Reaction of Electricity Consumption to Temperature Changes based on IPCC Scenario: Case Study of Babolsar

Mani Motameni*,
Associated Professor of Economics, Department of Energy Economics, University of Mazandaran.
Email: m.motameni@umz.ac.ir
ORCID: 0000-0002-4814-3276

Yadollah Yousefi
Associated Professor of Geography, Department of Geography, University of Mazandaran.
Email: m.motameni@umz.ac.ir
ORCID:0000-0002-7628-8093

در حال انتشار (In Press)

1-Introduction

The global climate is at a critical juncture, with human emissions propelling us toward a trajectory that could exceed 1.5 degrees Celsius of warming by the early 2030s, as reported by the IPCC in its 2021 assessment. This warming trend has significant implications for energy systems, particularly electricity consumption.

Climate change directly affects electricity demand patterns. As temperatures rise, cooling needs (such as air conditioning) surge, impacting overall energy consumption. Additionally, extreme weather events can disrupt power system infrastructure, affecting reliability and resilience.

2-Methods

This research is an interdisciplinary study in the fields of economics and geography, aimed at demonstrating the impact of climate change on electricity consumption. The data utilized in this study are daily records from the city of

Babolsar. Using two radiative scenarios—optimistic and pessimistic—for climate change in the field of geography, the average air temperature of Babolsar in the coming years has been predicted. Accordingly, the average increase in air temperature during the hottest time of the year in Babolsar is projected to be 1.5 degrees Celsius. On the other hand, using the ARDL econometric model, the dependency of air temperature and electricity consumption in Babolsar has been calculated.

3-Results

The initial results of this model indicate that electricity consumption in Babolsar is only dependent on air temperature during the five hottest months of the year, and in other months, temperature fluctuations do not have a significant impact on electricity consumption. It was shown that during the hottest month of the year, for each degree increase in average air temperature, electricity consumption increases by 1.6 megawatts. In the below table you can find the electricity consumption for every months.

Month	Electricity Consumption Coefficient	Standard Deviation	T Statistics	P-value
1	-0/0۵	0/14	-0/34	0/73
2	-0/048	0/11	-0/43	0/66
3	0/034	0/11	0/30	0/75
4	0/106	0/107	0/99	0/32
5	0/37	0/11	3/36	0/0008
6	1/17	0/17	6/65	0
7	1/3۶	0/17	7/57	0
8	1/59	0/16	9/87	0
9	1/46	0/13	10/75	0
10	0/044	0/091	0/48	0/62
11	-0/12	0/089	-1/37	0/16
12	-0/081	0/11	-0/71	0/47

(In Press)

4-Conclusions

Therefore, it can be concluded that, with other conditions remaining stable, climate change will lead to a 2.4 megawatt increase in peak electricity consumption in Babolsar.

Funding: There is no funding support
Conflict of Interest: Authors declare no conflict of interest
Authors' Contributions: All authors participated in the conceptualization and writing of the article, approved the content of the article, and agreed on all aspects of the work.

(In Press) در حال انتشار

واکنش مصرف برق به تغییرات دما بر اساس سناریوهای اقلیمی: مطالعه موردی شهرستان بابلسر

مانی مؤتمنی[1]
دانشیار گروه اقتصاد انرژی دانشگاه مازندران
Email: m.motameni@umz.ac.ir
ORCID: **0000-0002-4814-3276**
یدالله یوسفی
Email: y.yousefi@umz.ac.ir
دانشیار گروه جغرافیا و برنامه‌ریزی شهری دانشگاه مازندران
ORCID:0000-0002-7628-8093

در حال انتشار (In Press)

چکیده:
این پژوهش یک مطالعه‌ی بین‌رشته‌ای در علوم اقتصاد و جغرافیا است که با هدف نشان دادن اهمیت تغییرات اقلیمی بر مصرف برق نگاشته شده است. داده‌های به‌کار گرفته شده در این تحقیق روزانه و مربوط به شهر بابلسر می‌باشد. با استفاده از دو سناریوی خوش‌بینانه و بدبینانه‌ی تابشی برای تغییرات اقلیمی در رشته‌ی جغرافیا میانگین دمای هوای بابلسر در سال‌های آینده پیش‌بینی شده است. بر این اساس میانگین افزایش دمای هوای بابلسر در گرمترین زمان سال، ۱/۵ درجه افزایش خواهد داشت. از سوی دیگر و بر حسب الگوی‌اقتصادسنجی ARDL وابستگی دمای هوا و مصرف برق در شهر بابلسر محاسبه شده است. نتایج اولیه‌ی این الگو حاکی از آن است که مصرف برق در شهر بابلسر تنها در ۵ ماه گرم سال به دمای هوا وابسته است و در سایر ماه‌ها افزایش یا کاهش دما اثر معناداری بر مصرف برق ندارد. بر این اساس نشان داده شد که در گرمترین ماه سال، به‌ازای هردرجه افزایش میانگین دمای هوا، مصرف برق ۱/۶ مگاوات افزایش می‌یابد. بنابراین می‌توان نتیجه گرفت که با ثبات سایر شرایط، تغییرات اقلیمی موجب افزایش ۲/۴ مگاواتی اوج مصرف برق در شهر بابلسر خواهد شد.

واژگان کلیدی: دما، مصرف برق، تغییر اقلیم، IPCC، بابلسر

---

[1] نویسنده مسئول

۱. مقدمه

شناخت عوامل موثر بر میزان مصرف انرژی نقش مهمی در مدیریت بهینه آن دارد. یکی از وظایف حیاتی در تضمین شبکهٔ برق‌رسانی، تخمین تقاضا و حفظ تراز عرضه با آن است؛ چراکه برخلاف سایر منابع انرژی ذخیرهٔ برق در سطح کلان بسیار گران و تاحدی امکان ناپذیر است. از این رو، پیش‌بینی مصرف برق نقشی کلیدی در مدیریت نیروگاه‌های کشور دارد.

در عموم فرایندهای پیش‌بینی، با استفاده از اطلاعات گذشته و مدلسازی رفتار متغیر، سعی می‌شود تا آیندهٔ متغیر هدف حدس زده شود. در الگوهای پیش‌بینی عوامل مؤثر بر مصرف برق با روش‌های مختلف مدلسازی می‌شود ولی فرض می‌شود که شرایط آب و هوایی در طول زمان ثابت خواهد ماند. برای نمونه متغیرهایی نظیر جمعیت، رشد درآمد سرانه، تغییر الگوی مصرف و نظایر اینها به عنوان عوامل یا فاکتورهای تعیین‌کنندهٔ میانگین مصرف برق منظور می‌شوند و متغیرهای مرتبط با دما تنها تسهیم‌کننده و نوسان‌دهندهٔ میزان تقاضای برق در طول یک‌سال هستند. اما مطالعات جدید در رشته جغرافیا نشان می‌دهد که تغییرات اقلیمی موجب افزایش میانگین دمای هوا خواهد شد. به این ترتیب برای پیش‌بینی تقاضای برق در سال‌های آینده می‌باید به تغییرات اقلیمی نیز توجه نمود.

یکی از دغدغه‌های مدیریت انرژی شناخت میزان تغییرات مصرف برق در آینده برای تأمین بهتر و جلوگیری از ایجاد شرایط غیرقابل کنترل برای آن است. اکنون مشخص شده است که کرهٔ زمین در حال گرم‌تر شدن است و این مهم ممکن است بر مصرف برق در برخی مناطق اثرگذار باشد. اما می‌باید توجه داشت که تغییرات اقلیمی دمای هوای تمامی مناطق کرهٔ زمین را به‌یک شکل تغییر نمی‌دهد. از سوی دیگر، ممکن است که تغییر دما اثر معناداری بر مصرف برق نداشته باشد. بنابراین برای پی بردن به اثر تغییرات اقلیمی بر مصرف برق می‌باید به دو پرسش اصلی پاسخ داد. نخست اینکه آیا تغییر دمای هوا اثر معناداری بر مصرف برق دارد؟ دوم اینکه، تغییرات اقلیمی چه اثری بر میانگین دمای هوا در ماه‌های مختلف سال خواهد داشت؟

در این پژوهش به دو پرسش فوق پاسخ داده می‌شود. منطقهٔ مورد مطالعه در پژوهش حاضر شهرستان بابلسر است. در فصل بعد، ادبیات مرتبط با تحقیق مرور می‌شود. در فصل سوم داده‌ها و روش محاسبات شرح داده می‌شود. در فصل چهارم با استفاده از الگوی اقتصادسنجی تغییرات مصرف برق بر مبنای تغییر دما طی ماه‌های مختلف سال سنجیده می‌شود. در فصل پنجم دمای آینده بابلسر با لحاظ سناریوهای تغییرات اقلیمی IPCC[۲] به تفکیک ماه ارائه می‌شود. یافته‌های تحقیق در فصل ششم خلاصه می‌شود.

