آتی خود را تضعیف و نابود نمی‌کند. توسعه خودبازآفرین استفاده از منابع برای بهبود رفاه جامعه به روشی است که ظرفیت سیستم‌های پشتیبانی مورد نیاز خود برای رشد آینده را افزایش می‌دهد. خودبازآفرینی ظرفیت را می‌سازد و پایداری در بهترین حالت آن را حفظ می‌کند. سؤالی که در توسعه پایدار مطرح می‌شود این است "چگونه می‌توانیم این مسئله را به شیوه ای حل کنیم که سیستم‌های زیربنایی پشتیبان را حفظ یا به آن صدمه وارد نکنیم"؟ اما سؤالی که توسعه خودبازآفرین طرح می‌کند این است که "چگونه می‌توانیم این مسئله را به شیوه‌ای حل کنیم که ظرفیت سیستم‌های زیربنایی پشتیبان را بهبود ببخشیم"؟ (Gabel, 2015). معضل جهانی کنونی ریسک‌های بزرگی را به همراه دارد، اما در عین حال فرصت‌های برجسته‌ای نیز در کنار این ریسک‌های بزرگ وجود دارند. نیاز به خلق یک جامعه و اقتصاد پایدار پساسوختی نفتی[۴] هیچگاه این چنین به‌طور گسترده مورد توجه قرار نگرفته است اگرچه چالش‌های موجود در راه نیل به آن همچنان خیره‌کننده و برجسته است (Adams, 2006). در حالی که سیاست‌مداران، برنامه ریزان، اقتصاددانان و بازرگانان نسخه‌های خود از پایداری را توسعه می‌دادند، اکولوژیست‌های رادیکال راه دیگری را براساس جهان‌بینی متفاوت باز کردند. این جهان‌بینی نمایانگر تغییر و انتقال از دیدگاهی بود که در آن این سیاره به عنوان یک سیستم مکانیکی است که انسان‌ها جدا از طبیعت خودشان هستند، به دیدگاهی که اساساً این سیستم، یک سیستم اکولوژیکی- اجتماعی متصل به هم، پیچیده، زنده و سازگاری هستند که پیوسته در حال تغییر است. در این سیستم، انسان‌ها به جای اینکه صرفاً مصرف-کننده و مشتریان خدمات مختلف اکوسیستم باشد به عنوان جزئی جداناپذیر از طبیعت است که در فرآیندهای خلق و تکامل سیستم در کنار و همراه با طبیعت است. مبانی فلسفی این دیدگاه اخیر را می‌توان در نظام‌های معرفتی بومی از تمامی قاره‌ها شامل سنت‌های فلسفی و مذهبی شرق و هم‌چنین اندیشه‌های متفکران غربی مانند باروخ اسپینوزا، آلفرد نورث وایت‌هد، یان اِسماتس و کارل یونگ یافت. بنابراین، این سیستم یک جهان‌بینی جدید را بیان نمی‌کند بلکه دیدگاه قدیمی است که در حال حاضر با افزودن کشفیات علمی در زمینه‌هایی از فیزیک کوانتومی تا بوم‌شناسی تقویت شده است. گروه ریجِنیسیس[۵] ابتدا در سال ۱۹۹۵ اصطلاح توسعه خودبازآفرین را مطرح کرد. این رویکرد روشی را توصیف می‌کند که درباره افزایش توانایی موجودات زنده برای هم‌زیستی است به طوری که سیاره ما بتواند پتانسیل خود برای تنوع، پیچیدگی و خلاقیت را ادامه دهد. توسعه خودبازآفرین زمینه و راهنمایی برای درک تعدد رویکردهای پایداری به عنوان یک پدیده منسجم فراهم می‌کند که حقیقتاً قادر به تطبیق با پیچیدگی مسائل جهانی امروز است. مسأله اصلی که گروه ریجِنیسیس (آفرینش) (در ارتباط با توسعه خودبازآفرینی) پیشنهاد کرد فرهنگی و روانشناسی بود و در مرحله بعدی شامل بعد تکنولوژیکی می‌شد (Mang and Haggard, 2016). پلات و همکاران تعاریف پایه‌ای برای توسعه رو به زوال[۶]، پایدار و خودبازآفرین را به منظور درگیر کردن کل جوامع برای دسترسی به فرآیند خودبازآفرینی را مورد استفاده قرار داده‌اند. آنها این اصطلاحات را به شرح زیر تعریف کرده‌اند:

- روبه زوال: زوال ارزش و اعتبار.
- پایدار: حفظ؛ برای جلوگیری از فروپاشی و شکست؛ و
- خودبازآفرین: ایجاد زندگی، قدرت و نیروی جدید.



شکل ۱: حوزه‌های خودبازآفرین و رو به انحطاط (Plaut et al, 2012)

مفهوم شهرهای خودبازآفرین ابتدا توسط کمیته بین‌المللی کارشناسان شهرها و تغییرات آب‌وهوایی[۷] تشکیل‌شده توسط شورای آینده جهانی[۸] با همکاری دانشگاه هامبورگ بین سال‌های ۲۰۰۸ و ۲۰۱۱ ایجاد شد. یک شهر خودبازآفرین یک توسعه شهری است که براساس یک ارتباط احیاگر و ارتقادهنده محیط‌زیستی با سیستم‌های طبیعی که شهر از آن منابع را برای حفظ خود جذب می کند، ساخته شده است. یک شهر خودبازآفرین رابطه همزیستی و سودمند دوجانبه‌ای را با پسکرانه خود نه تنها با کاهش اثرات محیط‌زیستی بلکه با بهبود فعال و بازآفرینی ظرفیت بهره‌ور اکوسیستم‌هایی که به آن وابسته است، حفظ می‌کند (Girardet et al, 2013). مسیر دستیابی به توسعه خودبازآفرین شهری نیازمند تغییر در پارادایم قدیمی متابولیسم خطی به متابولیسم دورانی جدید می‌باشد. این نوع توسعه شهری به دنبال تقلید سیستم‌های متابولیسم دورانی است که در طبیعت یافت می‌شود. ایجاد و به ثمر رساندن ارتباط دو سویه (همزیست) بین نواحی شهری و نواحی اطراف آن‌ها در کانون چشم‌انداز خودبازآفرینی قرار دارد (Woo et al, 2014).

درک پیامدهای محیط‌زیستی جهان شهری‌شده یک چالش جدید برای انسان‌هاست و این امر به تکامل یک آگاهی جدید نیاز دارد که ارتباط دهنده رفاه فردی شهروندان و منافع جمعی انسان‌ها همراه با سلامتی سیاره زمین باشد. تنها با تکیه بر اصول و چارچوب نظریه خودبازآفرینی است که کره زمین می‌تواند خانه زیست‌پذیر بلندمدت برای انسان‌ها باشد.

