https://erd.um.ac.ir

Research Article

Vol. 29, No. 2, 2023, p. 1-29

Estimation of Iran's seasonal GDP using night light images

V. Fouladgar[1], M. Feizi[2*]

1- Ph.D Student of Economics, Ferdowsi University of Mashhad, Iran
2- Department of Economics, Ferdowsi University of Mashhad, Iran

(*- Corresponding Author Email: feizi@um.ac.ir)
https://doi.org/10.22067/erd.2023.77085.1127

Received: 2022/06/11 Revised: 2022/09/28 Accepted: 2023/01/23 Available Online: 2023/01/23	**How to cite this article:** Fouladgar, V., & Feizi, M. (2023). Estimation of Iran's seasonal GDP using night light images. *Economics and Regional Development Journal*, *29*(2): 1-29. (in Persian with English abstract). https://doi.org/10.22067/erd.2023.77085.1127

1- INTRODUCTION

The existence of accurate and sequenced economic statistics and information can be seen as a prerequisite for any economic conditions assessment for countries. However, for several reasons, economic data in many developing countries, including Iran, are produced with low accuracy or low sequence. The weakness in the variety and quality of economic data is an important obstacle to socio-economic research and understanding the country's conditions correctly for policymakers.

Sending satellites and imaging the earth's surface at different hours and publishing the information of these satellites in recent years, in addition to providing a platform for geographical and military investigations, has also given researchers in

the fields of human sciences the opportunity to use this free, non-manipulated and universal data in different countries and times, for their research (Chen & Nordhaus, 2019)

This research uses the new generation of monthly night light data (VIIRS) to estimate Iran's seasonal GDP for the first time. What distinguishes the current research from previous studies is evaluating the explanatory power of nighttime light images for shorter periods (seasons) in Iran (including night light, GDP and population) and using new data set (VIIRS vs. DMSP).

2- THEORETICAL FRAMEWORK

The use of seasonal periods, especially before the development of information technology and the development of real-time data-gathering methods, facilitates researchers and policymakers to monitor changes in economic indicators and reduces data collection and publication costs (Bell and Hilmer, 2012).

The review of internal research using nighttime light images indicates that few studies have been conducted. Most of these studies were focused on geographical and remote sensing applications, only Akhbari et al. (2017) used the old version of NTL (DMSP) for economic studies in Iran.

In foreign studies, researchers at first focused on the feasibility of using the mentioned data to represent the number of economic activities at the country level (Chen and Nordhaus (2011), Henderson et al. (2012), Shi et al. (2014)) and after those studies focused on using these data in different countries and for new purposes such as inequality analysis, integration with other data, etc. (Chen and Nordhaus (2015), Beyer et al. (2018). Then and after the release of VIIRS as a new generation for satellite images, many studies were conducted to compare the efficiency and accuracy of these data with the previous generation in different countries. After that, this information was used for more detailed analysis: in short periods, at more

minor geographic scales, and for analyzing social and political shocks. Some of these studies can be found in Chen and Nordhaus (2019), Wang et al. (2019), Sun et al. (2020), Farzangan and Hayo (2018), Farzangan and Fischer (2021).

3- METHODOLOGY

In this research, the night light satellite images were extracted from the University of Mines database. After refining the GeoTiff files and cutting them according to Iran's map shapefiles (using QGIS software), the amount of emission during 37 seasons (from spring 2012 to spring 2020) has been calculated. In the next step, this variable is used as an independent variable in 4 linear regression models. Its ability to estimate seasonal GDP has been investigated by combining population data and virtual variables for seasons. In the last step, to evaluate the predictive power of the selected model, GDP data for three seasons after the training data have been predicted and the error rate of this prediction has been calculated.

4- RESULTS & DISCUSSION

According to the results of this paper, R^2 for a Univariate model with night light data for estimating seasonal GDP in Iran (without oil) is 0.828; if this model improves with the seasonal population variable and seasons dummy variable, its explanatory power can increase up to 0.945.

پژوهشگاه علوم انسانی و مطالعات فرهنگی
پرتال جامع علوم انسانی

Also, it was observed that the selected model, which includes night light, seasonal population information and virtual variables of the seasons, can estimate the dependent variable (seasonal GDP) with less than 2% error in three seasons after the mentioned period.

5- CONCLUSIONS & SUGGESTIONS

Considering the delay in national economic indicators publishment (such as seasonal GDP), besides the complications and costs of calculation for this index, this paper shows that nighttime light (NTL) can be used as a good proxy for calculating the GDP in Iran. Also, the combination of this variable with two more variables (population and the dummy variables for seasons) can increase the accuracy of the estimates (R2=0.945) and estimate the dependent variable (seasonal GDP) with less than 2 percent error for the next three seasons.

Finally, it is suggested that future studies focus on estimating the amount of economic activity at more minor geographical levels (provincial and city), using these data and evaluating the efficiency of these data for estimating other economic indicators.

Key Words: Nightlight; Iran; GDP; Satellite Images, Macroeconomic Indexes.

پژوهشگاه علوم انسانی و مطالعات فرهنگی
پرتال جامع علوم انسانی

اقتصاد و توسعه منطقه‌ای، دوره جدید، سال بیست و نهم، شمارهٔ ۲، پیاپی ۲۴، پاییز و زمستان ۱۴۰۱
https://erd.um.ac.ir

برآورد تولید ناخالص داخلی فصلی ایران با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای نور شب

وحید فولادگر
دانشجوی دکتری اقتصاد دانشگاه فردوسی مشهد
مهدی فیضی[1]
استادیار دانشگاه فردوسی مشهد، گروه اقتصاد

نوع مقاله: پژوهشی
https://doi.org/10.22067/erd.2023.77085.1127

چکیده

با وجود اهمیت و ضرورت وجود آمار دقیق و با توالی مناسب برای سیاست‌گذاری اقتصادی، داده‌های اقتصادی در بسیاری از کشورهای درحال‌توسعه ازجمله ایران به دلایل متعدد با دقتی پایین و توالی کم تولید می‌شوند. در سال‌های اخیر، استفاده از تصاویر ماهواره‌ای، مخصوصاً تصاویر نور شب، با دقت بالا و توالی زیاد به‌عنوان یکی از منابع مهم اطلاعاتی برای برآورد میزان فعالیت اقتصادی در کشورهای جهان مورداستفاده قرار گرفته است. در این مقاله، برای نخستین بار، نسل جدید داده‌های ماهانه نور شب برای ایران گردآوری، پردازش و پالایش شدند و از این داده‌ها برای برآورد تولید ناخالص داخلی در ایران در مقاطع فصلی استفاده شده است. نتایج نشان داد که این داده‌ها، برآورد بسیار خوبی از تولید ناخالص داخلی ایران در سطح ملی ارائه می‌دهد و استفاده از آن‌ها در کنار برآورد جمعیت کشور و در نظر گرفتن تغییرات فصلی، می‌تواند قابلیت پیش‌بینی مدل را افزایش دهد.

کلیدواژه‌ها: نور شب، تصاویر ماهواره‌ای، تولید ناخالص داخلی ایران، شاخص‌های اقتصاد کلان.

---

[1] نویسنده مسئول: feizi@um.ac.ir
تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۰۳/۲۱ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۱/۱۱/۰۳
صفحات: ۲۹-۱

۱) مقدمه

وجود آمار و اطلاعات اقتصادی دقیق و با توالی مناسب را می‌توان پیش‌نیاز هرگونه اظهارنظر در خصوص شرایط اقتصادی یک کشور دانست. چنین اطلاعاتی امکان بررسی و مقایسه تغییرات شاخص‌های اقتصادی در هر منطقه و هر مقطع زمانی را برای پژوهشگران میسر می‌نماید. بااین‌وجود، از سویی به دلایل متعدد (ازجمله هزینه سنگین گردآوری داده‌ها، نبود دسترسی مناسب به مناطق مختلف، ملاحظات امنیتی و سیاسی، تغییرات نهادی در روند گردآوری و گزارش داده‌ها، تغییر روش‌های آماری و خطاهای رایج در نمونه‌گیری و گردآوری اطلاعات) داده‌های اقتصادی در بسیاری از کشورهای درحال‌توسعه ازجمله ایران با دقتی پایین و توالی کم تولید می‌شوند. پایین بودن تنوع و کیفیت داده‌های اقتصادی نه‌تنها مانع مهمی در مسیر پژوهش‌های اقتصادی- اجتماعی شناخته می‌شود، بلکه یکی از موانع اصلی فهم صحیح از شرایط کشور برای سیاست‌گذاران است و همین مسئله می‌تواند موجب تصمیم‌گیری‌های نادرست یا بی‌اطلاعی از آثار کوتاه‌مدت و بلندمدت سیاست‌ها و قوانین یا موقعیت‌های حساس و اثرگذار کشور شود.

ارسال ماهواره‌های فضایی و تصویربرداری از سطح زمین در ساعات مختلف و انتشار اطلاعات این ماهواره‌ها در سال‌های اخیر، علاوه بر فراهم کردن بستری برای بررسی‌های جغرافیایی و نظامی، به پژوهشگران حوزه‌های علوم انسانی نیز این امکان را داده است تا با توجه به عدم دست‌کاری این داده‌ها و دسترسی رایگان و فراگیر به آن‌ها در کشورها و زمان‌های مختلف، از این اطلاعات در پژوهش‌های خود استفاده کنند (Chen & Nordhause,2019). مطالعات پیشین با استفاده از نسخه‌های قبلی تصاویر ماهواره‌ای ازجمله نسخه «برنامه ماهواره هواشناسی دفاعی- سیستم خوانش خطی عملیاتی[1]» که طی سال‌های ۱۹۹۲ تا ۲۰۱۳ در دسترس بود[2]، نشان می‌دهد که می‌توان از داده‌های نور شب برای بررسی تولید ناخالص داخلی به‌صورت سری زمانی و همچنین مقطعی استفاده نمود، ولی به‌کارگیری این داده‌ها برای تحلیل در حالت سری زمانی، توضیح‌دهندگی مناسبی ندارد (Chen & Nordhause,2015).