۲. مرور ادبیات

نقش تغییرات آب و هوایی در رفتارهای اقتصادی پیش از این مورد توجه مطالعات متعددی در رشتهٔ برنامه‌ریزی شهری بوده است. اثر آب و هوا به تفکیک مناطق بر انواع فعالیت‌های اقتصادی در مطالعاتی نظیر والور[۳] و *همکاران* (۲۰۰۱) مورد بررسی قرار گرفته است. در این نوع مطالعات تهدیدهایی که از تغییرات دما ناشی می‌شود مورد توجه قرار می‌گیرد. به طور مثال با توجه به نتایج مدل‌سازی تغییرات آب و هوایی، اروپا بخش زیادی از درآمد توریست مرتبط با ورزش اسکی را به‌زودی از دست خواهد داد (دام[٤] و *همکاران* a، ۲۰۱۷). در برخی مطالعات به‌صورت خاص به نقش تغییرات اقلیمی بر مصرف انرژی توجه شده است. مندلسون[۵] و نیومن[۶] (۱۹۹۹)، پیلی سیفولا[۷] و *همکاران* (۲۰۱۰)، علی[۸] و *همکاران* (۲۰۱۳)، بوتزن[۹] و *همکاران* (۲۰۲۱) و آیسیه[۱۰] و *همکاران* (۲۰۲۲) نمونه‌ای از این مطالعات است.

---

[2] Intergovernmental Panel on Climate Change
[3] Valor
[4] Damm
[5] Mendelsohn
[6] Neumann
[7] Pilli-Sihvola
[8] Ali
[9] Botzen
[10] Aisieh

(In Press) در حال انتشار

امروزه اثرات پارامترهای آب و هوایی بر مصرف با توجه به تغییرات آب و هوایی وارد مرحله جدیدی شده است و بحث از افزایش دمای بخش‌های مختلف کره زمین مورد توجه بسیاری از پژوهشگران قرار گرفته است. به طور کلی گزارشهای IPCC (۲۰۱۵) بیان کننده تغییرات افزایشی دما در سطح کره زمین به میزان ۰/۶ درجه سانتیگراد در قرن گذشته است.

یکی از نکات جالب این است که تأثیرات مصرف برق و گرمایش جهانی دوسویه است. انتشار گازهای گلخانه‌ای ممکن است با مصرف برق افزایش یابد و سپس خود نیز به افزایش دما (گرمایش جهانی) منجر شود، در حالی که افزایش دما نیز بر مصرف برق تأثیر می‌گذارد (لی[11] و چیو[12]، ۲۰۱۱). اقدامات مختلفی برای کاهش اثرات تغییرات آب و هوایی بر زندگی بشر در حال انجام است. بخش عمده‌ای از موضوعات کنفرانس‌های جهانی محیط زیستی به تغییر اقلیم می‌پردازد. مانع اصلی برای اقدامات جهانی آب و هوایی، ناشی از ناتوانی کشورها در توافق بر یک روش منصفانه برای تخصیص بار کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای است. در اغلب کشورها علی‌رغم عدم اطمینان در مورد سناریوهای تغییرات آب و هوایی، تقاضای پیک برق برای گرمایش و سرمایش افزایش می‌یابد (دام و همکاران b، ۲۰۱۷).

برخی بررسی‌ها حاکی از آن است، تغییر در ویژگی‌های دمایی و گرم شدن کره زمین در برخی از مناطق آب و هوایی در دوره سرد سال می‌تواند باعث کاهش مصرف برق و در مقابل در دوره گرم سال باعث افزایش تقاضای مصرف برق شود. بررسی‌ها نشان داد در اروپای مرکزی و شمال اروپا گرم شدن زمین باعث کاهش هزینه‌های مصرف‌کنندگان برق و در جنوب اروپا، موجب افزایش تقاضای الکتریسیته خواهد شد (پیلی سیفولا و همکاران، ۲۰۱۰). با فرض ثابت بودن ساختارهای اقتصادی و جمعیتی و افزایش دمای ۲ درجه سانتی‌گرادی در اروپا بیشترین کاهش نسبی مصرف را نروژ با کاهش بیش از ۵/۲٪ و بعد از

---

[11] Lee
[12] Chiu

آن سوئد، استونی، فنلاند و فرانسه خواهند داشت (دام و همکاران b، ۲۰۱۷). از آنجایی که منبع غالب در بیشتر کشورهای دنیا برای سرمایش انرژی برق است و سوخت‌های فسیلی برای گرمایش مورداستفاده قرار می‌گیرد (اسکلند[۱۳] و میدکسا[۱۴]، ۲۰۱۰)، اثرپذیری برق از افزایش دما و تغییرات دمایی در دوره گرم سال بیشتر است.

(احمد[۱۵] و *همکاران*، ۲۰۱۲) با استفاده از شاخص درجه روز و روش تجزیه وتحلیل رگرسیون چندگانه، تقاضای برق در ایالت نیوساوت ولز (استرالیا) را به‌صورت ماهانه مدل‌سازی کردند. (علی[۱۶] و *همکاران*، ۲۰۱۳) نیز با بررسی ارتباط میان دمای بیشینه و مصرف برق در پاکستان دریافتند، بیشترین ارتباط در فصل تابستان وجود دارد و مدل‌سازی دما نشان داد در جولای سال ۲۰۲۰ بیشترین میزان دما و مصرف برق وجود خواهد داشت.

۳. داده‌ها و روش پژوهش

داده‌های مورداستفاده در این پژوهش شامل پارامترهای ۱. میانگین دما و ۲. مصرف برق است. داده‌های دمایی به‌صورت روزانه از ایستگاه هواشناسی سینوپتیک بابلسر دریافت شد. دوره زمانی داده‌ها دمایی و مصرف برق از ۱۳۸۹/۱/۱ (۲۱ مارس سال ۲۰۱۰) تا ۱۴۰۰/۸/۵ (۲۷ اکتبر ۲۰۲۱) است. داده‌های مصرف برق نیز از اداره توزیع برق شهرستان بابلسر دریافت شد. داده‌ها به‌صورت روزانه در نرم‌افزار وارد شده است و با توجه به اینکه نرم‌افزارها قابلیت تشخیص ماه‌های میلادی را دارند، به‌ناچار تمامی اطلاعات بر اساس تقویم میلادی تنظیم شده است. در صورت ورود اطلاعات با تقویم شمسی، به‌دلیل تفاوت روزهای موجود در یک ماه بین تقویم شمسی و میلادی، پس از چینش ۱۱ سال داده‌های روزانه، ماه‌های شمسی به‌شکل غیرواقعی جابجا می‌شده‌اند.

---

[13] Eskeland
[14] Mideksa
[15] Ahmed
[16] Ali

در حال انتشار (In Press)

برای یافتن کشش تغییر مصرف برق نسبت به تغییر دمای هوا از الگوهای سری‌زمانی اقتصادسنجی استفاده شده است. با توجه به کثیر عوامل موثر بر مصرف برق، از الگوی خودرگرسیونی استفاده می‌شود چراکه فرض بر این است که تمام عواملی که بر مصرف برق دورهٔ حاضر اثر می‌گذارند بر مصرف برق دوره‌های قبل نیز اثرگذار بوده‌اند(راسل و مک‌کینون[۱۷]، ۲۰۲۱). تنها عاملی که به‌صورت جداگانه در الگو وارد می‌شود، تغییرات دمای هوا است. از آنجایی که این متغیر برونزا است، می‌بایست الگوی سری‌زمانی انتخاب شود که قابلیت خودرگرسیونی و وجود متغیر برونزا را داشته باشد. تنها انتخاب ممکن برای چنین شرایطی الگوی ARDL[۱۸] است (پسران[۱۹]، ۲۰۱۵). با توجه به اینکه دمای هوا در الگوی مصرف برق، برون‌زا محسوب می‌شود، روش *خودهمبستگی با وقفه‌های توزیعی* یا همان ARDL یک روش مناسب برای بررسی رابطه سری‌های زمانی خواهد بود. این الگو به‌صورت زیر قابل تصریح است (کوپ[۲۰]، ۲۰۱۳):

$$Y_t = \alpha + \emptyset_1 Y_{t-1} + \cdots + \emptyset_p Y_{t-p} + \beta_0 X_t + \beta_1 X_{t-1} + \cdots + \beta_q X_{t-q} + e_t \quad (۱)$$

متوسط دمای بابلسر با علامت X و میزان مصرف برق با علامت Y مشخص شده است. در این مدل، متغیر وابسته Y، علاوه بر آنکه به وقفه‌های مرتبه p خود وابستگی دارد، به‌اندازه جاری متغیر توضیحی X و وقفه‌های مرتبه q آن نیز وابسته است. تعداد وقفه‌ها بر اساس کمینه آمارهٔ شوارتز تعیین می‌گردد. رفتار الگو نسبت به متغیرهای مانا و نامانا متفاوت است. به همین دلیل در ابتدا می‌باید نسبت به درجه انباشت متغیرها آگاه باشیم.

برای نشان دادن شرایط دمایی آینده بابلسر از خروجی‌های مدل‌های گردش عمومی جو استفاده شد. مدل‌های گردش عمومی جو، ابزارهایی برای برآورد اثرات بالقوه گرم شدن کره زمین هستند که به میزان زیادی مورداستفاده قرار می‌گیرند. نتایج این مدل‌ها به دلیل

---

17 Davidson & MacKinnon
18 Autoregressive Distributed Lag
19 Pesaran
20 Koop

شرایط خاص تفکیک‌پذیری مکانی آن‌ها برای استفاده منطقه‌ای نیاز به ریزمقیاس نمایی[۲۱] دارند. تکنیک ریزمقیاس نمایی یک ابزار مفید برای کاهش معضل تبدیل مقیاس‌های جهانی به منطقه‌ای است (گاگنون[۲۲] و همکاران، ۲۰۰۶). نتایج مدل‌سازی‌های آب و هوایی وضعیت متفاوت‌تری را برای مناطقی نظیر جنوب مدیترانه، خاورمیانه و جنوب صحرای آفریقا در بخش‌های مختلف محیطی به‌ویژه آب پیش‌بینی می‌کنند (فیشر[۲۳] و همکاران، ۲۰۰۷). میانگین دمای ایستگاه بابلسر با استفاده از نرم‌افزار SDSM[۲۴] ریزمقیاس نمایی شد. با استفاده از نسخه 4.2.9 این نرم‌افزار سناریوهای گزارش پنجم IPCC که به سناریوهای RCP[۲۵] مشهورند، برای مدل‌سازی وضعیت دمایی در آینده استفاده شد.