## مواد و روش‌ها

روش تحقیق در پژوهش حاضر با توجه به ماهیت و اهداف موضوع مدل‌سازی انرژی شهرهای روش کمی و تحلیلی است. با توجه به ویژگی های این تحقیق، در مراحل مختلف، از روش‌های متفاوتی شامل روش کتابخانه‌ای، روش میدانی و در نهایت جهت تحلیل داده‌های جمع‌آوری شده از روش های تجربی و کمی و نرم‌افزارهای تحلیلی GIS و Windographer بهره گرفته شده است.

انرژی خورشیدی: شامل میانگین دمای ماکزیمم، مجموع ساعت آفتابی در ماه، میزان تابش کلی در ماه: برای سال های ۲۰۰۹ تا ۲۰۱۹ شامل مشاهدات ایستگاه‌های سینوپتیک چون مهرآباد، فیروزکوه، ژئوفیزیک و ورامین از سازمان هواشناسی ایران دریافت شد (Iran Meteorological Organization, 2020). هم‌چنین برای پردازش بهتر وضعیت انرژی تابشی خورشید، سری تصاویر راداری از سنجنده PALSAR از ماهواره ALSO انتخاب و پردازش شد. هم‌چنین، نقشه GIS کلانشهر تهران تهیه و با تشکیل پایگاه داده، اطلاعات و داده‌های مربوطه وارد و پردازش شدند و نقشه‌های مورد نیاز تولید گردیدند. هم چنین داده‌ها و نقشه‌های مربوط به انرژی خورشید تهران از globalsolaratlas (Global Solar Atlas, 2019) تهیه و پردازش گردید. ماهواره ALOS (ماهواره مشاهده زمینی پیشرفته)، ماهواره‌ای است که توسط آژانس اکتشافات هوافضا ژاپن (JAXA)[۹] توسعه یافته و شامل سه نوع سنجنده است (Rosenqvist et al, 2004).

PALSAR یک ابزار مایکروویو فعال پیشرفته است و عملکردی بالاتر نسبت به سنجنده نسل گذشته خود که بر روی ماهواره JERS نصب شده بود، فراهم می‌کند. با وجود یک سنسور مایکروویو فعال، PALSAR تحت تأثیر شرایط آب و هوایی و دسترسی به نور قرار نمی‌گیرد. ALOS که سنجنده PALSAR بر روی آن می‌باشد، هر ۱۰۰ دقیقه یک بار زمین را دور می زند و در یک روز ۱۴ مرتبه به دور زمین گردش می‌کند (Attarchi and Gloaguen, 2014).

انرژی بادی: برای انرژی باد داده‌های مربوط به بیشینه حداکثر سرعت باد گاستی، جهت باد گاستی حداکثر، حداکثر سرعت باد، جهت حداکثر باد حداکثر، میانگین سرعت باد، جهت باد غالب، سرعت و درصد باد غالب برای بازه زمانی ۲۰۰۹ الی ۲۰۱۹ شامل مشاهدات ایستگاه‌های سینوپتیک چون مهرآباد، فیروزکوه، ژئوفیزیک و ورامین از سازمان هواشناسی تهیه گردید. برای انرژی بادی تهران نیز تصاویر و داده‌های مربوطه از Global Wind Atlas (Global Wind Atlas, 2019) به کار گرفته شد. در راستای رسیدن به اهداف پژوهش، به بررسی پتانسیل سنجی انرژی باد در ایستگاه‌های نمونه (چیتگر، فیروزکوه، ژئوفیزیک، فرودگاه امام، فرودگاه مهرآباد و ورامین) پرداخته شد. سپس داده‌های مربوط به سرعت و جهت باد طی دوره آماری ۲۰۰۹ تا ۲۰۱۹ در ساعات (۰۰، ۰۳، ۰۶، ۰۹، ۱۲، ۱۵، ۱۸، ۲۱) گردآوری شده بودند جهت انجام تحلیل از نرم افزار Windographer انتخاب گردید. هم‌چنین به منظور انجام محاسبات، ابتدا داده‌های مربوط به هر کدام از ایستگاه‌ها به فرمتی که نرم‌افزار قادر به انجام محاسبات بر روی آن‌ها باشد، مرتب گردید. از آن‌جا که به‌طور معمول برای تعیین پتانسیل انرژی باد در یک مکان و تخمین انرژی خروجی آن، از روش‌های آماری استفاده می‌شود، نرم‌افزار Windographer برای تطبیق داده‌های سرعت باد ایستگاه ها از تابع توزیع ویبول استفاده شده است، تابع توزیع چگالی احتمال ویبولحالت خاصی از توزیع گاماست. این تابع نسبت به توابع دیگر نظیر ریلی از انعطاف‌پذیری بیشتری برخوردار می‌باشد (Khahro et al, 2014). برای تجزیه و تحلیل پتانسیل برق بادی از پهنه‌بندی باد برای نواحی مورد مطالعه به کار گرفته شد. برای این منظور روش درون‌یابی کریجینگ[10] مورد استفاده قرار گرفت. در نواحی شهری که پستی و بلندی‌های فیزیکی به نسبت کم‌تر می‌باشد روش کریجینگ بهتر جواب می‌دهد. از دیگر ویژگی‌های روش کریجینگ مطلق بودن تخمین در این نوع درون‌یابی است، بدین مفهوم که مقدار تخمین کمیت در نقاط نمونه‌برداری با مقدار اندازه‌گیری شده برابر می‌باشد و واریانس تخمین صفر می‌گردد. هم‌چنین برای اولویت‌بندی نوع انرژی‌های تجدیدپذیر در نواحی مختلف روش ارزیابی چند معیاره به کار گرفته شد؛ به همین منظور برای اولویت‌بندی انرژی های تجدیدپذیر روش AHP مورد استفاده قرار گرفته است. برای تعیین نوع انرژی‌هایی که در هر منطقه بیش‌تر قابل استیصال هستند، باید نقشه‌های هر نوع انرژی با انرژی‌های دیگر در مناطق هم‌پوشانی شوند؛ برای هم‌پوشانی، به هم-طیف‌سازی نقشه‌ها مورد نیاز بود، برای این‌کار روش فازی-سازی به کار برده شد که طیف‌های گوناگون را به صفر و یک تبدیل می‌کند.