از زمان انتشار عمومی داده‌های فضایی، دانشمندان سعی کرده‌اند، این داده‌ها را برای سنجش متغیرهای مختلف در تحلیل‌های خود به‌کارگیرند. اولین تلاش‌های رسمی برای استفاده از تصاویر ماهواره‌ای در حوزه اقتصاد را می‌توان مربوط به سال ۲۰۱۱ دانست. در پژوهش‌های اولیه، با توجه به اینکه تنها داده‌های

---

[1] Defense Meteorological Satellite Program - Operational Linescan System (DMSP-OLS)

[2] داده‌های برنامه ماهواره هواشناسی دفاعی به واسطه اینکه به صورت سالانه و با اصلاحات به نسبت زیادی منتشر می‌شد، هنوز هم در تحقیقات دانشگاهی کاربرد دارد ولی از آنجا که این پروژه از سال ۲۰۱۳ متوقف شده است، عملاً کار کردن با آن مزیت کمتری پیدا می‌کند.

سالانه نور شب از نسخه برنامه ماهواره هواشناسی دفاعی- سیستم خوانش خطی عملیاتی موجود بوده، برآوردها به‌صورت سالانه و بعضاً مقایسه بین کشورهای مختلف صورت می‌گرفته، ولی با روی کار آمدن پروژه‌های جدید ماهواره‌ای «سیستم مشترک ماهواره‌ای قطبی[1]» و انتشار داده‌های ماهانه و حتی روزانه نور شب در قالب پروژه «مجموعه تصویربرداری رادیومتر مادون‌قرمز مرئی[2]» به دلیل دقت بیشتر در اندازه‌گیری و همچنین توالی زمانی بیشتری که دارد، این اطلاعات توجه بیشتری را به خود جلب کرد و از همین رو پژوهش‌های بیشتری با استفاده از این داده‌ها صورت گرفت. دو مزیت مهم دیگر داده‌های نور شب با این سنسورهای جدید، ارزان بودن و دسترسی تقریباً لحظه‌ای به آن‌هاست.

با ارسال ماهواره‌های نسل جدید و جمع‌آوری داده‌ها با امکانات و مدل‌های نوین و در دسترس قرارگرفتن نسخه جدید داده‌های نور شب به نام مجموعه تصویربرداری رادیومتر مادون‌قرمز مرئی، امکان تازه‌ای برای پژوهشگران دانشگاهی در زمینه تحلیل فضای اقتصادی و حتی اجتماعی کشورها به وجود آمده است. در این خصوص در سطح دنیا مطالعات گسترده‌ای صورت گرفته، ولی متأسفانه به دلیل عدم آشنایی پژوهشگران ایرانی با این داده‌ها و نحوه کار کردن با آن‌ها، در فضای اقتصادی ایران هنوز مطالعه‌ای بر این اساس انجام نشده است.

در این پژوهش، برای نخستین بار از نسل جدید داده‌های ماهانه نور شب برای برآورد تولید ناخالص داخلی ایران در ایران استفاده می‌شود. آنچه پژوهش حاضر را از مطالعات خارجی پیشین متمایز می‌کند، ارزیابی قدرت توضیح دهندگی تصاویر نور شب با استفاده از داده‌های ایران (شامل اطلاعات نور شب، تولید ناخالص داخلی و جمعیت) است و وجه تمایز این مطالعه با معدود مطالعات فارسی شامل موارد ذیل است:

- استفاده از داده‌های نسخه اخیر نور شب (VIIRS) به جای نسخه قبلی (DMPS) در اقتصاد ایران که امکان بهره‌گیری برای سال‌های آتی را نشان می‌دهد.
- به روز بودن اطلاعات (شامل داده‌های سال‌های ۱۳۹۳ تا ۱۴۰۰)
- تعداد مشاهدات بیشتر (۳۶ مشاهده به جای ۲۲ مشاهده) که ضرایب آماری را قابل تفسیر می‌کند.

پژوهشگاه علوم انسانی و مطالعات فرهنگی
پرتال جامع علوم انسانی

[1] Joint Polar Satellite System (JPSS)
[2] Visible Infrared Imaging Radiometer Suite (VIIRS)

- انجام برآورد تولید ناخالص داخلی در مقاطع فصلی به جای مقاطع سالانه که قابلیت استفاده از این داده‌ها در بازه‌های کوتاه‌مدت را نشان می‌دهد.
- تلفیق داده‌های نور شب با برآوردهای فصلی جمعیت و در نظر گرفتن متغیر مجازی برای فصول مختلف.

نتایج برآوردهای این تحقیق نشان می‌دهد که داده‌های ماهانه نور شب مخصوصاً با تلفیق متغیرهای جمعیت و فصل، برآورد بسیار خوبی از تولید ناخالص داخلی ایران (بدون نفت) در سطح کشور ارائه می‌دهد و می‌تواند به‌عنوان تقریبی قابل‌قبول برای برآورد این شاخص استفاده شود. در ادامه ابتدا مروری بر پیشینه پژوهش انجام می‌شود و سپس شیوه گردآوری داده‌های نور شب و نتایج اولیه برآوردها ارائه می‌گردد.

۲) پیشینه پژوهش

همان‌گونه که در مقدمه اشاره شد، در سطح جهانی مطالعات متعددی در خصوص کاربرد نور شب برای برآورد شاخص‌های کلان اقتصادی به‌ویژه در کشورهای درحال‌توسعه یا کشورهای دارای نظام آماری ضعیف صورت گرفته و البته استفاده از تصاویر ماهواره‌ای و بخصوص نور شب در ایران نیز طی سال‌های اخیر موردتوجه برخی پژوهشگران قرار داشته است. به‌صورت کلی می‌توان هدف اصلی از این مطالعات را امکان‌سنجی استفاده از این شاخص به‌عنوان نماینده‌ای[1] از میزان فعالیت اقتصادی در سطح کشور و توانایی آن برای برآورد تغییرات کوتاه‌مدت در تولید ناخالص داخلی دانست. در ادامه تعدادی از پژوهش‌های داخلی و خارجی در این حوزه موردبررسی قرار گرفته است.

استفاده از داده‌های فصلی:

جمع‌آوری، تولید و استفاده از داده‌ها به‌صورت فصلی به‌ویژه در حوزه اقتصاد به دلیل فوائد گسترده آن سال‌هاست که در دنیا موردتوجه محققان و تصمیم گیران قرار گرفته است. استفاده از مقاطع زمانی فصلی به‌ویژه تا پیش از گسترش فناوری اطلاعات و توسعه روش‌های جمع‌آوری لحظه‌ای داده[2] اولاً رصد تغییرات شاخص‌ها و متغیرهای اقتصادی را برای محققان و سیاست‌گذاران تسهیل می‌کرد و ثانیاً استفاده از مقاطع زمانی فصلی، ضمن اینکه هزینه کمتری برای جمع‌آوری و انتشار بر مراکز آماری تحمیل می‌نمود،

[1] Proxy
[2] Real-time data gathering

نوسانات کوتاه‌مدت و خطاهای اندازه‌گیری در داده‌های ماهانه را نیز به همراه نداشت (Bell & Hillmer, 2012). بااین‌حال در سال‌های اخیر و با استفاده از فناوری‌های نوین و سامانه‌های برخط، هزینه و خطای جمع‌آوری داده‌های ماهانه نیز روزبه‌روز کاهش‌یافته به‌نحوی‌که اکنون در بسیاری از کشورها محققان برای بررسی روندها و تحلیل تغییرات در شاخص‌ها از اطلاعات ماهانه، هفتگی و حتی روزانه استفاده می‌نمایند.

در این زمینه برنداستراپ و همکاران (۲۰۰۴) با بررسی ادبیات مربوط به استفاده از فصل‌بندی داده‌ها، توسعه روش‌ها و مدل‌های مبتنی بر تفکیک فصول را یک روند مثبت در بررسی‌های اقتصادی ارزیابی می‌نمایند. بااین‌حال در نتایج پژوهش خود بیان می‌کنند که لحاظ کردن فصول در مدل‌ها اگر بدون در نظر گرفتن ملاحظات نظری و بنیادین صورت گیرد، ممکن است موجب بروز برخی خطاها در برآورد شود یا اطلاعات مفید را از مدل حذف نماید.