برای درک بهتر روابط پیچیده سیستم آب‌وهوا، اکوسیستم‌ها و شرایط و فعالیت‌های انسان، جامعه تحقیقاتی این سناریوها را توسعه داده و مورداستفاده قرار می‌دهند. این سناریوها شرح مفصلی از وضعیت آینده در حوزه‌های کلیدی شرایط اجتماعی، اقتصادی، فنی و محیطی، انتشار گازهای گلخانه‌ای و آلودگی هوا و آب‌وهوا می‌دهد. ترسیم وضعیت آینده در این سناریوها بستگی به واداشت‌های تابشی[۲۶] در اثر تغییر در تعادل بین تابش ورودی و خروجی به جو ناشی از تغییرات در ترکیبات جوی به‌ویژه دی‌اکسید کربن در حالت‌های مختلف دارد (ماس[۲۷] و همکاران، ۲۰۱۰). سناریوهای RCP شامل چند سناریو هستند که توسط IPCC در سال ۲۰۱۴ در ادامه سناریوهای گزارش ویژه انتشار SRES[۲۸] به شکل جایگزین توسعه یافته‌اند. درواقع این جایگزینی قدمی در جهت ارتقای سناریوهای SRES

---

21 Downscaling
22 Gagnon
23 Fischer
24 Statistical DownScaling Model
25 Representative Concentration Pathways
26 Radiative forcings
27 Moss
28 Special Report on Emissions Scenarios

برای مدل‌سازی وضعیت آب و هوایی آینده به شمار می‌آید. سناریوهای RCP دامنه بازی از واداشت تابشی ۲.۶ تا ۸.۵ وات بر مترمربع را در برمی‌گیرند (وارن[۲۹] و ریاحی[۳۰]، ۲۰۱۱). تفاوت عمده سناریوهای RCP و SRES در این است که اولی خط سیر توازن واداشت تابشی ناشی از افزایش گازهای گلخانه‌ای را تا سال ۲۱۰۰ برحسب وات بر مترمربع مشخص می‌کند، مثلاً در سناریوی RCP۸.۵، توازن واداشت تابشی در سقف جو و در سال ۲۱۰۰ حدود ۸.۵ وات بر مترمربع خواهد بود یعنی تابش ورودی منهای خروجی از جو مثبت ۸.۵ وات بر مترمربع است که این انباشت ۸.۵ وات بر مترمربع در سامانه جو منجر به افزایش دمای کره زمین می‌گردد، اما سناریوهای سری SRES خط سیر غلظت گازهای گلخانه‌ای را مشخص می‌کنند. سناریوهای RCP شامل یک سناریوی گازهای گلخانه‌ای با واداشت حداکثر ۳ وات بر مترمربع، سناریوی متوسط با واداشت ۴.۵ تا ۶ وات بر مترمربع و درنهایت یک سناریوی حد نهایی با واداشت تابشی ۸.۵ وات بر مترمربع است (ریاحی و همکاران، ۲۰۱۱) . مهم‌ترین دغدغه این سناریوها و تفاوت‌های آن‌ها در تفاوت‌های اهداف کاهشی میزان انتشار عناصر آلاینده جوی به‌ویژه گاز دی‌اکسید کربن است. سناریوهای RCP محصول همکاری نوآورانه همکاری میان مدل‌سازان ارزیابی یکپارچه، مدل‌سازان آب‌وهوا، مدل‌سازان اکوسیستم جهانی و کارشناسان انتشار است. محصول تولیدشده مجموعه‌ای جامع از داده‌ها با تفکیک بالای مکانی تا سال ۲۱۰۰ را منجر می‌شود. RCPها یک پیشرفت مهم در تحقیقات آب و هوایی هستند و بنیان بالقوه‌ای برای پژوهش و ارزیابی بیشتر ازجمله کاهش انتشار و تحلیل اثرات هستند.

٤. اثر دمای هوا بر مصرف برق ARDL

پس از سنجش ابتدایی رابطه دو متغیر الگوی خاصی در واکنش مصرف برق به دمای هوا مشاهده شده است. همان‌طور که در

---

[29] Vuuren
[30] Riahi

(In Press) در حال انتشار

جدول**1** مشاهده می‌شود، هر دو متغیر تحقیق مانا هستند.

جدول1 آزمون مانایی متغیرهای تحقیق

متغیر	نماد	آماره PP	آماره ADF	P-value
دمای هوا	X	-۵/۲۶	-۳/۱۳	۰/۰۱
مصرف برق	Y	-۱۰/۹۱	-۴/۳۳	۰/۰۰

منبع: محاسبات تحقیق

به دلیل مانا بودن متغیرها می‌توان ضرایب رگرسیونی را با روش حداقل مربعات معمولی برآورد نمود. مطابق با کوپ به‌منظور پرهیز از مشکل هم خطی ضرایب، الگوی زیر برآورد می‌شوند:

$$\Delta Y_t = \alpha + \rho Y_{t-1} + \gamma_1 \Delta Y_{t-1} + \cdots + \gamma_{p-1} \Delta Y_{t-p+1} + \theta X_t + \omega_1 \Delta X_{t-1} + \cdots + \omega_q \Delta X_{t-q+1} + e_t \quad (۲)$$

با توجه به اینکه متغیر وابسته تحقیق مانا است مقدار ضریب ρ صفر نخواهد بود. در الگوی فوق اثر لحظه‌ای یا کوتاه‌مدت متغیر توضیحی (که در این تحقیق دمای هوا است) بر متغیر وابسته (که در این تحقیق مصرف برق است) لحاظ شده است. اما در کنار این ضرایب می‌توان اثر *بلندمدت* یا اثر کلی دمای هوا بر مصرف برق را نیز مورد محاسبه قرار داد. اثر بلندمدت یا نهائی متغیر X بر متغیر Y برابر با $-\frac{\theta}{\rho}$ است. به عبارت دیگر، تنها ضرایب Y_{t-1} و X_t در بازنویسی مدل ARDL بر رفتار بلندمدت مؤثر هستند. بنابراین به‌سادگی می‌توان ضریب فزاینده یا اثر بلندمدت را محاسبه نمود. لازم به‌ذکر است که به‌دلیل مانا بودن متغیرها ارتباط دو متغیر مبتنی بر هم‌انباشتگی و تصحیح خطا نخواهد بود.

ارتباط مصرف برق به دمای هوا در ماه‌های مختلف اشکال گوناگونی می‌یابد. برای نمونه اگر در بهمن ماه، دمای هوا افزایش یابد هیچ‌گونه اثر معناداری بر مصرف برق مشاهده نمی‌گردد. اما وقتی در مرداد، دمای هوا افزایش یابد؛ مصرف انرژی به‌شدت بیشتر می‌شود. دلیل این نوع رابطه واضح است. سیستم گرمایش در بابلسر به‌وسیله گاز تغذیه می‌شود و سرمایش عمدتاً با استفاده از کولرهای گازی که مصرف برق زیادی دارند، شکل می‌گیرد.

به همین دلیل، در فصول سرد تغییر دمای هوا اثر چندانی بر مصرف برق (چه منفی و یا مثبت) نخواهد داشت اما در ماه‌های گرم سال، تغییر دما می‌تواند مصرف برق را تحت تأثیر قرار دهد. ازاین‌رو با روش Expand یا بسط متغیر مجازی، اثر ماه‌های سال بر عرض از مبدأ و شیب رابطه دمای هوا و مصرف برق مورد سنجش قرار گرفته است. پیش از برآورد این الگو، تعداد وقفه‌ها با توجه به کمینه آماره شوارتز [۳۱] تعیین شده است که وقفه ۱ برای p انتخاب شده است. درنهایت با توجه به روشی که در بخش قبل توضیح داده شد، رابطه بلندمدت یا اثر نهائی دمای هوا به تفکیک ماه‌های سال (به ماه‌های میلادی) بر مصرف برق مورد محاسبه قرار گرفت. نتیجه این برآورد در **جدول۲** مشاهده می‌شود.

بر اساس کمینه آماره شوارتز، الگوی ADL(1,0) انتخاب شده است. در معادله زیر عرض از مبدا (α) و ضریب دما (θ) با ۱۱ متغیر مجازی بسط یافته‌اند. عدم وجود این ۱۱ متغیر مجازی به معنی وجود ماه دوازدهم است. به این ترتیب اثر ۱۲ ماه سال بر مصرف برق به‌صورت تفکیک شده محاسبه می‌شود. این اثر به دو بخش جزء ثابت و همچنین تغییر در شیب مصرف تقسیم شده است. آنچه که بعد و عمق مصرف برق را در اثر تغییرات میانگین دما شکل می‌دهد، در ضرایب (θ) برآورد می‌شوند.

$$\Delta Y_t = \alpha_{month} + \rho Y_{t-1} + \theta_{month} X_t \qquad (۳)$$

جهت آزمون و اطمینان از وجود رابطه بلندمدت بین متغیرهای تحقیق آزمون کرانه‌ها[۳۲] انجام شده است. نتیجه این آزمون آماره F را **۳۰/۵۳** به دست آورده است که به این ترتیب فرض عدم وجود رابطه بلندمدت بین متغیرهای تحقیق در سطح خطای ۵ درصد رد می‌گردد.