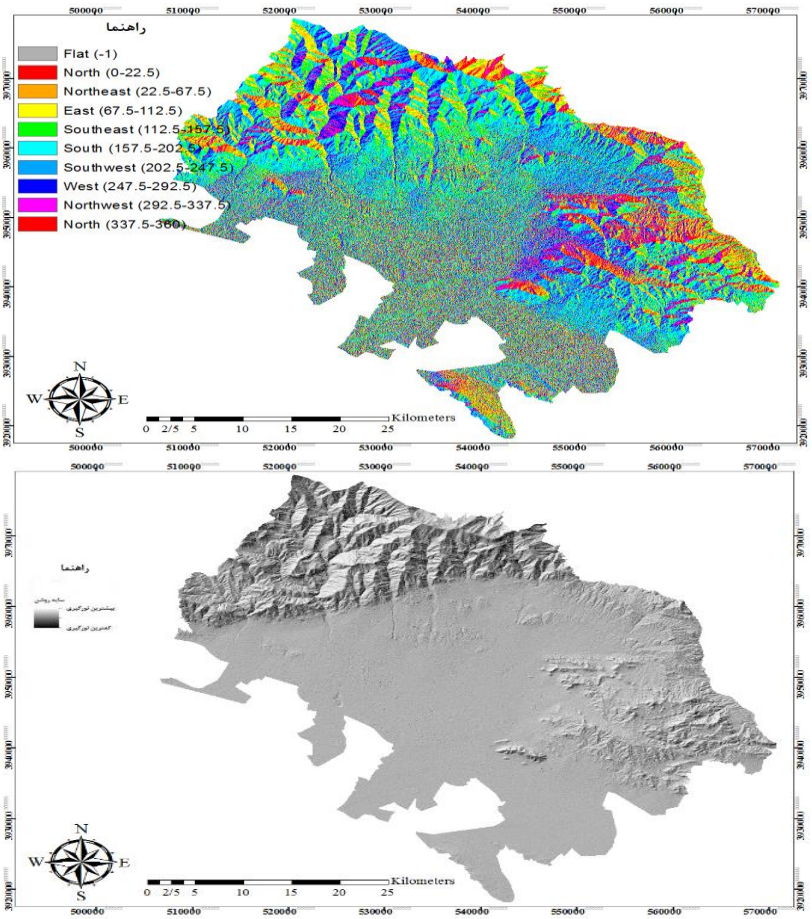
انرژی زیست توده: برای بررسی و تجزیه و تحلیل استحصال انرژی از زباله‌های شهری تهران، داده‌های مربوط به میزان مجموع کل پسماند جمع‌آوری شده از سطح شهر تهران برای سال‌های ۱۳۹۲ تا ۱۳۹۷، میزان کل پسماند هر یک از مناطق ۲۲ گانه جمع‌آوری و مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت (Tehran Municipality ICT Organization, 2019). برای ارائه مدل نهایی و تعیین اینکه کدام یک از انرژی‌های تجدیدپذیر در مناطق شهری دارای بیش‌ترین پتانسیل هستند، به همین منظور برای روی هم قرارگیری داده‌ها و لایه‌ها و تبدیل معیارها به یک معیار واحد تابع عضویت فازی (فازی‌سازی) استفاده شده است.

## بحث و نتایج

### انرژی خورشیدی

برای فرآیند تجزیه و تحلیل راداری، تصاویر راداری Palsar از پایگاه داده‌های JAXA تهیه شدند. این تصاویر باید در طول و عرضی انتخاب می‌شدند که محدوده مورد مطالعه را پوشش قطعی دهند بنابراین، تصاویر مورد نیاز محدوده مورد مطالعه، انتخاب شدند. سپس، تصویر راداری DEM در نرم افزار ArcGIS فراخوانی شدند که عملیات ابتدایی در آن به کار گرفته شد. سپس تصاویر به یکدیگر چسبانده شدند تا یک تصویر واحد را تشکیل دهند تا امکان پردازش در مراحل بعدی را داشته باشند. پس از تبدیل تصاویر مورد نظر به تصویر واحد، تصویر محدوده مورد مطالعه از تصویر

رادار استخراج گردید. سپس به ترتیب نقشه‌های جهت شیب و سایه روشن پردازش و به دست آمده است (شکل ۲). پس از تعیین جهت شیب و سایه‌روشن منطقه، برای تجزیه و تحلیل وضعیت کلانشهر تهران از نظر وضعیت دریافت انرژی خورشیدی و ایجاد لایه تابش خورشید، Area S olar Radiation به کار گرفته شده است. مجموع تابش مستقیم، پراکنده و بازتابی، کل تابش خورشیدی نامیده می‌شود.




شکل ۲: نقشه جهت شیب (بالا) و سایه روشن (پایین) کلانشهر تهران

این مدل، تابش را براساس یک مدل پیچیده محاسبه می کند که موقع خورشید را در طول سال و در زمان‌های مختلف روز، موانعی که ممکن است نور خورشید مانند درختان یا ساختمان‌های اطراف را مسدود کند و شیب و جهت سطح را در نظر می‌گیرد. تابش خورشیدی می‌تواند محاسبات را برای مکان‌های نقطه‌ای یا کل مناطق جغرافیایی انجام دهد و این شامل چهار مرحله است:

۱) محاسبه یک نمای نیم‌کره‌ای رو به بالا براساس توپوگرافی

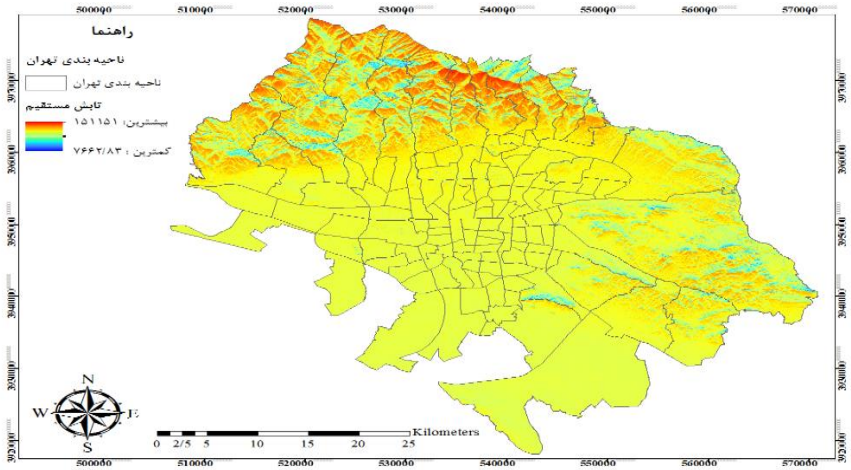
۲) برای برآورد تابش مستقیم، نمای مساحت روی نقشه خورشید مستقیم قرار دارد.