از سوی دیگر استفاده از داده‌های فصلی این امکان را به محققان می‌دهد که برخی نوسانات در شاخص‌ها را که به‌موجب تغییر فصل ایجاد می‌شوند، با استفاده از متغیرهای مجازی بسنجند و ضمن بررسی اثر فصل بر متغیرهای موردمطالعه، دقت برآوردهای خود را نیز افزایش دهد. استفاده از این داده‌ها در برآورد تولید ناخالص داخلی عمدتاً به دلیل وجود دو فصل تابستان و زمستان که موجب تغییر در رفتار فعالان اقتصادی می‌شود، می‌تواند نقش مؤثری در افزایش دقت برآوردها داشته باشد. زولتا (۲۰۰۸) در خصوص تأثیر آب‌وهوا بر میزان تولید ناخالص داخلی و سرمایه‌گذاری و رشد بلندمدت کشورها با بررسی ارتباط مثبت بین قدر مطلق عرض جغرافیایی و تولید سرانه کشورها بیان می‌کند کشورهایی که فاصله بیشتری با خط استوا دارند، به دلیل وجود نوسانات شدیدتر آب‌وهوا و تجربه کردن زمستان‌های سخت‌تر، تمایل بیشتری نیز به پس‌انداز دارند و همین مسئله این کشورها را به بستر مناسب‌تری برای توسعه تولیدات سرمایه بر تبدیل کرده و موجب رشد اقتصادی و تولید سرانه بالاتر در این کشورها شده است. به‌این‌ترتیب یکی از آثار بلندمدت اقتصادی تغییرات فصلی را می‌توان تأثیر بر رفتار پس‌انداز و سرمایه‌گذاری در بین آحاد جامعه دانست که در کشورهایی با فاصله بیشتر از خط استوا، به‌مرورزمان به یک رفتار نهادینه تبدیل شده است. همچنین عزیزخانی و همکاران (۲۰۱۹) با بررسی فعالیت بخش‌های مختلف اقتصادی ازجمله بخش خدمات و ساختمان در فصل زمستان به این نتیجه رسیده‌اند که در این فصل میزان فعالیت این بخش‌ها نسبت به فصول گرم سال تفاوت ملموسی دارد و همچنین تعداد افراد در جستجوی کار در فصل زمستان در سال‌های مختلف با تعداد این افراد در سایر فصول به‌صورت معناداری متفاوت بوده است.

تا پیش از توسعه فناوری اطلاعات و گسترش استفاده از پایگاه‌های داده در بخش‌ها و سازمان‌های مختلف که موجب تسهیل در فرآیند جمع‌آوری داده شده است، داده‌های اقتصادی به‌ویژه آمار تولید ناخالص داخلی در ایران صرفاً در مقاطع سالانه منتشر می‌شد و محققان برای بررسی نوسانات کوتاه‌مدت در شاخص‌ها یا دستیابی به تعداد داده‌های بیشتر به‌منظور استفاده در مدل‌های اقتصادسنجی مجبور به «فصلی کردن[1]» داده‌ها بودند که هرچند این روش ادبیات گسترده‌ای در مطالعات اقتصادی را به خود اختصاص داده است لکن از دقت داده‌ها می‌کاهد. در این زمینه نصر اصفهانی و همکاران (۲۰۰۵) به دلیل نبود داده‌های فصلی در زمان انجام پژوهش خود مجبور به فصلی کردن داده‌های سالانه با استفاده از کلمان-فیلتر[2] و روش لیسمن و ساندر[3] و به‌کارگیری این اطلاعات برای برآورد متغیرهای مورد نظر خود شده‌اند. در سال‌های اخیر و با گسترش روش‌های نوین و استفاده از انواع سامانه‌ها در بخش‌های مختلف اقتصادی و تقویت نظام آماری کشور، انتشار داده‌های فصلی و بعضاً ماهانه برای برخی متغیرهای اقتصادی فراهم شده و این مسئله امکان بررسی دقیق‌تر مؤلفه‌های اقتصادی در ایران را نیز فراهم نموده است.

بااین‌وجود به دلیل گستردگی کمتر سامانه‌ها و نیاز به توسعه روش‌های اندازه‌گیری نوین، هنوز در ایران دسترسی به داده‌های ماهانه با دقت و کیفیت قابل‌قبول میسر نیست و به همین دلیل هنوز بهره‌گیری از اطلاعات فصلی که برای بسیاری از شاخص‌های اقتصادی ازجمله تولید ناخالص داخلی تهیه می‌شود، در بررسی تغییرات کوتاه‌مدت و بازخورد گیری برای اصلاح سیاست‌های اقتصادی نقش مؤثری دارد.

در این پژوهش اولاً به علت بازه کوتاه داده‌های موجود نور شب (از سال ۲۰۱۲ تا کنون) و عدم امکان استفاده از داده‌های سالانه برای برآورد رگرسیون در این فاصله زمانی و ثانیاً به‌منظور استفاده از یکی از ویژگی‌های اصلی داده‌های نور شب یعنی وجود داده در مقاطع زمانی کوتاه‌مدت (ماهانه) از داده‌های فصلی مربوط به تولید ناخالص داخلی کشور استفاده شده است.

کاربرد داده‌های نور شب در برآوردهای اقتصادی:

بررسی تحقیقات داخلی در زمینه استفاده از تصاویر ماهواره‌ای نور شب حاکی از آن است که معدود مطالعات صورت گرفته با استفاده از این داده‌ها در سال‌های قبل ازجمله مطالعات رضایی راد و رفیعیان

---

[1] Seasonalization
[2] Kalman-Filter
[3] Lisman & Sander

(۲۰۱۷) و حسینی و همکاران (۲۰۱۶) معطوف به کاربردهای جغرافیایی و سنجش‌ازدور در این زمینه بوده و تا سال ۱۳۹۹ هیچ پژوهش داخلی با استفاده از این داده‌ها در حوزه اقتصاد وجود نداشته است و پس‌ازآن نیز تنها در یک مطالعه و آن هم با استفاده از داده‌های نسخه قدیمی (DMSP) تحقیقاتی در حوزه اقتصاد ایران صورت گرفته که در ادامه به آن پرداخته شده است.

اخباری و همکاران (۲۰۱۹) با استفاده از داده‌های سالانه نور شب نسخه DMSP مربوط به سال‌های ۱۳۷۱ تا ۱۳۹۳ و تلفیق این داده‌ها با میزان مصرف برق در کل کشور میزان توضیح دهندگی این متغیرها را برای برآورد تولید ناخالص داخلی سالانه و تولید سرانه کل کشور با به‌کارگیری ۱۰ مدل بررسی کرده‌اند. آن‌ها در این پژوهش ابتدا مانایی متغیرها را مورد ارزیابی قرار دادند و پس از مشخص شدن نامانا بودن متغیرهای موردبررسی، ترکیب آن‌ها را با استفاده از آزمون هم‌جمعی در مدل‌های خود به کار گرفته‌اند و نتیجه گرفتند که استفاده از داده‌های نور شب DMSP در مقاطع سالانه به‌تنهایی ضریب تعیینی بین ۰.۸۲ تا ۰.۸۵ را برای برآورد تولید ناخالص داخلی و تولید سرانه به دست می‌دهد و تلفیق این داده‌ها با داده‌های مصرف برق (به‌صورت مطلق یا سرانه) می‌تواند ضریب تعیین مدل‌ها را تا ۰.۹۷ نیز افزایش دهد. آن‌ها در ادامه به بررسی ارتباط بین توزیع نور شب و ضریب جینی در استان‌ها پرداخته‌اند و کواریانس بین روند تغییرات ضریب جینی و توزیع نور شب را برای استان‌های مختلف محاسبه نموده‌اند. نتایج این بررسی نشان می‌دهد که در اغلب استان‌ها این دو متغیر با یکدیگر ارتباط مستقیم دارند و بر این اساس می‌توان در محاسبه ضریب جینی سال‌هایی که اطلاعات آماری برای استان‌ها وجود ندارد، از توزیع نور شب استفاده کرد.

روند کلی مطالعات خارجی در زمینه استفاده از داده‌های نور شب به‌این‌ترتیب بوده است که در مراحل اولیه، تمرکز پژوهشگران بر امکان‌سنجی استفاده از داده‌های مذکور برای نمایندگی از میزان فعالیت‌های اقتصادی در کشورها بوده و پس از مشخص شدن توانایی استفاده از آن‌ها برای این منظور، پژوهشگران مطالعات خود را معطوف به استفاده از این داده‌ها در کشورهای مختلف و برای مقاصد جدید (مثل تحلیل نابرابری، تلفیق با داده‌های دیگر و ...) کرده‌اند. در ادامه و با انتشار داده‌های نسل جدید تصاویر ماهواره‌ای (VIIRS) ابتدا پژوهش‌هایی مبنی بر مقایسه کارایی و دقت این داده‌ها با داده‌های نسل قبلی در کشورهای مختلف صورت گرفته و پس‌ازآن از این اطلاعات برای تحلیل‌های دقیق‌تر، در بازه‌های کوتاه‌مدت و در سطوح کوچک‌تر جغرافیایی و بررسی شوک‌های سیاسی اجتماعی استفاده شده است.

چن و نوردهاوس (۲۰۱۱) با استفاده از داده‌های نسخه قدیمی نور شب، برنامه ماهواره هواشناسی دفاعی- سیستم خوانش خطی عملیاتی (DMSP)، همبستگی این داده‌ها را با تولید ناخالص داخلی با استفاده از یک

مدل خطی و برای 5 گروه مختلف کشور بررسی کردند و نشان دادند اطلاعات نور شب برای کشورهایی که داده‌های آماری کم کیفیتی دارند، می‌تواند نماینده خوبی برای محاسبه تولید ناخالص داخلی باشد. بااین‌حال این داده‌ها به دلیل محدودیت‌ها و خطاهایی که دارند، برای برآورد تولید در کشورهای توسعه‌یافته مفید نیستند و همچنین در مناطق کم‌تراکم نیز به علت تابش نور نزدیک به صفر، برآورد مناسبی از وضع اقتصادی به دست نمی‌دهند.