جدول۲ . اثر تقویمی ماهانه بر شیب مصرف برق بابلسر

ماه میلادی	تغییر شیب مصرف	انحراف معیار	آماره t	P-value

31 Schwartz
32 Bounds Test

نخست	-۰/۰۵	۰/۱۴	-۰/۳۴	۰/۷۳
دوم	-۰/۰۴۸	۰/۱۱	-۰/۴۳	۰/۶۶
سوم	۰/۰۳۴	۰/۱۱	۰/۳۰	۰/۷۵
چهارم	۰/۱۰۶	۰/۱۰۷	۰/۹۹	۰/۳۲
پنجم	۰/۳۷	۰/۱۱	۳/۳۶	۰/۰۰۰۸
ششم	۱/۱۷	۰/۱۷	۶/۶۵	۰
هفتم	۱/۳۶	۰/۱۷	۷/۵۷	۰
هشتم	۱/۵۹	۰/۱۶	۹/۸۷	۰
نهم	۱/۴۶	۰/۱۳	۱۰/۷۵	۰
دهم	۰/۰۴۴	۰/۰۹۱	۰/۴۸	۰/۶۲
یازدهم	-۰/۱۲	۰/۰۸۹	-۱/۳۷	۰/۱۶
دوازدهم	-۰/۰۸۱	۰/۱۱	-۰/۷۱	۰/۴۷

منبع: محاسبات محقق

همان‌طور که در **Reaction of Electricity Consumption to Temperature Changes based on IPCC Scenario: Case Study of Babolsar**

Mani Motameni*,
Associated Professor of Economics, Department of Energy Economics, University of Mazandaran.
Email: m.motameni@umz.ac.ir
ORCID: 0000-0002-4814-3276

Yadollah Yousefi
Associated Professor of Geography, Department of Geography, University of Mazandaran.
Email: m.motameni@umz.ac.ir
ORCID:0000-0002-7628-8093

1-Introduction

در حال انتشار / In Press

The global climate is at a critical juncture, with human emissions propelling us toward a trajectory that could exceed 1.5 degrees Celsius of warming by the early 2030s, as reported by the IPCC in its 2021 assessment. This warming trend has significant implications for energy systems, particularly electricity consumption.

Climate change directly affects electricity demand patterns. As temperatures rise, cooling needs (such as air conditioning) surge, impacting overall energy consumption. Additionally, extreme weather events can disrupt power system infrastructure, affecting reliability and resilience.

2-Methods

This research is an interdisciplinary study in the fields of economics and geography, aimed at demonstrating the impact of climate change on electricity consumption. The data utilized in this study are daily records from the city of Babolsar. Using two radiative scenarios—optimistic and pessimistic—for climate change in the field of geography, the average air temperature of Babolsar in the coming years has been predicted. Accordingly, the average increase in air temperature during the hottest time of the year in Babolsar is projected to be 1.5 degrees Celsius. On the other hand, using the ARDL econometric model, the dependency of air temperature and electricity consumption in Babolsar has been calculated.

3-Results

The initial results of this model indicate that electricity consumption in Babolsar is only dependent on air temperature during the five hottest months of the year, and in other months, temperature fluctuations do not have a significant impact on electricity consumption. It was shown that during the hottest month of the year, for each degree

increase in average air temperature, electricity consumption increases by 1.6 megawatts. In the below table you can find the electricity consumption for every months.

Month	Electricity Consumption Coefficient	Standard Deviation	T Statistics	P-value
1	-0/0۵	0/14	-0/34	0/73
2	-0/048	0/11	-0/43	0/66
3	0/034	0/11	0/30	0/75
4	0/106	0/107	0/99	0/32
5	0/37	0/11	3/36	0/0008
6	1/17	0/17	6/65	0
7	1/3۶	0/17	7/57	0
8	1/59	0/16	9/87	0
9	1/46	0/13	10/75	0
10	0/044	0/091	0/48	0/62
11	-0/12	0/089	-1/37	0/16
12	-0/081	0/11	-0/71	0/47

(In Press) در حال انتشار

4-Conclusions

Therefore, it can be concluded that, with other conditions remaining stable, climate change will lead to a 2.4 megawatt increase in peak electricity consumption in Babolsar.

Funding: There is no funding support
Conflict of Interest: Authors declare no conflict of interest
Authors' Contributions: All authors participated in the conceptualization and writing of the article, approved the content of the article, and agreed on all aspects of the work.

واکنش مصرف برق به تغییرات دما بر اساس سناریوهای اقلیمی: مطالعه موردی شهرستان بابلسر

مانی مؤتمنی
دانشیار گروه اقتصاد انرژی دانشگاه مازندران
Email: m.motameni@umz.ac.ir
ORCID: **0000-0002-4814-3276**
یدالله یوسفی
Email: y.yousefi@umz.ac.ir
دانشیار گروه جغرافیا و برنامه‌ریزی شهری دانشگاه مازندران
ORCID:0000-0002-7628-8093

در حال انتشار (In Press)

چکیده:
این پژوهش یک مطالعه‌ی بین‌رشته‌ای در علوم اقتصاد و جغرافیا است که با هدف نشان دادن اهمیت تغییرات اقلیمی بر مصرف برق نگاشته شده است. داده‌های به‌کار گرفته شده در این تحقیق روزانه و مربوط به شهر بابلسر می‌باشد. با استفاده از دو سناریوی خوش‌بینانه و بدبینانه‌ی تابشی برای تغییرات اقلیمی در رشته‌ی جغرافیا میانگین دمای هوای بابلسر در سال‌های آینده پیش‌بینی شده است. بر این اساس میانگین افزایش دمای هوای بابلسر در گرمترین زمان سال، ۱/۵ درجه افزایش خواهد داشت. از سوی دیگر و بر حسب الگوی‌اقتصادسنجی ARDL وابستگی دمای هوا و مصرف برق در شهر بابلسر محاسبه شده است. نتایج اولیه‌ی این الگو حاکی از آن است که مصرف برق در شهر بابلسر تنها در ۵ ماه گرم سال به دمای هوا وابسته است و در سایر ماه‌ها افزایش یا کاهش دما اثر معناداری بر مصرف برق ندارد. بر این اساس نشان داده شد که در گرمترین ماه سال، به‌ازای هردرجه افزایش میانگین دمای هوا، مصرف برق ۱/۶ مگاوات افزایش می‌یابد. بنابراین می‌توان نتیجه گرفت که با ثبات سایر شرایط، تغییرات اقلیمی موجب افزایش ۲/۴ مگاواتی اوج مصرف برق در شهر بابلسر خواهد شد.

واژگان کلیدی: دما، مصرف برق، تغییر اقلیم، IPCC، بابلسر

۵. مقدمه

شناخت عوامل موثر بر میزان مصرف انرژی نقش مهمی در مدیریت بهینه آن دارد. یکی از وظایف حیاتی در تضمین شبکهٔ برق‌رسانی، تخمین تقاضا و حفظ تراز عرضه با آن است؛ چراکه برخلاف سایر منابع انرژی ذخیرهٔ برق در سطح کلان بسیار گران و تاحدی امکان ناپذیر است. از این رو، پیش‌بینی مصرف برق نقشی کلیدی در مدیریت نیروگاه‌های کشور دارد.

در عموم فرایندهای پیش‌بینی، با استفاده از اطلاعات گذشته و مدلسازی رفتار متغیر، سعی می‌شود تا آیندهٔ متغیر هدف حدس زده شود. در الگوهای پیش‌بینی عوامل مؤثر بر مصرف برق با روش‌های مختلف مدلسازی می‌شود ولی فرض می‌شود که شرایط آب و هوایی در طول زمان ثابت خواهد ماند. برای نمونه متغیرهایی نظیر جمعیت، رشد درآمد سرانه، تغییر الگوی مصرف و نظایر اینها به عنوان عوامل یا فاکتورهای تعیین‌کنندهٔ میانگین مصرف برق منظور می‌شوند و متغیرهای مرتبط با دما تنها تسهیم‌کننده و نوسان‌دهندهٔ میزان تقاضای برق در طول یک‌سال هستند. اما مطالعات جدید در رشته جغرافیا نشان می‌دهد که تغییرات اقلیمی موجب افزایش میانگین دمای هوا خواهد شد. به این ترتیب برای پیش‌بینی تقاضای برق در سال‌های آینده می‌باید به تغییرات اقلیمی نیز توجه نمود.