۳) برای برآورد تابش پخش شده، از یک نقشه آسمان پراکنده استفاده می‌شود.

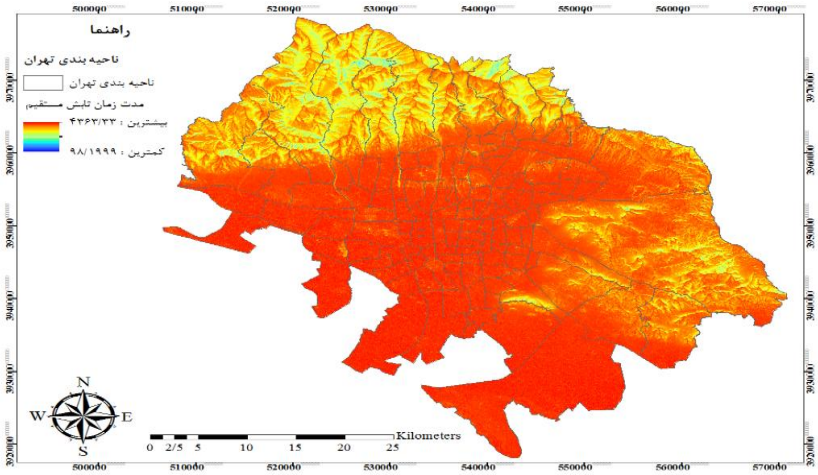
۴) تکرار فرآیند برای هر مکان مورد نظر برای تهیه نقشه ایزوله.

شکل ۳، میزان تابش مستقیم کلانشهر تهران را نشان می دهد. بر مبنای این تصویر، بیشترین میزان تابش مستقیم مربوط به مناطق شمالی منطقه مورد مطالعه می‌شود. مسئله مهمی که در ارتباط با تابش مستقیم اهمیت دارد، مدت زمان این نوع تابش است. شکل ۴، مدت زمان تابش مستقیم را نشان می‌دهد. براساس این تصویر مناطق مرکزی و جنوبی و غربی بیشترین مدت زمان تابش مستقیم را دارند و مناطق شمالی و شرقی به دلیل ناهمواری‌ها و جابجایی

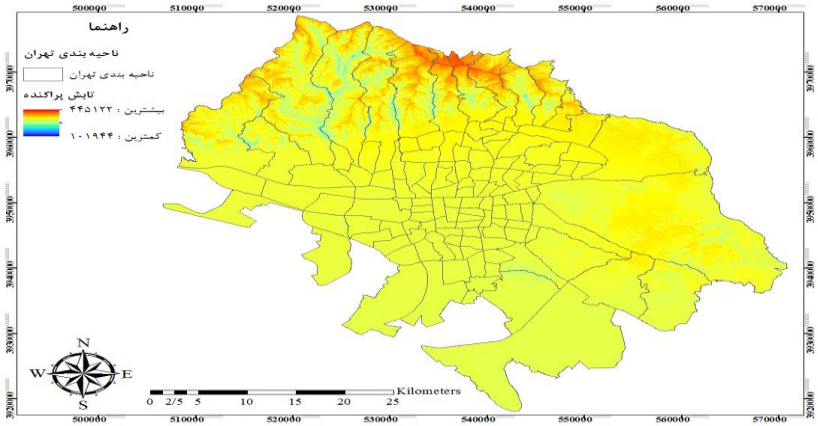
جهت خورشید کم‌ترین میزان مدت تابش مستقیم را دارند. شدت تابش مستقیم در مناطق دارای ناهمواری زیاد بوده ولی مدت زمان آن با توجه به نوع شیب و جهت کم‌تر می-باشد.




شکل ۳: تابش مستقیم ($MJ/m^2$) کلانشهر تهران



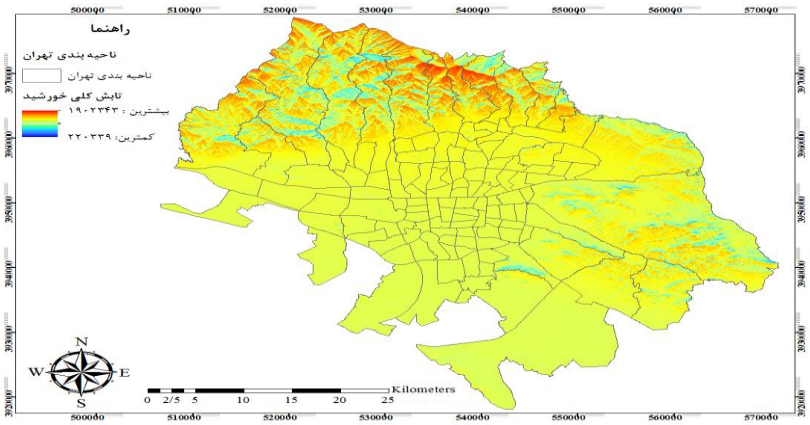

شکل ۴: مدت زمان تابش مستقیم ($MJ/m^2$) کلانشهر تهران




شکل ۵: تابش پراکنده ($MJ/m^2$) کلانشهر تهران

مورد دیگر در ارتباط با انرژی دریافتی خورشید، تابش پراکنده می‌باشد. با توجه به نقشه ۵، اکثریت منطقه کلانشهری دارای تابش پراکنده یکنواختی می‌باشند به جز برخی مناطق شمالی منطقه. در ارتباط با تجزیه و تحلیل

مربوط به میزان دریافتی تابش خورشید، مهم‌ترین لایه و نقشه برای تحلیل منطقه لایه تابش کلی هست. تابش کلی نشان می‌دهد که در منطقه مورد مطالعه هرچقدر از نواحی و مناطق جنوبی به نواحی و مناطق شمالی حرکت می‌کنیم، میزان تابش کلی خورشید بیشتر می‌شود و در این مناطق می‌توان بیشتر از تابش کلی خورشید استفاده کرد.