هندرسون و همکاران (۲۰۱۲) نیز ساختاری آماری برای استفاده از داده‌های نور شب ایجاد کردند و تلفیق این داده‌ها با اطلاعات رسمی را روشی مناسب برای برآورد رشد درآمد می‌دانند. مزیت دیگری که آن‌ها برای استفاده از نور شب بیان می‌کنند، امکان استفاده از آن برای بررسی فعالیت اقتصادی در سطوح ملی، منطقه‌ای و بخشی (درون یک کشور) است. همچنین آن‌ها در پژوهش خود میزان وزن بهینه اطلاعات ماهواره‌ای را در مقایسه با اطلاعات رسمی، در کشورهایی با کیفیت آمار متفاوت، مقایسه کردند و به این نتیجه رسیدند که برای برآورد دقیق شاخص‌های اقتصادی، در کشورهای دارای کیفیت آماری پایین‌تر، باید وزن بیشتری به داده‌های نور شب داده شود.

شی و همکاران (۲۰۱۴) بر پایه مطالعات پیشین در این حوزه و پس از انتشار نسل جدید داده‌های نور شب، در مطالعه خود با استفاده از نسل جدید این داده‌ها، به مقایسه تفاوت‌های نسخه قدیم و جدید نور شب پرداختند و به این نتیجه رسیدند که برآوردها با استفاده از داده‌های جدید مجموعه تصویربرداری رادیومتر مادون‌قرمز مرئی با میانگین خطای ۱۵.۴ درصدی متغیر تولید ناخالص داخلی استان‌ها در چین را پیش‌بینی می‌کند و با میانگین خطای ۲۰.۸ درصدی توانایی پیش‌بینی میزان مصرف برق استان‌های این کشور را دارد. همچنین آن‌ها نشان دادند که میزان دقت داده‌های نسل جدید برای پیش‌بینی مصرف برق و تولید ناخالص داخلی در سطوح منطقه‌ای بهتر از خروجی داده‌های نسل قدیم بوده و برآورد تولید ناخالص داخلی با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای نور شب در بخش‌های کوچک‌تر از استان (مثل شهرستان) توضیح‌دهندگی بسیار بالایی (در حد ۰.۹ و بالاتر) دارد.

بئر و همکاران (۲۰۱۸) با توجه به موجود بودن اطلاعات نور شب برای همه کشورها و توالی زمانی مناسب این داده‌ها به‌ویژه در نسخه جدید (VIIRS) که امکان بررسی‌های کوتاه‌مدت را نیز فراهم می‌کند، ابتدا میزان توضیح‌دهندگی و دقت داده‌های سالانه و ماهانه را با روش Henderson et al., (2012) مقایسه کردند و نشان دادند که داده‌های ماهانه (که در نسخه دوم از تصاویر نور شب در دسترس است) نتایج بهتری ارائه می‌دهند. آن‌ها سپس با این فرض که نورشب توانایی کمی در برآورد تولیدات کشاورزی

دارد، بخش کشاورزی را از تولید ناخالص داخلی جدا کردند و فعالیت اقتصادی در بخش «غیر کشاورزی» تولید ناخالص داخلی را با اطلاعات نور شب و «بخش کشاورزی» را با اطلاعات جمعیت روستایی برآورد نمودند و به‌این‌ترتیب دقت برآوردهای خود را افزایش دادند. وی و همکارانش درنهایت، با استفاده از روش فوق‌الذکر به بررسی اثرات سه شوک مختلف در سه کشور نپال (زلزله سال ۲۰۱۵)، هند (تعویض اسکناس در سال ۲۰۱۶) و افغانستان (درگیری‌های سال ۲۰۱۵) پرداختند و میزان کاهش تولید ناخالص داخلی این سه کشور را در مقطع کوتاه‌مدت بعد از شوک‌ها با استفاده از نور شب بررسی کردند.

چن و نوردهاوس (۲۰۱۵) با تمرکز بر داده‌های جدید نور شب، سه مزیت اصلی سنسورهای جدید مجموعه تصویربرداری رادیومتر مادون‌قرمز مرئی را وضوح[1] بالاتر، عدم وجود اشباع نوری و امکان ثبت نورهای ضعیف‌تر می‌دانند. آن‌ها معتقدند این سه ویژگی باعث می‌شود تا داده‌های نسل جدید از دقت و کیفیت بالاتری برخوردار باشند و به همین علت کارایی بالاتری در برآوردهای اقتصادی داشته باشند. آن‌ها همچنین معتقدند وجود داده‌های با توالی ماهانه، می‌تواند زمینه مناسبی را برای بررسی‌های دقیق‌تر اقتصادی و جمعیتی فراهم کند. درمجموع، آن‌ها با بررسی‌های آماری به این نتیجه رسیده‌اند که سنسورهای جدید توانایی توضیح‌دهندگی بیشتری نسبت به سنسورهای قبلی برای برآورد جمعیت و تولید در هر سلول از شبکه[2] دارد.

بخش دیگری از مطالعات این حوزه مربوط به بررسی قابلیت تفکیک تصاویر نورشب در مناطق کوچک‌تر جغرافیایی و انجام برآوردهای اقتصادی با استفاده از آن‌ها می‌شود. در این زمینه ژائو و همکاران (۲۰۱۷) در پژوهش خود به‌منظور تهیه نقشه پیکسلی از تولید ناخالص داخلی در جنوب چین برای سال ۲۰۱۴ و بررسی قابلیت‌های تصاویر نور شب (VIIRS) در برآورد تولید ناخالص ملی در سطح ملی و استانی، به این نتیجه رسیدند که داده‌های نور شب اصلاح‌شده[3] در سطح پیکسل (۵۰۰ متر ×۵۰۰ متر) برای جنوب چین، توضیح‌دهندگی بهتری نسبت به داده‌های اصلی نور شب دارند. آن‌ها برای اصلاح داده‌های نور شب الگوریتمی طراحی کرده‌اند که ابتدا نقاط تاریک احتمالی را با استفاده از مقایسه تصاویر نسخه VIIRS و DMSP شناسایی می‌کند و پس‌ازآن نتیجه مقایسه مذکور را با تصاویر گوگل برای متمایز کردن مناطق شهری تطابق می‌دهد و به‌این‌ترتیب نقاط تاریک واقعی در تصاویر نور شب مشخص می‌گردد و می‌توان از

---

[1] Resolution
[2] Grid Cell Production (GCP)
[3] Corrected

تصاویر جدید که نقاط تاریک از آن‌ها حذف شده‌اند برای تهیه نقشه پیکسلی مورد نظر استفاده نمود. آن‌ها همچنین در این پژوهش بیان می‌کنند که داده‌های نور شب برای برآورد شاخص‌های اقتصادی در سطح شهرستان، بیشتر از استان کارایی خواهند داشت؛ به‌طوری‌که در برآورد آن‌ها ضریب تعیین برای محاسبه تولید ناخالص داخلی در سطح استانی ۰.۸۲ و در سطح شهرستانی ۰.۹۲ به دست آمده است.

چن و نوردهاس (۲۰۱۹) قابلیت‌های استفاده از این داده‌ها در سطوح کوچک‌تر جغرافیایی را ارزیابی کرده‌اند. آن‌ها با بررسی داده‌های مجموعه تصویربرداری رادیومتر مادون‌قرمز مرئی در سطح آمریکا به این نتیجه رسیدند که این داده‌ها برای محاسبه تولید ناخالص داخلی در کلان‌شهرها، به دلیل فعالیت‌های غیر کشاورزی، توضیح‌دهندگی بهتری نسبت به شهرهای کوچک‌تر دارند و به همین دلیل پیشنهاد می‌کنند برای دستیابی به برآورد دقیق‌تر، باید بخش کشاورزی و روستایی را از بخش غیر کشاورزی جدا کرد. آن‌ها همچنین نشان دادند که عملکرد داده‌های نورشب برای بررسی مقطعی[1] بهتر از سری زمانی[2] است.

وانگ و همکاران (۲۰۱۹) از مزیت تفکیک‌پذیری این داده‌ها در مناطق جغرافیایی کوچک استفاده کرده‌اند و با اشاره به فقر شدید در کشور اوگاندا و نیاز به اطلاعات اقتصادی برای برنامه‌های کاهش فقر، با استفاده از داده‌های نور شب و به‌کارگیری مدل تقویت‌شده تراکم نور[3] شامل اطلاعات نور شب، اطلاعات جمعیتی روستاهای اوگاندا و اطلاعات تولیدات کشاورزی که به‌صورت پراکنده گردآوری شده است، تولید ناخالص داخلی را در سطح منطقه‌ای[4] بررسی و میزان عدم توازن در فعالیت‌های اقتصادی بخش‌های مختلف جغرافیایی را در اوگاندا به‌صورت یک شبکه استخراج کردند.

سان و همکاران (۲۰۲۰) در مطالعه خود به دنبال راهی برای افزایش دقت استفاده از داده‌های نور شب بودند و به همین دلیل با به‌کارگیری داده‌های تصاویر ماهواره‌ای مجموعه تصویربرداری رادیومتر مادون‌قرمز مرئی و پوشش زمین در سطح ملی اقدام به برآورد تولید ناخالص داخلی با بهره‌گیری از روش یادگیری عمیق[5] کردند. آن‌ها با بررسی مقالات پیشین در این زمینه بیان می‌کنند که استفاده از نور شب برای برآوردهای اقتصادی در سطوح کوچک جغرافیایی به‌تنهایی کافی نیست و این داده‌ها در سری‌های زمانی، نا اطمینانی‌هایی به همراه دارند. به همین دلیل آن‌ها با تلفیق داده‌های نور شب مجموعه

---

[1] Cross Section
[2] Time series
[3] Enhanced Light Intensity Model (ELIM)
[4] Sub-national level
[5] Deep Learning

تصویربرداری رادیومتر مادون‌قرمز مرئی و تابش‌سنج طیفی تصویربرداری با وضوح متوسط[1] (MODIS) و با استفاده از روش توسعه‌یافته مبتنی بر شبکه عصبی پیچیده، دقت برآوردهای تولید ناخالص داخلی سالانه در سطح ملی طی سال‌های ۲۰۱۲ تا ۲۰۱۵ را به ۰.۸۱ تا ۰.۸۳ رساندند و با توجه به قدرت پیش‌بینی این مدل، استفاده از آن را در دیگر کشورها ممکن می‌دانند.