یکی از دغدغه‌های مدیریت انرژی شناخت میزان تغییرات مصرف برق در آینده برای تأمین بهتر و جلوگیری از ایجاد شرایط غیرقابل کنترل برای آن است. اکنون مشخص شده است که کرهٔ زمین در حال گرم‌تر شدن است و این مهم ممکن است بر مصرف برق در برخی مناطق اثرگذار باشد. اما می‌باید توجه داشت که تغییرات اقلیمی دمای هوای تمامی مناطق کرهٔ زمین را به‌یک شکل تغییر نمی‌دهد. از سوی دیگر، ممکن است که تغییر دما اثر معناداری بر مصرف برق نداشته باشد. بنابراین برای پی بردن به اثر تغییرات اقلیمی بر مصرف برق می‌باید به دو پرسش اصلی پاسخ داد. نخست اینکه آیا تغییر دمای هوا اثر معناداری بر مصرف برق دارد؟ دوم اینکه، تغییرات اقلیمی چه اثری بر میانگین دمای هوا در ماه‌های مختلف سال خواهد داشت؟

در این پژوهش به دو پرسش فوق پاسخ داده می‌شود. منطقهٔ مورد مطالعه در پژوهش حاضر شهرستان بابلسر است. در فصل بعد، ادبیات مرتبط با تحقیق مرور می‌شود. در فصل سوم داده‌ها و روش محاسبات شرح داده می‌شود. در فصل چهارم با استفاده از الگوی اقتصادسنجی تغییرات مصرف برق بر مبنای تغییر دما طی ماه‌های مختلف سال سنجیده می‌شود. در فصل پنجم دمای آینده بابلسر با لحاظ سناریوهای تغییرات اقلیمی IPCC به تفکیک ماه ارائه می‌شود. یافته‌های تحقیق در فصل ششم خلاصه می‌شود.

٦. مرور ادبیات

نقش تغییرات آب و هوایی در رفتارهای اقتصادی پیش از این مورد توجه مطالعات متعددی در رشتهٔ برنامه‌ریزی شهری بوده است. اثر آب و هوا به تفکیک مناطق بر انواع فعالیت‌های اقتصادی در مطالعاتی نظیر والور و *همکاران* (۲۰۰۱) مورد بررسی قرار گرفته است. در این نوع مطالعات تهدیدهایی که از تغییرات دما ناشی می‌شود مورد توجه قرار می‌گیرد. به طور مثال با توجه به نتایج مدل‌سازی تغییرات آب و هوایی، اروپا بخش زیادی از درآمد توریست مرتبط با ورزش اسکی را به‌زودی از دست خواهد داد (دام و *همکاران* a، ۲۰۱۷). در برخی مطالعات به‌صورت خاص به نقش تغییرات اقلیمی بر مصرف انرژی توجه شده است. مندلسون و نیومن (۱۹۹۹)، پیلی سیفولا و *همکاران* (۲۰۱۰)، علی و *همکاران* (۲۰۱۳)، بوتزن و *همکاران* (۲۰۲۱) و آیسیه و *همکاران* (۲۰۲۲) نمونه‌ای از این مطالعات است.

امروزه اثرات پارامترهای آب و هوایی بر مصرف با توجه به تغییرات آب و هوایی وارد مرحله جدیدی شده است و بحث از افزایش دمای بخش‌های مختلف کره زمین مورد توجه بسیاری از پژوهشگران قرار گرفته است. به طور کلی گزارشهای IPCC (۲۰۱۵) بیان کننده تغییرات افزایشی دما در سطح کره زمین به میزان ۰/۶ درجه سانتیگراد در قرن گذشته است.

یکی از نکات جالب این است که تأثیرات مصرف برق و گرمایش جهانی دوسویه است. انتشار گازهای گلخانه‌ای ممکن است با مصرف برق افزایش یابد و سپس خود نیز به

در حال انتشار (In Press)

افزایش دما (گرمایش جهانی) منجر شود، در حالی که افزایش دما نیز بر مصرف برق تأثیر می‌گذارد (لی و چیو، ۲۰۱۱). اقدامات مختلفی برای کاهش اثرات تغییرات آب و هوایی بر زندگی بشر در حال انجام است. بخش عمده‌ای از موضوعات کنفرانس‌های جهانی محیط زیستی به تغییر اقلیم می‌پردازد. مانع اصلی برای اقدامات جهانی آب و هوایی، ناشی از ناتوانی کشورها در توافق بر یک روش منصفانه برای تخصیص بار کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای است. در اغلب کشورها علی‌رغم عدم اطمینان در مورد سناریوهای تغییرات آب و هوایی، تقاضای پیک برق برای گرمایش و سرمایش افزایش می‌یابد (دام و همکاران b، ۲۰۱۷).

برخی بررسی‌ها حاکی از آن است، تغییر در ویژگی‌های دمایی و گرم شدن کره زمین در برخی از مناطق آب و هوایی در دوره سرد سال می‌تواند باعث کاهش مصرف برق و در مقابل در دوره گرم سال باعث افزایش تقاضای مصرف برق شود. بررسی‌ها نشان داد در اروپای مرکزی و شمال اروپا گرم شدن زمین باعث کاهش هزینه‌های مصرف‌کنندگان برق و در جنوب اروپا، موجب افزایش تقاضای الکتریسیته خواهد شد (پیلی سیفولا و همکاران، ۲۰۱۰). با فرض ثابت بودن ساختارهای اقتصادی و جمعیتی و افزایش دمای ۲ درجه سانتی‌گرادی در اروپا بیشترین کاهش نسبی مصرف را نروژ با کاهش بیش از ۵/۲٪ و بعد از آن سوئد، استونی، فنلاند و فرانسه خواهند داشت (دام و همکاران b، ۲۰۱۷). از آنجایی که منبع غالب در بیشتر کشورهای دنیا برای سرمایش انرژی برق است و سوخت‌های فسیلی برای گرمایش مورداستفاده قرار می‌گیرد (اسکلند و میدکسا، ۲۰۱۰)، اثرپذیری برق از افزایش دما و تغییرات دمایی در دوره گرم سال بیشتر است.

(احمد و *همکاران*، ۲۰۱۲) با استفاده از شاخص درجه روز و روش تجزیه وتحلیل رگرسیون چندگانه، تقاضای برق در ایالت نیوساوت ولز (استرالیا) را به‌صورت ماهانه مدل‌سازی کردند. (علی و *همکاران*، ۲۰۱۳) نیز با بررسی ارتباط میان دمای بیشینه و مصرف برق در پاکستان دریافتند، بیشترین ارتباط در فصل تابستان وجود دارد و مدل‌سازی دما نشان داد در جولای سال ۲۰۲۰ بیشترین میزان دما و مصرف برق وجود خواهد داشت.

(In Press) در حال انتشار

۷. داده‌ها و روش پژوهش

داده‌های مورداستفاده در این پژوهش شامل پارامترهای ۱. میانگین دما و ۲. مصرف برق است. داده‌های دمایی به‌صورت روزانه از ایستگاه هواشناسی سینوپتیک بابلسر دریافت شد. دوره زمانی داده‌ها دمایی و مصرف برق از ۱۳۸۹/۱/۱ (۲۱ مارس سال ۲۰۱۰) تا ۱۴۰۰/۸/۵ (۲۷ اکتبر ۲۰۲۱) است. داده‌های مصرف برق نیز از اداره توزیع برق شهرستان بابلسر دریافت شد. داده‌ها به‌صورت روزانه در نرم‌افزار وارد شده است و با توجه به اینکه نرم‌افزارها قابلیت تشخیص ماه‌های میلادی را دارند، به‌ناچار تمامی اطلاعات بر اساس تقویم میلادی تنظیم شده است. در صورت ورود اطلاعات با تقویم شمسی، به‌دلیل تفاوت روزهای موجود در یک ماه بین تقویم شمسی و میلادی، پس از چینش ۱۱ سال داده‌های روزانه، ماه‌های شمسی به‌شکل غیرواقعی جابجا می‌شده‌اند.

برای یافتن کشش تغییر مصرف برق نسبت به تغییر دمای هوا از الگوهای سری‌زمانی اقتصادسنجی استفاده شده است. با توجه به کثیر عوامل موثر بر مصرف برق، از الگوی خودرگرسیونی استفاده می‌شود چراکه فرض بر این است که تمام عواملی که بر مصرف برق دورهٔ حاضر اثر می‌گذارند بر مصرف برق دوره‌های قبل نیز اثرگذار بوده‌اند(راسل و مک‌کینون، ۲۰۲۱). تنها عاملی که به‌صورت جداگانه در الگو وارد می‌شود، تغییرات دمای هوا است. از آنجایی که این متغیر برونزا است، می‌بایست الگوی سری‌زمانی انتخاب شود که قابلیت خودرگرسیونی و وجود متغیر برونزا را داشته باشد. تنها انتخاب ممکن برای چنین شرایطی الگوی ARDL است (پسران، ۲۰۱۵). با توجه به اینکه دمای هوا در الگوی مصرف برق، برون‌زا محسوب می‌شود، روش *خودهمبستگی با وقفه‌های توزیعی* یا همان ARDL یک روش مناسب برای بررسی رابطه سری‌های زمانی خواهد بود. این الگو به‌صورت زیر قابل تصریح است (کوپ، ۲۰۱۳):

$$Y_t = \alpha + \emptyset_1 Y_{t-1} + \cdots + \emptyset_p Y_{t-p} + \beta_0 X_t + \beta_1 X_{t-1} + \cdots + \beta_q X_{t-q} + e_t \quad (۱)$$

متوسط دمای بابلسر با علامت X و میزان مصرف برق با علامت Y مشخص شده است. در این مدل، متغیر وابسته Y، علاوه بر آنکه به وقفه‌های مرتبه p خود وابستگی دارد، به‌اندازه

جاری متغیر توضیحی X و وقفه‌های مرتبه q آن نیز وابسته است. تعداد وقفه‌ها بر اساس کمینه آمارهٔ شوارتز تعیین می‌گردد. رفتار الگو نسبت به متغیرهای مانا و نامانا متفاوت است. به همین دلیل در ابتدا می‌باید نسبت به درجه انباشت متغیرها آگاه باشیم.