شکل ۶: تابش کلی ($MJ/m^2$) کلانشهر تهران

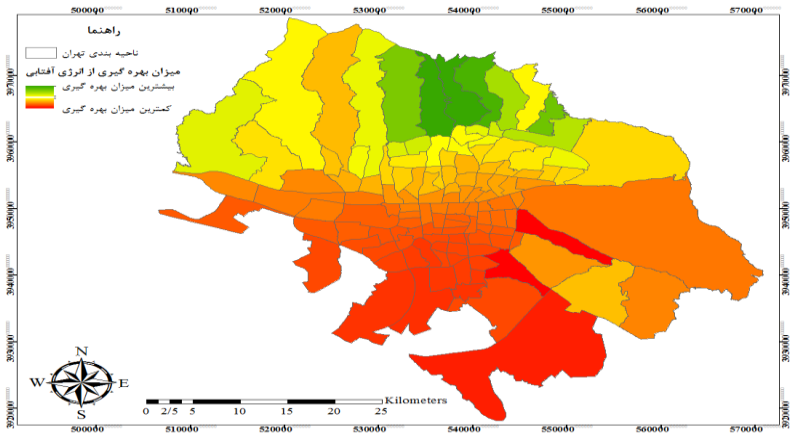
در نهایت برای ایجاد دید بهتر از منطقه مورد مطالعه، نقشه ناحیه‌بندی انرژی دریافتی خورشید تهیه شده است. این نقشه به ما نشان می‌دهد در سطح ناحیه در کدام نواحی امکان بیشتری برای بهره‌گیری از انرژی خورشیدی هست و در کدام نواحی این امکان کم‌تر است. براساس شکل ۷، نیمه شمالی نسبت به نیمه جنوبی منطقه مورد مطالعه، بیشتر امکان بهره‌گیری از انرژی تابشی را دارد.

**انرژی باد**

به منظور به دست آوردن دید کلی نسبت به وضعیت منطقه پتانسیل انرژی باد در ایستگاه‌های نمونه شامل: چیتگر، فیروزکوه، ژئوفیزیک، فرودگاه امام، فرودگاه مهرآباد و ورامین محاسبه شده است.

**ایستگاه چیتگر**

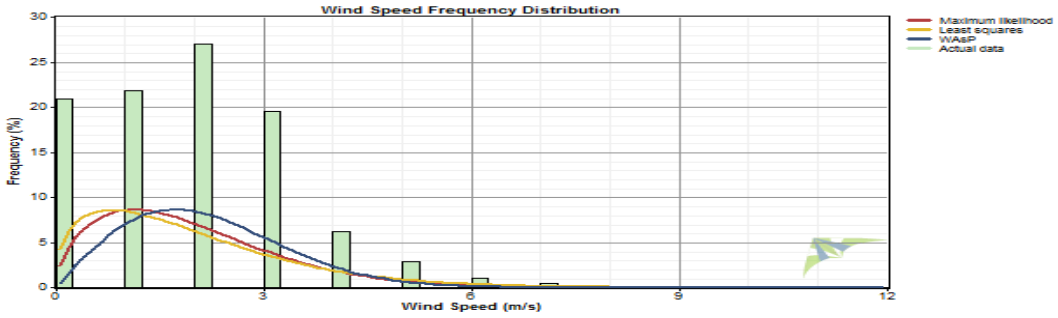
به منظور برازش داده‌های سرعت باد، از تابع توزیع احتمالی ویبول استفاده گردید که در شکل ۸ نشان داده شده است. بدین ترتیب، با توجه به نتایج به دست آمده، با توجه به اینکه میانگین سرعت باد در ایستگاه چیتگر کم‌تر از ۵/۶ متر بر ثانیه می‌باشد، در کلاس توان بادی ۱ (ضعیف) قرار می‌گیرد.




شکل ۷: ناحیه‌بندی میزان بهره‌گیری از تابش کلی کلانشهر تهران

جدول ۲: خروجی تولید انرژی با ایستگاه چیتگر با استفاده از یک توربین

| میانگین خروجی انرژی روزانه (کیلووات) | خروجی سالانه انرژی (کیلووات/سال) |
|---|---|
| ۰/۰۰۰۰۰۲۹۸ | ۰ |



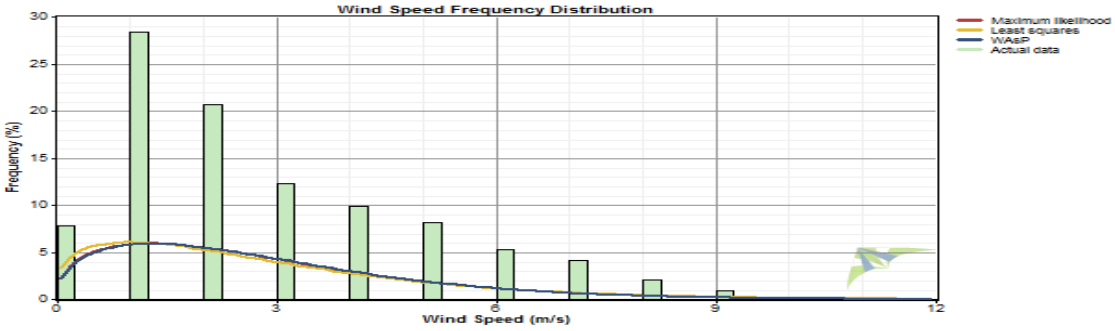

شکل ۸: نمودار برازش تابع توزیع ویبول ایستگاه چیتگر

**ایستگاه فیروزکوه**

تابع توزیع احتمالی ویبول داده‌های سرعت باد در شکل ۹ نشان داده شده است. با توجه به اینکه میانگین سرعت باد در ایستگاه فیرزوکوه ۵/۵ متر بر ثانیه می‌باشد، در کلاس توان بادی ۱ (ضعیف) قرار می‌گیرد.

جدول ۳: خروجی تولید انرژی با ایستگاه فیروزکوه با استفاده از یک توربین

| میانگین خروجی انرژی روزانه (کیلووات) | خروجی سالانه انرژی (کیلووات/سال) |
|---|---|
| ۰/۰۹۹۴ | ۸۷۱ |



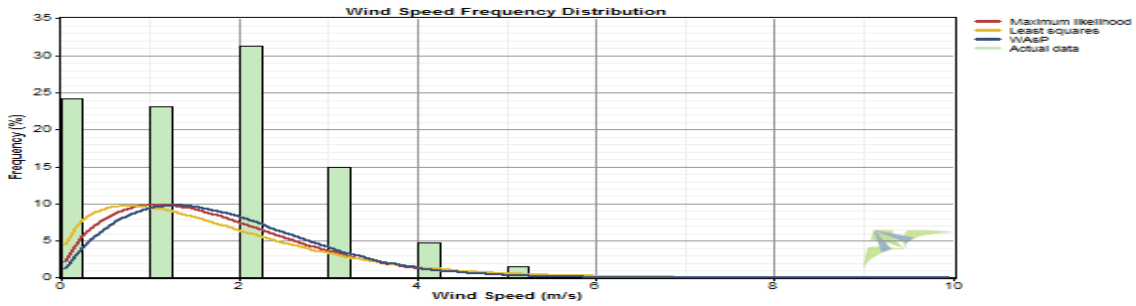

شکل ۹: نمودار برازش تابع توزیع ویبول ایستگاه فیروزکوه

**ایستگاه ژئوفیزیک**

بررسی منحنی برازش تابع چگالی احتمال ویبول بر روی داده برای این ایستگاه در شکل ۱۰ نشان داده شده است که بهترین برازش را برای این ایستگاه را نشان می‌دهد. با توجه به متوسط سرعت باد در این ایستگاه که ۳/۴ متر بر ثانیه می‌باشد، از لحاظ کلاس توان بادی برای تولید انرژی در کلاس ۱ (ضعیف) قرار می‌گیرد.