فرزانگان و هایو (۲۰۱۸) در پژوهشی با عنوان تحریم و اقتصاد سایه، این داده‌ها را برای شناسایی بخش‌های غیررسمی اقتصاد بکار برده‌اند و با استفاده از داده‌های نور شب DMSP در فاصله سال‌های ۲۰۰۱ تا ۲۰۱۳ برای برآورد بخش غیررسمی اقتصاد ایران و مقایسه آن با آمارهای رسمی منتشر شده در خصوص تولید ناخالص داخلی به بررسی آثار تحریم‌های اقتصادی آمریکا و اتحادیه اروپا در مقطع زمانی ۲۰۱۲-۲۰۱۳ پرداخته‌اند. به این منظور آن‌ها از تفاضل رشد نور شب و تولید ناخالص داخلی به‌عنوان متغیر وابسته و تفاضل مرتبه اول نرخ بیکاری، نرخ تورم، سهم کشاورزی در ارزش‌افزوده و سهم صنعت در ارزش‌افزوده و با بهره‌گیری از مدل‌های مختلف داده‌های تابلویی نشان داده‌اند که تحریم‌های سال ۲۰۱۲-۲۰۱۳ بیش از اینکه بر نرخ رشد تولید ناخالص داخلی ایران اثر منفی داشته باشند، اقتصاد سایه و فعالیت‌های اقتصادی غیررسمی را تحت تأثیر قرار داده‌اند.

فرزانگان و فیشر (۲۰۲۱) با استفاده از تلفیق داده‌های سالانه نور شب نسخه قدیمی (DMSP) و مقادیر همگون شده نسخه جدید (VIIRS) در بازه زمانی سال‌های ۱۹۹۲ تا ۲۰۱۸ به بررسی اثر رفع تحریم‌های بین‌المللی بعد از انعقاد توافقنامه برنامه جامع اقدام مشترک[2] (سال‌های ۲۰۱۶ و ۲۰۱۷) بر بخش غیررسمی اقتصاد ایران پرداخته‌اند. آن‌ها با به‌کارگیری ۷ مدل مختلف اثر رفع تحریم‌ها را موردمطالعه قرار داده و به این نتیجه رسیده‌اند که رشد بخش غیررسمی (اقتصاد سایه) سریع‌تر از بخش رسمی اقتصاد ایران بوده و همچنین بخش غیررسمی از حساسیت و انعطاف بیشتری نسبت به بخش رسمی برخوردار است و به همین جهت با اعمال تحریم یا رفع تحریم، این بخش زودتر از بخش رسمی واکنش نشان می‌دهد. بر همین اساس آن‌ها بیان می‌کنند که رفع تحریم‌ها می‌تواند برای متقاضیان کار که همزمان در بخش رسمی و غیررسمی به دنبال کار می‌گردند، گشایشی وجود آورد.

پژوهشگاه علوم انسانی و مطالعات فرهنگی
پرتال جامع علوم انسانی

[1] Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer (MODIS)
[2] Joint Comprehensive Plan of Action (JCPOA)

۳) گردآوری، پردازش و پالایش داده‌های نور شب برای ایران

نسل قدیمی تصاویر ماهواره‌ای نور شب به‌واسطه پروژه هواشناسی ماهواره‌ای نیروی هوایی آمریکا از سال ۱۹۹۲ تا ۲۰۱۳ تهیه و پردازش می‌شد. تصاویر حاصل از این پروژه پس از یک پردازش اولیه به زمین ارسال می‌شد و بعدازآن با تجمیع و پالایش این تصاویر، مقادیر نور شب در سطح جهانی و در مقاطع سالانه، به‌صورت تصاویر هوایی شطرنجی[1] در اختیار پژوهش‌گران قرار می‌گرفت که در نرم‌افزارهای سنجش‌ازدور[2] (ازجمله نرم‌افزار ArcGIS و QGIS) مورداستفاده است. این تصاویر شامل ماتریسی از سلول‌ها (پیکسل‌ها[3]) است که هر سلول آن میزان نور متصاعد شده در شب در محدوده مربعی به ضلع سه کیلومتر را نشان می‌دهد. با کنار هم قرار گرفتن این سلول‌ها، تصویری از میزان انتشار نور شب در سطح کره زمین قابل مشاهده است.

در نسخه برنامه ماهواره هواشناسی دفاعی- سیستم خوانش خطی عملیاتی، مقدار انتشار نور در هر یک از این پیکسل‌ها با عددی در بازه ۰ تا ۶۳ نشان داده می‌شود که عدد صفر کمترین میزان انتشار نور و عدد ۶۳ بیشترین میزان انتشار نور را نشان می‌دهد (Henderson et al.,2011). با وجود کاربرد بسیار زیاد و حجم قابل‌توجه مقالات علمی ازجمله در رشته اقتصاد که با این داده‌ها نوشته شده است، یکی از مهم‌ترین اشکالات موجود در این مجموعه داده را می‌توان محدودیت بازه نمایش میزان انتشار نور دانست. به‌طوری‌که در بسیاری از کلان‌شهرهای جهان که تجمع و تراکم نوربالا است، تمامی نقاط با مقدار ۶۳ نمایش داده می‌شوند. این مسئله امکان تمایز میزان فعالیت در بخش‌های مختلف این شهرها و همچنین مقایسه میزان انتشار نور شهرهای مختلف با هم را منتفی می‌کند (Chen & Nordhaus,2015).

نسل جدید داده‌های نور شب که به‌واسطه پروژه سازمان ملی پدیده‌های اقیانوسی و فضایی آمریکا[4] و توسط گروه مشاهدات زمینی این مجموعه[5] و با استفاده از فناوری جدید و دقت و امکان کالیبره شدن بیشتر از نسخه‌های قبلی منتشر می‌شود، «مجموعه تصویربرداری رادیومتر مادون‌قرمز مرئی» نام دارد که پس از ارسال اولین ماهواره در ۲۸ اکتبر سال ۲۰۱۱ به‌صورت مرتب گردآوری و منتشر می‌شود. در حال حاضر ماهواره‌های پروژه مجموعه تصویربرداری رادیومتر مادون‌قرمز مرئی هرروز دو بار کل کره زمین را در

---

[1] Raster
[2] Remote Sensing
[3] Pixel
[4] National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA)
[5] Earth Observation Group (EOG)

حدود ساعت ۱:۳۰ بامداد و ۱:۳۰ بعدازظهر به‌وقت محلی رصد می‌کنند[1] و داده‌های استخراج شده از این ماهواره‌ها پس از پردازش و میانگین‌گیری، از چند مرکز قابل دریافت است. در هریک از این مراکز داده‌ها را با فیلترها و توالی متفاوتی منتشر می‌کنند. برخی از مراکز داده‌ها را به‌صورت سالانه، ماهانه یا حتی روزانه در اختیار پژوهش‌گران قرار می‌دهند. همچنین میزان اصلاحات داده و تصاویر ماهواره‌ای بر اساس میزان صاف بودن آسمان شب، آلایندگی نورهای قطبی، شعله‌های آتش‌سوزی یا نور ناشی از سوختن گازهای مازاد در پالایشگاه‌ها در هر یک از این نسخه‌ها متفاوت است. دراین‌بین بر اساس بررسی‌های صورت گرفته، داده‌های منتشر شده به‌صورت ماهانه توسط گروه مشاهده زمین دانشگاه ماینز کلرادو[2] از کیفیت و توالی مناسبی برای انجام پژوهش‌های علمی برخوردار بود و به همین جهت در پژوهش حاضر، از این داده‌ها استفاده شد.

نسخه جدید تصاویر نور شب مجموعه تصویربرداری رادیومتر مادون‌قرمز مرئی علاوه بر اینکه از فناوری دقیق‌تری برای تصویربرداری از سطح زمین استفاده می‌کند، نسبت به نسخه قبلی از دقت بالاتری هم برخوردار است. هر پیکسل از تصاویر برداشت شده در نسخه قدیمی برنامه ماهواره هواشناسی دفاعی- سیستم خوانش خطی عملیاتی معادل با مربعی به ابعاد 5 کیلومتر بر روی زمین بود که این ابعاد در گوشه‌های تصویر بیشتر هم می‌شد ولی در نسخه جدید، هر پیکسل از تصویر معادل با یک فضای ۷۴۲ در ۷۴۲ متری است که در گوشه‌ها نیز به‌صورت ثابت و با همین ابعاد برداشت می‌شود (تصویر ۱). به‌این‌ترتیب تصاویر پردازش شده در نسخه جدید دقتی ۴۵ برابر تصاویر نسخه قبلی دارند. همچنین ازآنجاکه در این نسخه از داده‌ها از پهنه گسترده‌تری برای برداشت میزان انتشار نور استفاده می‌کنند و محدودیت مقداری نسخه قدیمی (۰ تا ۶۳) را ندارند، دچار اشباع نور نمی‌شوند و در دریافت نورهای ضعیف نیز به‌مراتب قوی‌تر از نسخه قدیمی عمل می‌کنند (Chen & Nordhaus,2015).