برای نشان دادن شرایط دمایی آینده بابلسر از خروجی‌های مدل‌های گردش عمومی جو استفاده شد. مدل‌های گردش عمومی جو، ابزارهایی برای برآورد اثرات بالقوه گرم شدن کره زمین هستند که به میزان زیادی مورداستفاده قرار می‌گیرند. نتایج این مدل‌ها به دلیل شرایط خاص تفکیک‌پذیری مکانی آن‌ها برای استفاده منطقه‌ای نیاز به ریزمقیاس نمایی دارند. تکنیک ریزمقیاس نمایی یک ابزار مفید برای کاهش معضل تبدیل مقیاس‌های جهانی به منطقه‌ای است (گاگنون و همکاران، ۲۰۰۶). نتایج مدل‌سازی‌های آب و هوایی وضعیت متفاوت‌تری را برای مناطقی نظیر جنوب مدیترانه، خاورمیانه و جنوب صحرای آفریقا در بخش‌های مختلف محیطی به‌ویژه آب پیش‌بینی می‌کنند (فیشر و همکاران، ۲۰۰۷). میانگین دمای ایستگاه بابلسر با استفاده از نرم‌افزار SDSM ریزمقیاس نمایی شد. با استفاده از نسخه 4.2.9 این نرم‌افزار سناریوهای گزارش پنجم IPCC که به سناریوهای RCP مشهورند، برای مدل‌سازی وضعیت دمایی در آینده استفاده شد.

برای درک بهتر روابط پیچیده سیستم آب‌وهوا، اکوسیستم‌ها و شرایط و فعالیت‌های انسان، جامعه تحقیقاتی این سناریوها را توسعه داده و مورداستفاده قرار می‌دهند. این سناریوها شرح مفصلی از وضعیت آینده در حوزه‌های کلیدی شرایط اجتماعی، اقتصادی، فنی و محیطی، انتشار گازهای گلخانه‌ای و آلودگی هوا و آب‌وهوا می‌دهد. ترسیم وضعیت آینده در این سناریوها بستگی به واداشت‌های تابشی در اثر تغییر در تعادل بین تابش ورودی و خروجی به جو ناشی از تغییرات در ترکیبات جوی به‌ویژه دی‌اکسید کربن در حالت‌های مختلف دارد (ماس و همکاران، ۲۰۱۰). سناریوهای RCP شامل چند سناریو هستند که توسط IPCC در سال ۲۰۱۴ در ادامه سناریوهای گزارش ویژه انتشار SRES به شکل جایگزین توسعه یافته‌اند. درواقع این جایگزینی قدمی در جهت ارتقای سناریوهای SRES برای مدل‌سازی وضعیت آب و هوایی آینده به شمار می‌آید. سناریوهای RCP دامنه بازی از واداشت تابشی ۲.۶ تا ۸.۵ وات بر مترمربع را در برمی‌گیرند (وارن و ریاحی، ۲۰۱۱).

تفاوت عمده سناریوهای RCP و SRES در این است که اولی خط سیر توازن واداشت تابشی ناشی از افزایش گازهای گلخانه‌ای را تا سال ۲۱۰۰ برحسب وات بر مترمربع مشخص می‌کند، مثلاً در سناریوی RCP۸.۵، توازن واداشت تابشی در سقف جو و در سال ۲۱۰۰ حدود ۸.۵ وات بر مترمربع خواهد بود یعنی تابش ورودی منهای خروجی از جو مثبت ۸.۵ وات بر مترمربع است که این انباشت ۸.۵ وات بر مترمربع در سامانه جو منجر به افزایش دمای کره زمین می‌گردد، اما سناریوهای سری SRES خط سیر غلظت گازهای گلخانه‌ای را مشخص می‌کنند. سناریوهای RCP شامل یک سناریوی گازهای گلخانه‌ای با واداشت حداکثر ۳ وات بر مترمربع، سناریوی متوسط با واداشت ۴.۵ تا ۶ وات بر مترمربع و درنهایت یک سناریوی حد نهایی با واداشت تابشی ۸.۵ وات بر مترمربع است (ریاحی و همکاران، ۲۰۱۱) . مهم‌ترین دغدغه این سناریوها و تفاوت‌های آن‌ها در تفاوت‌های اهداف کاهشی میزان انتشار عناصر آلاینده جوی به‌ویژه گاز دی‌اکسید کربن است. سناریوهای RCP محصول همکاری نوآورانه همکاری میان مدل‌سازان ارزیابی یکپارچه، مدل‌سازان آب‌وهوا، مدل‌سازان اکوسیستم جهانی و کارشناسان انتشار است. محصول تولیدشده مجموعه‌ای جامع از داده‌ها با تفکیک بالای مکانی تا سال ۲۱۰۰ را منجر می‌شود. RCPها یک پیشرفت مهم در تحقیقات آب و هوایی هستند و بنیان بالقوه‌ای برای پژوهش و ارزیابی بیشتر ازجمله کاهش انتشار و تحلیل اثرات هستند.

۸. اثر دمای هوا بر مصرف برق ARDL

پس از سنجش ابتدایی رابطه دو متغیر الگوی خاصی در واکنش مصرف برق به دمای هوا مشاهده شده است. همان‌طور که در
جدول**1** مشاهده می‌شود، هر دو متغیر تحقیق مانا هستند.

جدول1 آزمون مانایی متغیرهای تحقیق

متغیر	نماد	آماره PP	آماره ADF	P-value
دمای هوا	X	-۵/۲۶	-۳/۱۳	۰/۰۱

(In Press) در حال انتشار

مصرف برق	Y	-۱۰/۹۱	-۴/۳۳	۰/۰۰

منبع: محاسبات تحقیق

به دلیل مانا بودن متغیرها می‌توان ضرایب رگرسیونی را با روش حداقل مربعات معمولی برآورد نمود. مطابق با کوپ به‌منظور پرهیز از مشکل هم خطی ضرایب، الگوی زیر برآورد می‌شوند:

$$\Delta Y_t = \alpha + \rho Y_{t-1} + \gamma_1 \Delta Y_{t-1} + \cdots + \gamma_{p-1} \Delta Y_{t-p+1} + \theta X_t + \omega_1 \Delta X_{t-1} + \cdots + \omega_q \Delta X_{t-q+1} + e_t \quad (۲)$$

با توجه به اینکه متغیر وابسته تحقیق مانا است مقدار ضریب ρ صفر نخواهد بود. در الگوی فوق اثر لحظه‌ای یا کوتاه‌مدت متغیر توضیحی (که در این تحقیق دمای هوا است) بر متغیر وابسته (که در این تحقیق مصرف برق است) لحاظ شده است. اما در کنار این ضرایب می‌توان اثر *بلندمدت* یا اثر کلی دمای هوا بر مصرف برق را نیز مورد محاسبه قرار داد. اثر بلندمدت یا نهائی متغیر X بر متغیر Y برابر با $-\frac{\theta}{\rho}$ است. به عبارت دیگر، تنها ضرایب Y_{t-1} و X_t در بازنویسی مدل ARDL بر رفتار بلندمدت مؤثر هستند. بنابراین به‌سادگی می‌توان ضریب فزاینده یا اثر بلندمدت را محاسبه نمود. لازم به‌ذکر است که به‌دلیل مانا بودن متغیرها ارتباط دو متغیر مبتنی بر هم‌انباشتگی و تصحیح خطا نخواهد بود.

ارتباط مصرف برق به دمای هوا در ماه‌های مختلف اشکال گوناگونی می‌یابد. برای نمونه اگر در بهمن ماه، دمای هوا افزایش یابد هیچ‌گونه اثر معناداری بر مصرف برق مشاهده نمی‌گردد. اما وقتی در مرداد، دمای هوا افزایش یابد؛ مصرف انرژی به‌شدت بیشتر می‌شود. دلیل این نوع رابطه واضح است. سیستم گرمایش در بابلسر به‌وسیله گاز تغذیه می‌شود و سرمایش عمدتاً با استفاده از کولرهای گازی که مصرف برق زیادی دارند، شکل می‌گیرد. به همین دلیل، در فصول سرد تغییر دمای هوا اثر چندانی بر مصرف برق (چه منفی و یا مثبت) نخواهد داشت اما در ماه‌های گرم سال، تغییر دما می‌تواند مصرف برق را تحت تأثیر قرار دهد. ازاین‌رو با روش Expand یا بسط متغیر مجازی، اثر ماه‌های سال بر عرض از مبدأ و شیب رابطه دمای هوا و مصرف برق مورد سنجش قرار گرفته است. پیش از برآورد این

الگو، تعداد وقفه‌ها با توجه به کمینه آماره شوارتز تعیین شده است که وقفه ۱ برای p انتخاب شده است. درنهایت با توجه به روشی که در بخش قبل توضیح داده شد، رابطه بلندمدت یا اثر نهائی دمای هوا به تفکیک ماه‌های سال (به ماه‌های میلادی) بر مصرف برق مورد محاسبه قرار گرفت. نتیجه این برآورد در **جدول۲** مشاهده می‌شود.