جدول ۴: خروجی تولید انرژی با ایستگاه ژئوفیزیک با استفاده از یک توربین

| میانگین خروجی انرژی روزانه (کیلووات) | خروجی سالانه انرژی (کیلووات/سال) |
|---|---|
| ۰/۰۰۰۰۰۰۱۹۶ | ۰ |



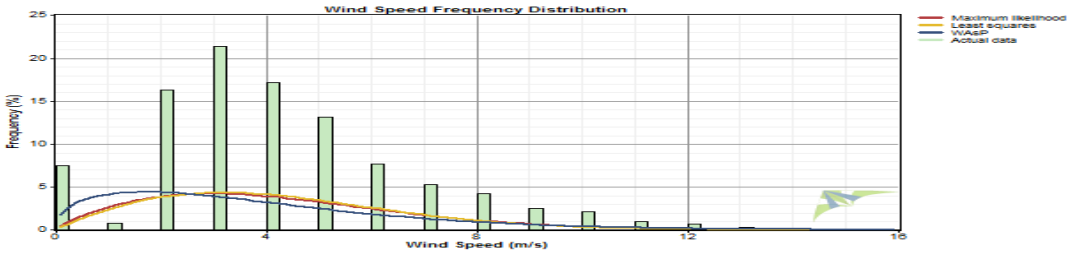

شکل ۱۰: نمودار برازش تابع توزیع ویبول ایستگاه ژئوفیزیک

**ایستگاه فرودگاه امام**

بررسی منحنی برازش تابع چگالی احتمال ویبول بر روی داده‌ها برای ایستگاه فرودگاه امام خمینی در شکل ۱۱ نشان داده شده است که بهترین برازش را برای این ایستگاه را نشان می‌دهد. با توجه به متوسط سرعت باد در این ایستگاه که حدود ۶/۴ متر بر ثانیه می‌باشد، از لحاظ کلاس توان بادی برای تولید انرژی در کلاس ۲ (حاشیه‌ای) قرار می‌گیرد.

جدول ۵: خروجی تولید انرژی با ایستگاه فرودگاه امام با استفاده از یک توربین

| میانگین خروجی انرژی روزانه (کیلووات) | خروجی سالانه انرژی (کیلووات/سال) |
|---|---|
| ۲۵ | ۲۱۸/۹۳۵ |



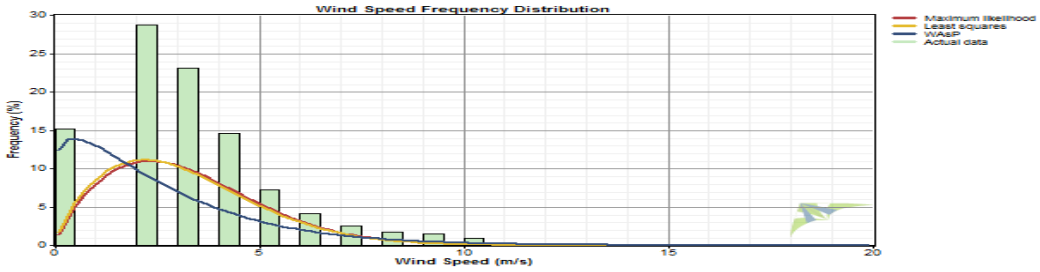

شکل ۱۱: نمودار برازش تابع توزیع ویبول ایستگاه فرودگاه امام

**ایستگاه فرودگاه مهرآباد**

شکل ۱۲ منحنی برازش ویبول را برای ایستگاه مهرآباد نشان می‌دهد که الگوریتم حداکثر احتمال، حداقل الگوریتم مربعات و الگوریتم واسپ را ارائه می‌دهد. متوسط سرعت باد در این ایستگاه ۵/۵ متر بر ثانیه بوده است. بنابراین بر مبنای طبقه‌بندی چگالی باد در کلاس بادی ۱ (ضعیف) قرار می‌گیرد.

جدول ۶: خروجی تولید انرژی با ایستگاه فرودگاه مهرآباد با استفاده از یک توربین

| میانگین خروجی انرژی روزانه (کیلووات) | خروجی سالانه انرژی (کیلووات/سال) |
|---|---|
| ۵/۲۱ | ۴۵/۶۴۵ |