پژوهشگاه علوم انسانی و مطالعات فرهنگی
پرتال جامع علوم انسانی

[1] https://earthdata.nasa.gov/earth-observation-data/near-real-time/firms/viirs-i-band-active-fire-data
[2] Colorado School of Mines, Earth Observation Group

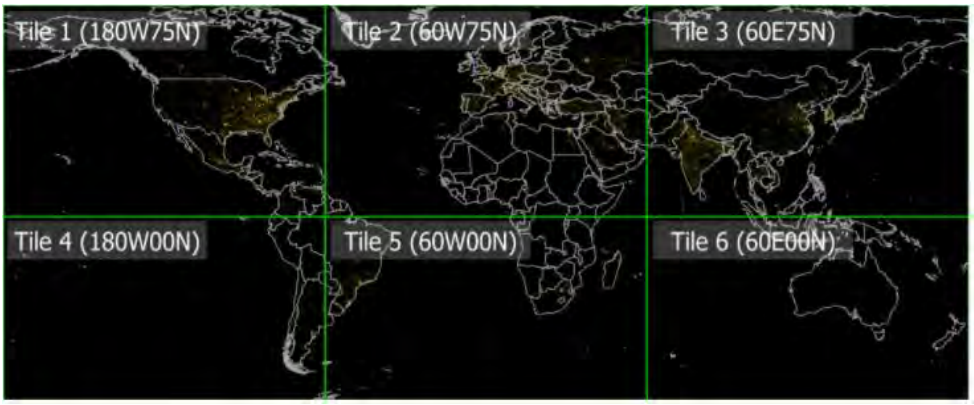
شکل ۱: انطباق تصاویر ماهواره‌ای نور شب و روز
(در این تصویر هر مربع یک پیکسل نورانی از تصویر نور شب در شهر تهران را نشان می‌دهد)

داده‌های ماهانه موجود در گروه مشاهده زمین دانشگاه ماینز کلرادو، در دو نسخه اول vcm و دوم vcmsl با دو روش پالایش منتشر می‌شود. نسخه اول شامل اصلاحات نورهای مزاحم[1] نمی‌شود و اطلاعات آن از آوریل سال ۲۰۱۲ در دسترس است، در مناطق قطبی پوشش کمتری دارد ولی نسبت به نسخه دوم که شامل اصلاحات نورهای مزاحم است، کیفیت بالاتری دارد. اطلاعات نسخه دوم از ابتدای سال ۲۰۱۴ در دسترس است و به همین جهت نسبت به نسخه اول ۲۰ ماه داده‌های کمتری در اختیار پژوهشگران قرار می‌دهد. متأسفانه در مورد میزان کیفیت این دو نسخه در برآورد شاخص‌های اقتصادی مطالعه خاصی صورت نگرفته ولی کارشناسان گروه مشاهده زمین دانشگاه ماینز کلرادو، نسخه دوم را به دلیل اصلاحاتی که روی آن انجام شده، برای برآوردهای اقتصادی توصیه می‌کنند[2]. در این مقاله با توجه به کمتر بودن داده‌های نسخه دوم، صرفاً از نسخه اول برای برآورد تولید ناخالص داخلی در ایران استفاده شده است.

پژوهشگاه علوم انسانی و مطالعات فرهنگی
پرتال جامع علوم انسانی

[1] Stray-lights

[2] بر اساس مکاتبات نویسنده اول با این مرکز

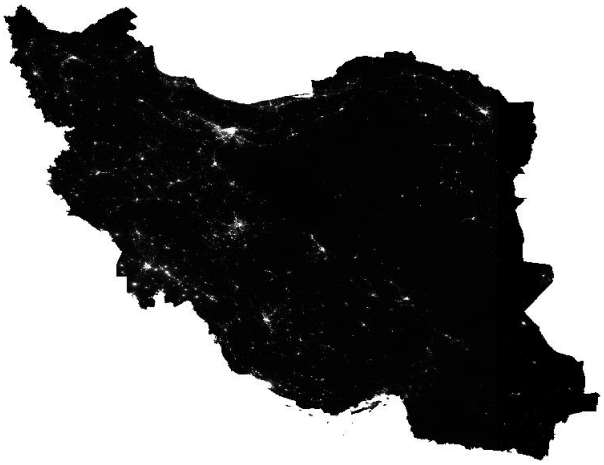


شکل ۲: موزاییک‌های داده‌های نور شب

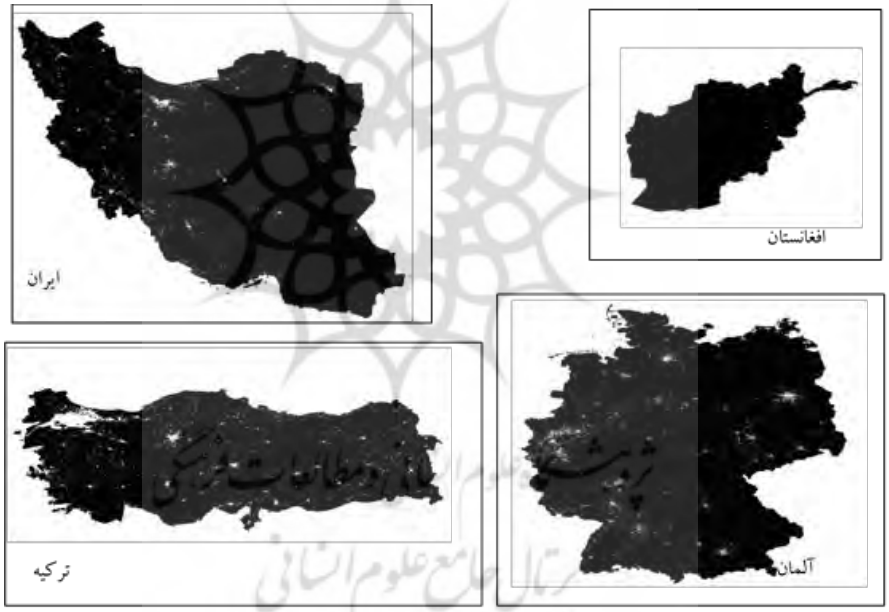
در اکثر بانک‌های اطلاعاتی، داده‌های نور شب به‌صورت تصاویر بزرگ متشکل از تعداد بسیار زیادی پیکسل منتشر می‌شود که این تصاویر با استفاده از نرم‌افزارهای تخصصی سنجش‌ازدور قابل‌ویرایش و پردازش هستند. داده‌های ذکرشده به‌صورت شش موزاییک[1] از تارنمای دانشگاه ماینز کلرادو قابل دریافت هستند. مطابق تصویر ۲ هریک از این موزاییک‌ها بخشی از کره زمین را پوشش می‌دهد و ایران در بین دو موزاییک ۲ و ۳ از این مجموعه قرار می گیرد. برای پردازش اطلاعات نور شب ایران باید ابتدا دو موزاییک مذکور با استفاده از نرم‌افزار QGIS به یکدیگر متصل و سپس با استفاده از یک‌لایه مربوط به نقشه اطلاعات جغرافیایی ایران، برش داده شود. بعدازاین مرحله میزان انتشار نور در سطح کشور و پس‌ازآن در سطح استان استخراج می‌شود (تصویر ۳).

پژوهشگاه علوم انسانی و مطالعات فرهنگی
پرتال جامع علوم انسانی

[1] Mosaic



شکل ۳: برش نقشه ایران از تصاویر نور شب



شکل ٤: مقایسه انتشار نور در چهار کشور ایران، افغانستان، ترکیه و آلمان در فوریه سال ۲۰۲۱

پس از انجام مراحل بالا، میزان انتشار نور ماهانه در سطح کشور محاسبه شده است. ازآنجاکه اطلاعات تولید ناخالص داخلی ایران به‌صورت فصلی منتشر می‌شود، در این پژوهش ابتدا داده‌های ماهانه نور شب گردآوری شد و سپس برای تبدیل آن‌ها به متغیرهای فصلی، مجموع سه ماه متناظر با هر فصل در تقویم رسمی ایران محاسبه و در برآوردها به کار گرفته شده است (به‌عنوان‌مثال مجموع انتشار نور در سه ماه ژانویه، فوریه و مارس به‌عنوان میزان انتشار نور فصل زمستان در نظر گرفته شده است). در این مقاله از اطلاعات نور شب تا ژوئن سال ۲۰۲۰ استفاده شده که در نسخه اول با ۳۷ فصل و در نسخه دوم، با ۲۶ فصل از داده‌های تولید ناخالص داخلی ایران مطابقت دارد. در استفاده از تصاویر نور شب باید این نکته را در نظر گرفت که به‌صورت عمومی، در نقاط مختلف جهان کمتر از ۲۰ روز از ماه می‌توان تصاویر بدون پوشش ابر گردآوری کرد و این یعنی درواقع در هرماه تنها دوسوم از داده‌ها برای برآورد میانگین ماهانه قابل استفاده‌اند. (Skoufias et al., 2021)