بر اساس کمینه آماره شوارتز، الگوی ADL(1,0) انتخاب شده است. در معادله زیر عرض از مبدا (α) و ضریب دما (θ) با ۱۱ متغیر مجازی بسط یافته‌اند. عدم وجود این ۱۱ متغیر مجازی به معنی وجود ماه دوازدهم است. به این ترتیب اثر ۱۲ ماه سال بر مصرف برق به‌صورت تفکیک شده محاسبه می‌شود. این اثر به دو بخش جزء ثابت و همچنین تغییر در شیب مصرف تقسیم شده است. آنچه که بعد و عمق مصرف برق را در اثر تغییرات میانگین دما شکل می‌دهد، در ضرایب (θ) برآورد می‌شوند.

$$\Delta Y_t = \alpha_{month} + \rho Y_{t-1} + \theta_{month} X_t \qquad (۳)$$

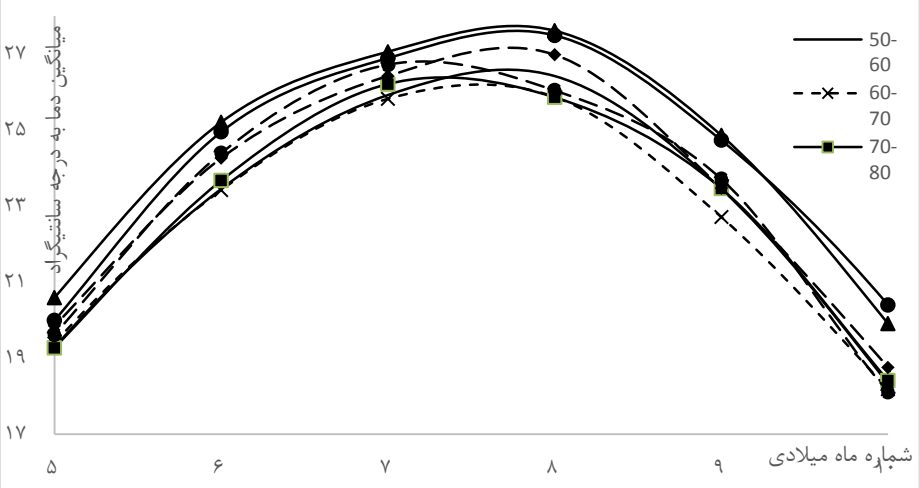
جهت آزمون و اطمینان از وجود رابطه بلندمدت بین متغیرهای تحقیق آزمون کرانه‌ها انجام شده است. نتیجه این آزمون آماره F را **۳۰/۵۳** به دست آورده است که به این ترتیب فرض عدم وجود رابطه بلندمدت بین متغیرهای تحقیق در سطح خطای ۵ درصد رد می‌گردد.

جدول۲ مشاهده می‌شود، دمای هوای شهر بابلسر در ماه‌های ۱۰، ۱۱، ۱۲، ۱، ۲، ۳، ۴ میلادی (که تقریباً دوره زمانی آبان تا اردیبهشت را در برمی‌گیرد) اثر معناداری بر مصرف برق ندارد. اما در ماه‌های گرم سال، ارتباط مثبت و معناداری بین دمای هوا و مصرف برق شکل می‌گیرد که اوج این اثر در ماه ۸ میلادی (تقریباً مردادماه) می‌باشد. در ۵ ماه از سال (خرداد تا مهر) افزایش میانگین دمای روزانه هوا موجب افزایش مصرف برق می‌گردد. این اثر در ماه ۵ میلادی (۰/۳۷)، در ماه ۶ میلادی (۱/۱۷)، در ماه ۷ میلادی (۱/۳۵)، در ماه ۸ میلادی (۱/۶) و در ماه ۹ میلادی (۱/۴۶) می‌باشد. به این ترتیب اگر در ماه ۸ میلادی یا مرداد ماه، دمای هوای بابلسر به‌طور متوسط ۱ درجه افزایش یابد، مصرف برق در این شهر، ۱/۶ مگاوات بیشتر خواهد شد. این نتیجه با توجه به تغییرات اقلیمی می‌تواند تصویری از نیاز به برق در سال‌های آینده مهیا کند.

در حال انتشار (In Press)

۵. شبیه‌سازی دما بر اساس سناریوی تغییرات اقلیمی

در مناطق مختلف کره زمین و به شکل مشخص‌تر در شهرها افزایش دما امری اجتناب‌ناپذیر است. دمای شهرها هم متأثر از گرم شدن جهانی و هم در اثر بزرگ‌تر شدن جزیره حرارتی شهرها به‌واسطه افزایش جمعیت شهرهاست (ایستیاک[۳۳] و خان[۳۴]، ۲۰۱۸). به‌طور مثال افزایش میانگین ۰/۶۳ درجه سانتی‌گراد در آتن و ۰/۵۷ درجه سانتی‌گراد در تسالونیکی[۳۵] در یونان، در هر دهه (پاپاکوستاس[۳۶] و اسلیینی[۳۷]، ۲۰۱۷) میزان قابل‌توجهی است که نشان از شرایط نامطلوب دمایی در آینده دارد. همانند این دوشهر و بسیاری از شهرها در جهان، داده‌های میانگین دمای بابلسر از ۱۹۵۰ تا حال دارای روندی افزایشی است (**Error! Reference source not found.**).



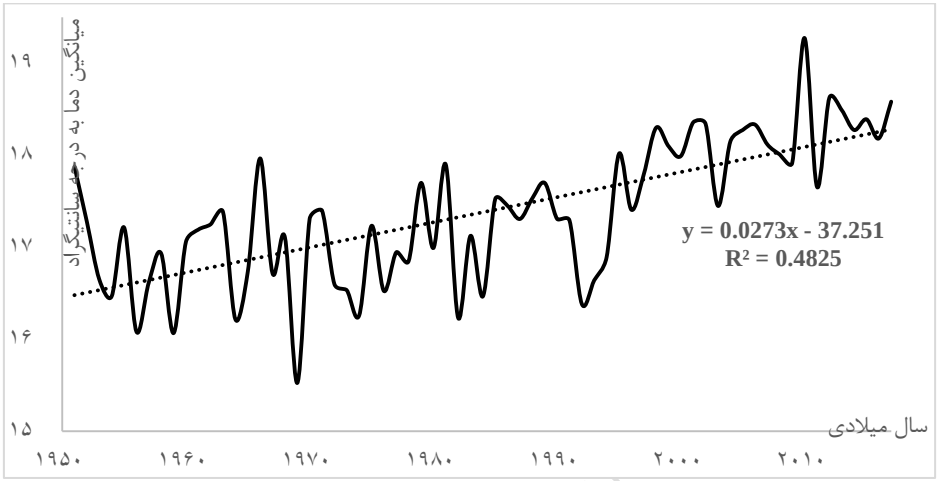
شکل ۱ نمودار تغییرات میانگین دمای ایستگاه بابلسر از سال ۱۹۵۰ تا ۲۰۲۱ به‌صورت دهه‌ای

منبع: محاسبات تحقیق

---

[33] Istiaque
[34] Khan
[35] Thessaloniki
[36] Papakostas
[37] Slini

با توجه به بررسی انجام‌گرفته ایستگاه هواشناسی بابلسر افزایشی در حدود ۰/۳۲ درجه سانتی‌گراد دمای میانگین سالانه را در هر دهه نشان داده است (شکل ۲).



شکل ۲. تغییرات میانگین دمای ایستگاه بابلسر از سال ۱۹۶۱ تا ۲۰۲۱

منبع: محاسبات تحقیق

برای مدل‌سازی شرایط آینده نیز بعد از کالیبره کردن داده‌های ایستگاهی با داده‌های مدل در نرم‌افزار SDSM مشخص شد، داده‌های دمای سطح زمین NCEP[۳۸]-NCAR[۳۹] دارای بیشترین میزان همبستگی (۰/۹۵۷) با داده‌های میانگین دمای بابلسر است. ازآنجایی که این داده‌ها برای پارامتریزه کردن داده‌های ایستگاهی برای همه ماه‌ها مناسب بودند از آن‌ها استفاده شد. در مرحله بعدی وضعیت دمایی بابلسر با استفاده از سه مدل RCP مورداستفاده در SDSM برای آینده مدل‌سازی شدند. با توجه به مدل‌سازی دما در آینده با توجه به سناریوهای RCP شرایط میانگین دما با توجه به سه سناریو نشان‌دهنده افزایش دما در همه ماه‌های دوره گرم سال است(**جدول۳**).