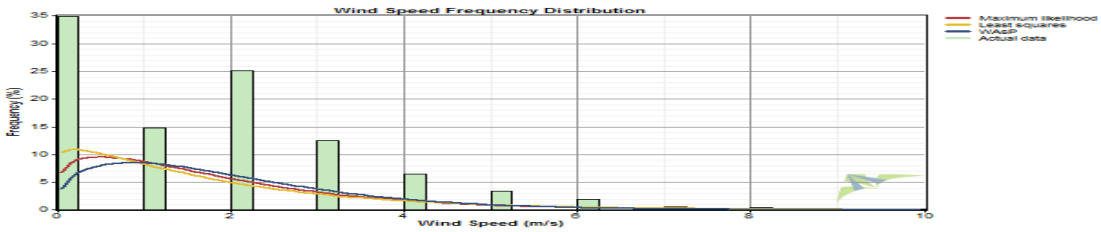

شکل ۱۲: نمودار برازش تابع توزیع ویبول ایستگاه فرودگاه مهرآباد

**ایستگاه ورامین**

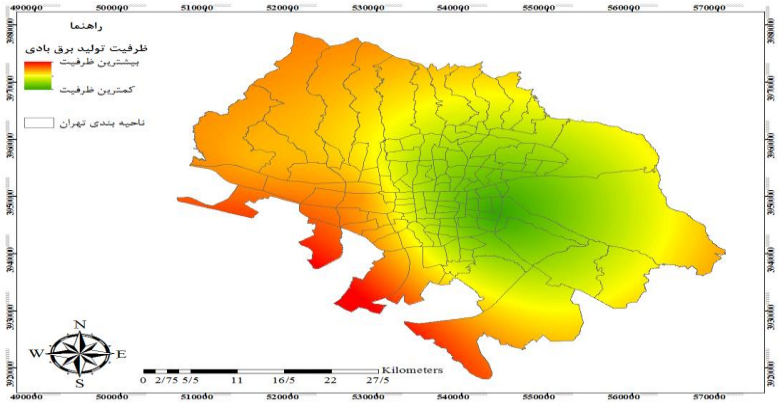
بررسی منحنی برازش تابع چگالی احتمال ویبول بر روی داده‌ها برای ایستگاه ورامین در شکل ۱۳ نشان داده شده است که بهترین برازش را برای این ایستگاه را نشان می‌دهد. با توجه به متوسط سرعت باد در این ایستگاه که کمتر از ۶/۴ متر بر ثانیه می‌باشد، از لحاظ کلاس توان بادی برای تولید انرژی در کلاس ۱ (ضعیف) قرار می‌گیرد.

جدول ۷: خروجی تولید انرژی با ایستگاه فرودگاه ورامین با استفاده از یک توربین

| میانگین خروجی انرژی روزانه (کیلووات) | خروجی سالانه انرژی (کیلووات/سال) |
|---|---|
| ۰/۰۰۰۰۱۲۳ | ۰ |




شکل ۱۳: نمودار برازش تابع توزیع ویبول ایستگاه ورامین

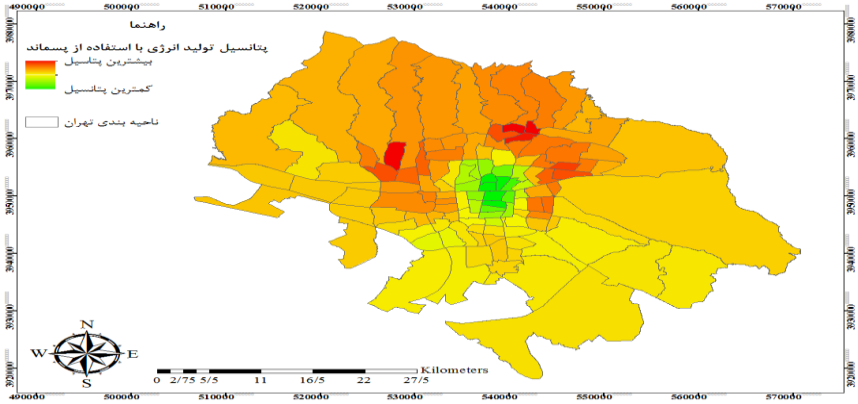



شکل ۱۴: ظرفیت تولید برق بادی در کلانشهر تهران

نقشه شکل ۱۴ ظرفیت تولید برق بادی را نشان می‌دهد؛ براساس این نقشه نواحی غربی و جنوبی بیش‌ترین ظرفیت تولید برق بادی را دارا می‌باشند.

**انرژی حاصل از زیست‌توده (زباله شهری)**

امروزه زیست‌توده به عنوان یکی از بزرگ‌ترین منابع تجدیدپذیر در تأمین انرژی اولیه جهان شناخته می‌شود. یکی از انواع ترکیبات زیست‌توده، زباله‌های شهری یا پسماند می‌باشد. مدیریت زباله‌های شهری می‌تواند یک معضل برای یک کشور یا شهر باشد، اما در عین حال می تواند منبع تولید انرژی به شمار آید. میزان زباله تولید شده در شهر تهران بیش از ۷۶۰۰ تُن می‌باشد. پتانسیل تولید انرژی با استفاده از پسماند در شکل ۱۵ نشان داده شده است. براساس این شکل مناطق شمالی به دلیل اینکه بیشترین تولید زباله را دارند، بیش‌ترین پتانسیل تولید انرژی را از پسماند را به خود اختصاص داده‌اند.




شکل ۱۵: پتانسیل تولید انرژی با استفاده از پسماند

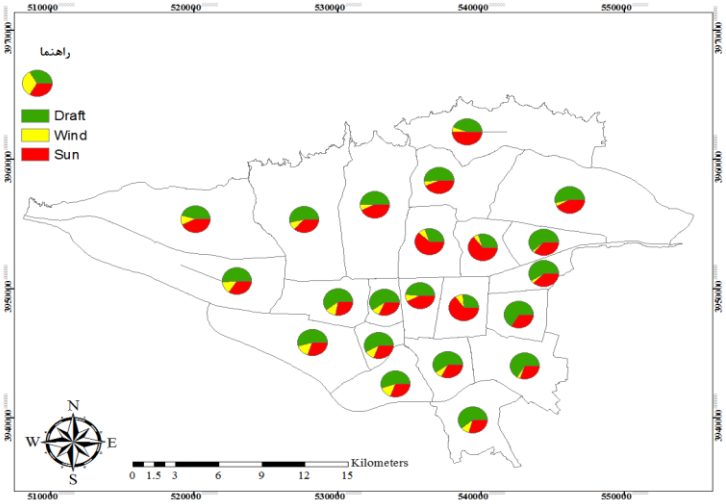
## نتیجه‌گیری

با توجه به تغییرات اقلیمی و ناپایداری‌های گسترده در هزاره سوم، دیدگاه‌های مختلفی در زمینه برنامه‌ریزی محیطی شکل گرفته‌اند که توسعه پایدار خودبازآفرین از مهم‌ترین آن‌ها می‌باشد. این دیدگاه به ما می‌گوید که به کارگیری روزافزون از منابع تجدیدپذیر و کارا ساختن انرژی