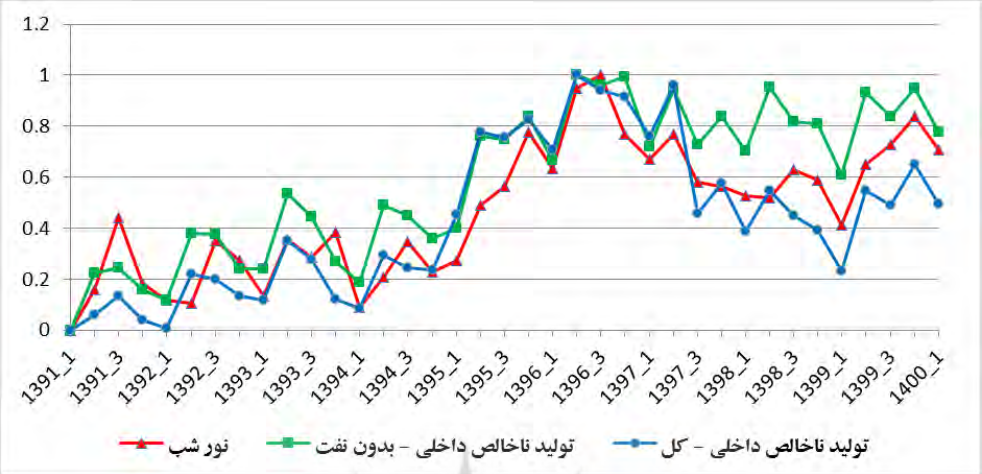
پس از انجام برآورد تولید ناخالص داخلی فصلی با داده‌های نور شب و به‌منظور تقویت قدرت توضیح دهندگی مدل بر اساس نمونه مطالعات خارجی ازجمله (Beyer et al., 2018) با استفاده از اطلاعات سرشماری سال ۹۵ و آمار تولد و وفات سازمان ثبت‌احوال که در مقاطع هفتگی منتشر می‌شود، تخمینی از جمعیت هر فصل به مدل اضافه شد و نتیجه برآورد تولید ناخالص داخلی فصلی با استفاده از داده‌های نور شب و جمعیت به دست آمد.

٤) یافته‌های پژوهش

در این پژوهش داده‌های فصلی مربوط به تولید ناخالص داخلی ایران از مرکز آمار ایران دریافت شده است[1]. این داده‌ها شامل تولید ناخالص داخلی به قیمت جاری و به قیمت ثابت سال ۱۳۹۵ است. ازآنجاکه بر اساس مطالعات پیشین، برآورد تولید ناخالص داخلی با استفاده از نور شب، میزان تولید واقعی اقتصاد را نشان می‌دهد (Chen & Nordhaus, 2012)، در این مقاله نیز از اطلاعات تولید ناخالص داخلی به قیمت ثابت سال ۱۳۹۵ استفاده شده تا به‌این‌ترتیب اثر تورم بر روی مقادیر تولید حذف شود. در نمودار ۱ میزان

[1] داده‌های کلان اقتصادی ایران از بانک مرکزی جمهوری اسلامی ایران و همچنین مرکز آمار ایران قابل دریافت است. با توجه به تفاوت روش محاسباتی این دو مرجع اطلاعاتی، انجام برآوردهای پژوهشی با استفاده از هر یک از این منابع می‌تواند نتایج به‌نسبت متفاوتی داشته باشد. با این حال از آنجا که اطلاعات اقتصادی در سطح استانی و با توالی مناسب زمانی (مخصوصاً در سال‌های اخیر) در مرکز آمار ایران تهیه و منتشر می‌شود، در این پژوهش به منظور سازگار بودن نتایج در سطح ملی و استانی، از داده‌های مرکز آمار ایران استفاده شده است.

ارتباط نور شب و تولید ناخالص داخلی کل و تولید بدون بخش نفت برای بررسی اولیه و شهودی نمایش داده شده است. به این منظور تمامی متغیرها با روش MIN-MAX استاندارد شده و در نمودار قرار گرفته‌اند.



نمودار ۱: مقایسه مقادیر نرمال شده نور شب و تولید ناخالص داخلی

همان‌گونه که در نمودار ۱ مشخص است، داده‌های نور شب همخوانی بسیار زیادی با نوسانات تولید ناخالص داخلی ایران دارند و به این جهت می‌توان انتظار داشت که در تحلیل آماری نیز نتایج مناسبی از ارتباط این متغیرها با یکدیگر به دست آید.

پس از استخراج داده‌های نور شب از درگاه اینترنتی دانشگاه ماینز کلرادو و تولید ناخالص داخلی فصلی ایران از مرکز آمار ایران طی ۳۷ فصل (از بهار ۱۳۹۱ تا بهار ۱۴۰۰) و همچنین دریافت اطلاعات مربوط به جمعیت بر اساس سرشماری سال ۱۳۹۵ و محاسبه مقدار برآوردی جمعیت کشور به‌صورت فصلی از زمان سرشماری تا ابتدای سال ۱۴۰۰ با استفاده از آمار تولد و وفات سازمان ثبت‌احوال کشور، میزان توضیح‌دهندگی نور شب برای تولید ناخالص داخلی کل کشور در دو حالت با نفت و بدون نفت و با استفاده از دو نسخه از داده‌ها و بهره‌گیری از مدل‌های زیر ارزیابی شد:

(1) $\text{Ln}\,(Y_{\text{no-oil}})=C + \text{Ln}(VIIRS_1)$
(2) $\text{Ln}\,(Y_{\text{no-oil}})=C + \text{Ln}(VIIRS_1) + \text{Ln}(Pop)$
(3) $\text{Ln}\,(Y_{\text{no-oil}})=C + \text{Ln}(VIIRS_1) + \text{Ln}(Pop) + Trend$

(4) $Ln\ (Y_{no\text{-}oil})=C + Ln(VIIRS_1) + Ln(Pop) + SE1 + SE2 + SE3$

تمامی متغیرها در بازه زمانی فصلی مورداستفاده قرار گرفته‌اند و تعریف متغیرهای موجود در الگوهای رگرسیونی فوق به شرح جدول (۱) است:

جدول (۱): تعریف متغیرهای مورداستفاده در الگوهای رگرسیونی

ردیف	نماد متغیر	تعریف
1	$Y_{no\text{-}oil}$	تولید ناخالص داخلی بدون نفت
2	$VIIRS_1$	نسخه اول نور شب
3	Pop	جمعیت برآورد شده
4	SE1	متغیر مجازی فصل تابستان
5	SE2	متغیر مجازی فصل پاییز
6	SE3	متغیر مجازی فصل زمستان

نتایج حاصل از برآورد ۱۲ الگوی رگرسیونی با ترکیب داده‌های فوق در جدول (۲) نمایش داده شده است:

جدول (۲): تخمین تولید ناخالص داخلی فصلی کشور (از بهار ۱۳۹۱ تا بهار ۱۴۰۰) بر اساس داده‌های نور شب

شماره الگو	**(1)**	**(2)**	**(3)**	**(4)**
متغیر وابسته	**$Ln(Y_{no\text{-}oil})$**	**$Ln(Y_{no\text{-}oil})$**	**$Ln(Y_{no\text{-}oil})$**	**$Ln(Y_{no\text{-}oil})$**
C	**13.77*** (0.03)**	**3.22- (3.65)**	**56.4-* (25.6)**	**6.06-*** (2.79)**
Ln(viirs)	**0.391*** (0.029)**	**0.255*** (0.037)**	**0.235*** (0.037)**	**0.223*** (0.030)**
Ln(pop)		**0.941*** (0.202)**	**3.87*** (1.41)**	**1.09*** (0.154)**
Trend			**0.009-* (0.004)**	
SE1				**0.053*** (0.009)**
SE2				**0.017 (0.010)**

SE3				**0.013 (0.009)**
Adj. R-sq	**0.828**	**0.892**	**0.901**	**0.945**
F-statistic	**174.7**	**149.8**	**111.3**	**125.9**
DF	**35**	**34**	**33**	**31**

معناداری متغیرها در سطوح 0.9، 0.95 و 0.99 به ترتیب با علائم *، ** و *** نمایش داده شده است. اعداد داخل پرانتر، انحراف معیار هر متغیر را نشان می‌دهد.

ازآنجاکه نوسانات تولید و صادرات نفت به‌ویژه در سال‌های اخیر عمدتاً با عوامل سیاسی قابل توصیف است، در این پژوهش صرفاً برآورد تولید ناخالص داخلی بدون نفت مد نظر قرار گرفته است. مدل اصلی این پژوهش، مدل‌های شماره (۳) و (۴) هستند که برای بررسی میزان قوت ضریب نور شب در این دو مدل، مدل‌های (۱) و (۲) نیز در نظر گرفته شدند که متغیرهای کنترلی به‌صورت گام‌به‌گام به آن‌ها افزوده شدند تا ۲ مدل اصلی شکل بگیرند.

بر این اساس، ابتدا مدل شماره (۱) با استفاده از یک متغیر مربوط به نور شب کل کشور و در ۳۵ مقطع فصلی با استفاده از برنامه R-Studio تخمین زده شد که در آن ضریب متغیر نور شب در سطح ۹۹ درصد معنادار بود. این مدل نشان می‌دهد که ۱ درصد افزایش نور شب، تولید ناخالص داخلی بدون نفت را به‌اندازه حدوداً ۴ هزارم (۵۶ هزار میلیارد ریال به قیمت جاری یا ۶ هزار میلیارد ریال به قیمت ثابت سال ۱۳۹۰) افزایش می‌دهد.

در گام بعدی به‌منظور تکمیل مدل و تقویت قدرت توضیح دهندگی آن، در مدل شماره (۲) متغیر جمعیت که با ترکیب میزان خالص موالید فصلی (برگرفته از اطلاعات سازمان ثبت‌احوال) و داده‌های سرشماری سال‌های ۱۳۹۰ و ۱۳۹۵ به دست آمده بود، به مدل اول اضافه شد. بر اساس نتایج برآورد، افزودن متغیر کنترلی جمعیت، توضیح دهندگی مدل را افزایش داد، تغییری در معناداری متغیر نور شب ایجاد نکرد ولی مقدار آن را کاهش داد به‌طوری‌که بر اساس مدل (۲)، ۱ درصد افزایش نور شب، تولید ناخالص داخلی بدون نفت را به‌اندازه حدوداً ۲۶ ده‌هزارم (۳۶ هزار میلیارد ریال به قیمت جاری یا ۴ هزار میلیارد ریال به قیمت ثابت سال ۱۳۹۰) افزایش می‌دهد.