جدول۳ نتایج شبیه‌سازی دما با توجه به سناریوهای گزارش پنجم IPCC

ماه	۲۰۱۵-۱۹۵۱	۲۰۲۱-۲۰۱۰	RCP26	RCP45	RCP85
May	۱۹/۵	۲۰/۵	۲۱/۱	۲۱/۲	۲۱/۵

[38] National Centers for Environmental Prediction
[39] National Center for Atmospheric Research

June	۲۳/۹	۲۵/۲	۲۶/۲	۲۶/۴	۲۶/۹
July	۲۶/۱	۲۷/۱	۲۸/۳	۲۸/۴	۲۹/۱
August	۲۶/۳	۲۷/۶	۲۸/۲	۲۸/۴	۲۹/۲
September	۲۳/۵	۲۴/۸	۲۴/۲	۲۴/۵	۲۵/۲
Year	۱۷/۳	۱۷/۷	۱۷/۶	۱۷/۸	۱۸/۳

منبع: محاسبات تحقیق بر اساس خروجی نرم‌افزار SDSM

با توجه به نتایج به‌دست‌آمده بیشترین افزایش در میانگین دمای ماه‌های ژوئن تا آگوست با سناریوی RCP ۸.۵ ایجاد خواهد شد. میزان افزایش به‌دست‌آمده بیشتر از ۲ درجه سانتی‌گراد نسبت به میانگین داده‌های دمایی ۲۰۱۰-۱۹۵۱ است. با بررسی وضعیت دمایی از سال ۲۰۱۰-۲۰۲۱ مشخص شد روند افزایش دمایی در این دوره از روند بررسی‌شده از سال ۱۹۵۱ تا حال شیب افزایش تندتری به خود گرفته است. بیشترین تغییرات در دما نیز با توجه به نتایج این سناریو در ماه‌های ژوئن و ژولای رخ خواهد داد. نتایج حاصل حاکی از آن است در همه سناریوهای بررسی‌شده افزایش دما در ایستگاه بابلسر وجود خواهد داشت.

٦. یافته‌های پژوهش

هدف اصلی در این مطالعه پیش‌بینی میزان مصرف برق با توجه به تغییرات اقلیمی است. به این منظور در این پژوهش یک فعالیت بین‌رشته‌ای صورت گرفته است. ابتدا رابطه بین میانگین دما و میزان مصرف برق با استفاده از روش اقتصادسنجی ARDL محاسبه شد. در مرحله بعد، بر اساس یکی از روش‌های مورداستفاده در آب و هواشناسی، میانگین دمای شهر بابلسر در سال‌های آتی بر مبنای تغییرات اقلیمی شبیه‌سازی و در پایان، از ترکیب این دو یافته، میزان برق موردنیاز پیش‌بینی شده است. اطلاعات مورداستفاده پژوهش، داده‌های روزانه دما و مصرف برق طی سال‌های ۱۳۸۶ تا ۱۴۰۰ شهر بابلسر است.

یافته‌های این مطالعه نشان می‌دهد که تغییر دما تنها در ماه‌های گرم سال بر میزان مصرف برق بابلسر اثرگذار است. به نظر می‌رسد که عمومیت در استفاده از سامانه‌های گرمایشی

(In Press) در حال انتشار

گازی و سامانه‌های سرمایشی برقی عامل این رابطه باشد. بیشترین ارتباط بین دما و مصرف برق در ماه ۸ میلادی وجود دارد. با مدل‌سازی شرایط دمایی توسط سناریوهای IPCC مشخص شد میانگین دما در همه‌ی ماه‌ها به‌ویژه در ماه‌های گرم سال بیشتر خواهد شد. در سناریو خوش‌بینانه RCP2.5 که کمترین واداشت تابشی ناشی از انتشار گازهای گلخانه‌ای ماه‌های گرم سال را در نظر می‌گیرد، ۱ درجه افزایش دما ایجاد خواهد شد. بر این اساس ۱/۶ مگاوات مصرف برق در زمان اوج، افزایش خواهد یافت. با در نظر گرفتن سناریو بدبینانه (RCP 8.5) که به‌طور معمول حداقل ۲ درجه افزایش دما را پیش‌بینی می‌نماید، نیاز به ظرفیت اضافی برق به ۳/۲ مگاوات خواهد رسید. چنانچه سیاست‌های کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای در کشورهای جهان به‌ویژه کشورهای صنعتی لحاظ نشود و واداشت تابشی به میزان ۸.۵ وات بر مترمربع باشد درآینده به دلیل افزایش دما میزان مصرف انرژی برق به میزان قابل‌توجهی در ماه‌های ژوئن تا سپتامبر افزایش خواهد یافت.

سرمایه‌گذاری در زیرساخت‌ها صنعت برق بر مبنای نیاز مصرفی در زمان اوج صورت می‌گیرد. زمان اوج مصرف برق در ایران طی سال‌های گذشته در ماه ۷ یا ۸ میلادی قرار داشته است. این مطالعه نشان می‌دهد که نمی‌توان تنها با تکیه به اطلاعات مصرف برق در سال‌های گذشته، میزان برق مصرفی در سال‌های آینده را پیش‌بینی نمود چرا که عامل تغییرات اقلیمی موجب تغییر سیستماتیک دما در ماه‌های گرم می‌شود. به این ترتیب، یک روند سیستماتیک ناشی از تغییرات اقلیمی در مصرف برق ماه‌های گرم سال وجود خواهد داشت. این مطالعه برای شهر بابلسر انجام شده است اما همین روش می‌تواند برای سایر مناطق ایران نیز به‌کار گرفته شود. از تجمیع یافته‌ها برای تمامی مناطق می‌توان ظرفیت تولید موردنیاز کشور را محاسبه نمود.

تأمین مالی: نویسندگان اعلام کردند که هیچ حمایت مالی برای این پژوهش وجود ندارد.

تضاد منافع: نویسندگان اعلام کردند که هیچ تضاد منافع برای این پژوهش وجود ندارد.

مشارکت نویسندگان: همه نویسندگان در مفهوم‌سازی و نگارش مقاله مشارکت داشتند و محتوای مقاله را تأیید کردند و در مورد تمام جنبه‌های کار توافق داشتند.

در حال انتشار (In Press)

منابع

Ahmed, T., K.M. Muttaqi, and A.P. Agalgaonkar. (2012). Climate Change Impacts on Electricity Demand in the State of New South Wales, Australia. *Applied Energy* 98: 376–83.

Aisyah, S. , Simaremare, A. A., Adytia, D., Aditya, I. A. & Alamsyahet A. (2022). Exploratory Weather Data Analysis for Electricity Load Forecasting Using SVM and GRNN, Case Study in Bali, Indonesia. *Energies* 15(10): 1–17.

Muhammad A., Iqbal M. J. and Sharif M.(2013). Relationship between Extreme Temperature and Electricity Demand in Pakistan. *International Journal of Energy and Environmental Engineering* 4(1): 1–7.

Damm, A., Köberl, J., Prettenthaler, F., Rogler, N., & Töglhofer, C. (2017). Impacts of+ 2 C global warming on electricity demand in Europe. *Climate Services*, *7*, 12-30. http://dx.doi.org/10.1016/j.cliser.2016.07.001.

Damm, A., Greuell, W., Landgren, O., & Prettenthaler, F. (2017). Impacts of+ 2 C global warming on winter tourism demand in Europe. *Climate Services*, *7*, 31-46. http://dx.doi.org/10.1016/j.cliser.2016.07.003.

Davidson, R., MacKinnon, J. G., & Chambers, M. J. (1994). Estimation and Inference in Econometrics. In *Economic Journal-Including Annual Conference Paper Supplement* (Vol. 104, No. 424, pp. 703-704). London.

Eskeland, G. S., & Mideksa, T. K. (2010). Electricity demand in a changing climate. *Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change*, *15*, 877-897.

Fischer, G., Tubiello, F. N., Van Velthuizen, H., & Wiberg, D. A. (2007). Climate change impacts on irrigation water requirements: Effects of mitigation, 1990–2080. *Technological Forecasting and Social Change*, *74*(7), 1083-1107.

Gagnon, S., Singh, B., Rousselle, J., & Roy, L. (2005). An application of the statistical downscaling model (SDSM) to simulate climatic data for streamflow modelling in Québec. *Canadian Water Resources Journal*, *30*(4), 297-314.

IPCC. 2015. *Climate Change 2014 Synthesis Report*.

Intergovernmental Panel on Climate Change.
Istiaque, A., & Khan, S. I. (2018). Impact of ambient temperature on electricity demand of Dhaka city of Bangladesh. *Energy and Power Engineering*, *10*(7), 319-331.doi:10.4236/epe.2018.107020.
Koop, G. (2013). *Analysis of economic data*. John Wiley & Sons.
Lee, C. C., & Chiu, Y. B. (2011). Electricity demand elasticities and temperature: Evidence from panel smooth transition regression with instrumental variable approach. *Energy Economics*, *33*(5), 896-902.
Mendelsohn, R., & Neumann, J. E. (Eds.). (2004). *The impact of climate change on the United States economy*. Cambridge University Press.
Moss, R. H., Edmonds, J. A., Hibbard, K. A., Manning, M. R., Rose, S. K., Van Vuuren, D. P., ... & Wilbanks, T. J. (2010). The next generation of scenarios for climate change research and assessment. *Nature*, *463*(7282), 747-756. http://dx.doi.org/10.1038/nature08823.
Papakostas, K. T., & Slini, T. (2017). Effects of climate change on the energy required for the treatment of ventilation fresh air in HVAC systems the case of Athens and Thessaloniki. *Procedia environmental sciences*, *38*, 852-859.
Pesaran, M. H. (2015). *Time series and panel data econometrics*. Oxford University Press.
Pilli-Sihvola, K., Aatola, P., Ollikainen, M., & Tuomenvirta, H. (2010). Climate change and electricity consumption—Witnessing increasing or decreasing use and costs?. *Energy policy*, *38*(5), 2409-2419.
Valor, E., Meneu, V., & Caselles, V. (2001). Daily air temperature and electricity load in Spain. *Journal of applied Meteorology*, *40*(8), 1413-1421.
Van Vuuren, D. P., & Riahi, K. (2011). The relationship between short-term emissions and long-term concentration targets: A letter. *Climatic Change*, *104*(3), 793-801.