و در نظر گرفتن الگوی دورانی متابولیسم شهری به جای الگوی خطی می‌تواند بستری برای تحقق پایداری خودبازآفرین انرژی در شهرها باشد. برای دستیابی به چنین بسترهایی روش‌های مختلفی وجود دارد که مدل‌سازی انرژی از جمله این روش‌ها می‌باشد. در ارتباط با مدل‌سازی و استفاده از مدل‌های مختلف برای بررسی و تجزیه و تحلیل وضعیت انرژی‌های تجدیدپذیر در مناطق شهری، داده‌ها و روش‌های مختلفی در پژوهش‌های مختلف مورد استفاده قرار گرفته است. در پژوهش حاضر انواع داده‌های مکانی و خصیصه‌ای (غیرهندسی، توصیفی) مورد استفاده قرار گرفتند. برای تعیین اولویت نوع انرژی‌های تجدیدپذیر تحلیل‌های ارزیابی چندمعیاری[11] (AHP) به کار گرفته شدند و نقشه‌های مناطق در ارتباط با انرژی‌های تجدیدپذیر تولید شدند. از آنجایی که نوع انرژی‌های مختلف دارای طیف‌های گوناگون بودند و نیز برای هم‌پوشانی نقشه‌ها تابع عضویت فازی[12] (فازی‌سازی) بر روی نقشه‌های تولید شده اعمال گردید. در نهایت، خروجی نهایی مدل به صورت نقشه‌ای می‌باشد به صورت منطقه‌بندی که در داخل فیلد های آن سه گروه انرژی (خورشیدی، بادی و زیست‌توده) وجود دارند، در این نقشه نهایی برای اینکه بتوانیم اهمیت این سه گروه انرژی را در مناطق نشان دهیم از دیاگرام دایره‌ای استفاده شده است؛ این نقشه نشان می‌دهد در کل کلانشهر تهران انرژی‌های حاصل از پسماند و خورشیدی بیش‌ترین پتانسیل را دارند و انرژی بادی دارای کم‌ترین پتانسیل می‌باشد؛ از لحاظ مناطق مختلف نیز در همه مناطق کلانشهر تهران به جز مناطق مرکزی (۶، ۷ و ۱۲) که انرژی خورشیدی بالاترین پتانسیل را دارد، انرژی حاصل از پسماند دارای بالاترین پتانسیل و انرژی بادی کم‌ترین پتانسیل را دارد. مدل نهایی که در چارچوب رویکرد توسعه پایدار خودبازآفرین شکل گرفته است می‌تواند در برنامه ریزی‌ها و سیاست گذاری‌های انرژی در کلانشهر تهران به منظور بسترسازی برای استفاده از انرژی‌های تجدیدپذیر به کار گرفته شود.

## سپاسگزاری

نویسندگان این مقاله از هیچ سازمان یا ارگانی کمک مالی دریافت نکرده است.




شکل ۱۶: مدل نهایی انرژی براساس پتانسیل‌های هر منطقه

## پانوشت

1-Anthropocene (عصر انسان)
2-Regenerative Sustainable Development
3-Regenerative Cities
4-Postfossil-fuel
5-Regenesis Group
6-Degenerative
7-International Expert Commission on Cities and Climate Change
8-World Future Council
9-Japan Aerospace Exploration Agency
10-Kriging
11-Multi-criteria evaluation
12-Fuzzy membership function

## References


Adams, W.M., 2006. January. The future of sustainability: Re-thinking environment and development in the twenty-first century. In Report of the IUCN renowned thinkers meeting, v. 29, p. 31-45.

AGECC (The secretary-general's advisory group on energy and climate change)., 2010. Energy for a Sustainable Future, AGECC, New York, p. 7.

Attarchi, S. and Gloaguen, R., 2014. Improving the estimation of above ground biomass using dual polarimetric PALSAR and ETM+ data in the Hyrcanian mountain forest (Iran). Remote Sensing, v. 6(5), p. 3693-3715.

Birkeland, J., 2008. Positive Development. From Vicious Circles to Virtuous through Built Environment Design, Earthscan, London, p. 15.

Bose, R.K. and Nandi, S., 2010. Supporting Energy Efficient Solutions in Developing Countries: The Way Ahead, Energy Efficient, p. 2.

Brown, M., Haselsteiner, E., Apro, D., Kopeva, D., Luca, E., Pulkkinen, K. and VulaRizvanolli, B., 2018. Sustainability, restorative to regenerative. COST Action CA16114 REthinking Sustainability towards a Regenerative Economy, Working Group One Report: Restorative Sustainability.

Du Plessis, C., 2012. Towards a regenerative paradigm for the built environment, Building Research & Information, v. 40(1), p. 7-22.

Gabel, M., 2015. Regenerative development: going beyond sustainability, KOSMOS, journal for global transformation.

Girardet, H., Schurig, S. and Woo, F., 2013. Towards the Regenerative City, Hamburg: World Future Council.

Girardet, H. and Mendonca, M., 2009. A renewable world, Green Books, Darington.

Glaeser, E., 2010.The Triumph of the City, Penguin Books, London and New York.

Global Solar Atlas., Tehran Solar Information, Retrieved in 2019.

Global WindAtlas., Tehran Wind Information, Retrieved in 2019.

Healey, M., James, P., Hudson, C., Carroll-Bell, S. and Taing, A., 2013. Title: Urban Regenerative Development in South Africa: The Role of Place and Story, 156 p.

Hes, D. and Du Plessis., Ch., 2015. Designing for Hope: Pathways to Regenerative Sustainability, Routledge, 111 p.

Information and Communication Technology Organization of Tehran Municipality, 2018. Waste data of Tehran city (In Persian).

Kamal-Chaoui, L. and Robert, A., 2009. Competitive cities and climate change, OECD Regional Development Working Papers N° 2, OECD publishing, © OECD, 172 p.

Keirstead, J., Samsatli, N. and Shah, N., 2010. SynCity: an integrated tool kit for urban energy systems modelling, Energy efficient cities: Assessment tools and benchmarking practices, p. 21-42.

Khahro, S.F., Tabbassum, K., Soomro, A.M., Dong, L. and Liao, X., 2014. Evaluation of wind power production prospective and Weibull parameter estimation methods for Babaurband, Sindh Pakistan. Energy conversion and Management, v. 78, p. 956-967.

Mang, P. and Haggard, B., 2016. Regenerative development and design: a framework for evolving sustainability. Wiley.

Meteorological Organization of Iran, 2019. Meteorological data request system (In Persian).

Ministry of Energy, 1388. Energy balance sheet of 1388, Tehran, Deputy of Electricity and Energy Affairs, 510 p (In Persian).

Oxford Dictionaries, 2018. https://en.oxforddictionaries.com/

Plaut, J.M., Dunbar, B., Wackerman, A. and Hodgin, S., 2012. Regenerative design: the LENSES Framework for buildings and communities. Building Research & Information, v. 40(1), p. 112-122.

Rosenqvist, A., Shimada, M. and Watanabe, M., 2004, November. Alos Palsar: Technical outline and mission concepts. In 4th International Symposium on Retrieval of Bio- and Geophysical Parameters from SAR Data for Land Applications, p. 1-7. Innsbruck, Austria.

World Future Council, 2014. Regenerative Cities. HafenCity University, 256 p.

Woo, F., Wortmann, J., Schurig, S. and Leidreiter, A., 2014. Regenerative Urban Development: a roadmap to the city we need. In Future of Cities Forum. Hamburg: World Future Council, Climate and Energy Commission.