در گام سوم، به‌منظور در نظر گرفتن روند کلان تغییرات تولید ناخالص داخلی، متغیر روند زمانی به مدل شماره (۲) اضافه شد. با اضافه شدن این متغیر، میزان توضیح دهندگی مدل کمی افزایش یافت. منفی و معنادار بودن تأثیر روند زمانی در تولید ناخالص داخلی بدون نفت بازتابی از روند نزولی تولید ناخالص

داخلی در سال‌های دهه ۹۰ شمسی است. بر اساس مدل (۳)، ۱ درصد افزایش نور شب، تولید ناخالص داخلی بدون نفت را به‌اندازه حدوداً ۲۴ ده‌هزارم (۳۳ هزار میلیارد ریال به قیمت جاری یا ۳۶۰۰ میلیارد ریال به قیمت ثابت سال ۱۳۹۰) افزایش می‌دهد.

درنهایت با توجه به اهمیت تغییرات فصلی در میزان تولید ناخالص داخلی به‌ویژه تأثیر آب‌وهوا در تولیدات بخش کشاورزی، در مدل شماره (۴) سه متغیر مجازی برای بررسی اثر فصل‌ها به مدل (۲) اضافه شد که بر اساس نتایج برآورد، علاوه بر متغیر مربوط به نور شب و جمعیت، از بین متغیرهای مجازی تنها متغیر مجازی مربوط به فصل تابستان در سطح ۹۹ درصد معنادار بود که علت آن را می‌توان برداشت محصولات کشاورزی در فصل تابستان دانست. بر اساس مدل (۴)، ۱ درصد افزایش نور شب، تولید ناخالص داخلی بدون نفت را به‌اندازه حدوداً ۲۲ ده‌هزارم (۳۰۸۰۰ میلیارد ریال به قیمت جاری یا ۳۳۰۰ میلیارد ریال به قیمت ثابت سال ۱۳۹۰) افزایش می‌دهد.

درنتیجه بر اساس نتایج موجود در جدول شماره (۲)، متغیر نور شب کل کشور با اضافه کردن میزان جمعیت و متغیر مجازی فصلی در یک مدل رگرسیون خطی چند متغیره می‌تواند ۰.۹۴۵ از تغییرات تولید ناخالص داخلی بدون نفت ایران را توضیح دهد. مقایسه ضریب نور شب در مدل‌های چهارگانه نشان می‌دهد که معناداری این ضریب و میزان تأثیر آن بر تولید ناخالص داخلی میزان قوت بسیار خوبی (به‌خصوص در مدل‌های ۲ و ۳ و ۴) دارد که مؤید نتایج مشابه به دست آمده در مطالعات بین‌المللی برای اقتصاد ایران است.

ارزیابی مدل: محاسبه تولید ناخالص داخلی فصلی خارج از نمونه

به‌منظور بررسی توانایی و قابلیت مدل شماره (۴) برای برآورد تولید ناخالص داخلی فصلی، پارامترهای مدل که با استفاده از داده‌های مربوط به ۳۷ فصل برآورد شده بود، در این بخش برای محاسبه تولید ناخالص داخلی سه فصل پس از داده‌های مذکور و با استفاده از متغیرهای میزان انتشار نور در شب، برآورد جمعیت فصلی و متغیرهای مجازی مربوط به فصول سال محاسبه شده است که نتایج این برآورد به شرح جدول ذیل است:

پژوهشگاه علوم انسانی و مطالعات فرهنگی
پرتال جامع علوم انسانی

جدول (۳): نتایج محاسبه تولید ناخالص داخلی با استفاده از الگوی شماره ٤

فصل	شاخص نور شب	برآورد جمعیت فصلی	تولید ناخالص داخلی پیش‌بینی‌شده با مدل	تولید ناخالص داخلی رسمی (مرکز آمار)	درصد تفاوت پیش‌بینی نسبت به عملکرد
۱۴۰۰-۲	۳.۵۱۶۹۴	۸۵۰۱۵۰۸۳	۱۶۴۸۴۶۹	۱,۶۶۹,۱۰۰	-۱.۲۴٪
۱۴۰۰-۳	۳.۶۶۹۸۶	۸۵۱۷۷۶۱۳	۱۶۰۹۱۲۰	۱,۶۴۲,۱۴۲	-۲.۰۱٪
۱۴۰۰-۴	۳.۹۲۲۹۸	۸۵۳۳۱۵۸۴	۱۶۲۹۹۷۲	۱,۶۵۱,۰۷۳	-۱.۲۸٪

همان‌گونه که در نتایج این جدول مشخص است، خطای برآورد تولید ناخالص داخلی (بدون نفت) با استفاده از مدل (۴) در سه فصل خارج از داده‌ها به ترتیب **۲۴.۱**، **۰۱.۲** و **۲۸.۱** درصد است که این مسئله دقت و توانایی مدل مذکور برای استفاده در سایر فصول را به‌خوبی نمایان می‌کند و طبیعتاً با اضافه شدن داده‌های بیشتر برای برآورد پارامترهای مدل، میزان دقت آن نیز افزوده خواهد شد.

درمجموع بر اساس نتایج این پژوهش و تحقیقات پیشین و با توجه به رایگان بودن دسترسی به داده‌های نور شب و توالی ماهانه این داده‌ها و عدم نیاز به انجام محاسبات مالی و اقتصادی پیچیده و زمانبر، این متغیر می‌تواند کاربردی مؤثر در برآورد تولید ناخالص داخلی به‌خصوص در بازه‌های کوتاه‌مدت داشته باشد.

۵) نتیجه‌گیری

در سال‌های اخیر تصاویر ماهواره‌ای مخصوصاً تصاویر نور شب به‌عنوان یکی از متغیرهای پرکاربرد برای برآورد میزان فعالیت اقتصادی در کشورهای جهان، مورداستفاده قرار گرفته است. نسل قدیمی این داده‌ها که در دوره‌های سالانه و از سال **۱۹۹۲** تا **۲۰۱۳** در اختیار پژوهشگران قرار گرفته بود، توجه بسیاری را برای بررسی‌های اقتصادی به خود جلب کرد. این اطلاعات خصوصاً در کشورهای درحال‌توسعه که با کمبود داده‌های دقیق مواجه‌اند، کاربرد بسیاری داشت و پژوهش‌های متعددی با استفاده از آن انجام شد. نسل جدید داده‌های نور شب که از سال **۲۰۱۲** و به‌صورت ماهانه در اختیار پژوهشگران قرار می‌گیرد، به دلیل دقت بالاتر و توالی ماهانه، امکانات بیشتری برای استفاده در برآوردهای اقتصادی دارد. هرچند استفاده از این داده‌ها به‌عنوان نماینده‌ای از فعالیت اقتصادی، در جوامع علمی موردپذیرش قرار گرفته است، ولی ازآنجاکه میزان دقت این متغیر برای برآورد شاخص‌های اقتصادی در کشورهای مختلف، متفاوت است، در این مقاله تلاش شد میزان کارایی داده‌های نسل جدید تصاویر ماهواره‌ای نور شب در اقتصاد ایران با استفاده از مدل‌های رگرسیون خطی و در مقاطع فصلی مورد ارزیابی قرار گیرد. همچنین با

افزودن متغیرهای جمعیت، روند و متغیرهای مجازی فصلی، سعی شد قدرت توضیح دهندگی مدل افزوده شود.

بر اساس یافته‌های این مقاله و با استفاده از بررسی ۴ الگوی رگرسیون خطی، داده‌های نسخه جدید نور شب برگرفته از دانشگاه ماینز کلورادو قابلیت بسیار خوبی برای برآورد تولید ناخالص داخلی (بدون نفت) ایران دارند و تنها استفاده از این متغیر در یک الگوی رگرسیون خطی ساده می‌تواند ۰.۸۲۸ از تغییرات تولید ناخالص داخلی بدون نفت ایران را توضیح دهد. همچنین اضافه کردن یک متغیر مربوط به جمعیت کل کشور (بر اساس سرشماری‌های رسمی و آمار تولد و مرگ سازمان ثبت‌احوال) دقت برآورد شاخص تولید ناخالص داخلی را ۰.۰۷ افزایش خواهد داد و در نظر گرفتن تغییرات فصلی با استفاده از ۳ متغیر مجازی، می‌تواند R^2 مدل را به ۰.۹۴۵ برساند. همچنین ارزیابی مدل در سه فصل بعد از بازه زمانی مورداستفاده برای برآورد پارامترها نیز نشان داد که این مدل توانایی برآورد تولید ناخالص داخلی فصلی با میزان خطای کمتر از ۲ درصد را دارد و به‌این‌ترتیب بدون نیاز به محاسبات مالی و اقتصادی پیچیده، تولید ناخالص داخلی غیر نفتی ایران به میزان خوبی قابل برآورد خواهد بود.

ذکر این نکته ضروری است که هرچند به‌صورت نظری، اضافه کردن متغیر روند در یک سری زمانی می‌تواند بر قابلیت‌های مدل بیفزاید ولی بر اساس یافته‌های این پژوهش، در نظر گرفتن این متغیر هرچند اندکی به توضیح دهندگی مدل می‌افزاید ولی سطح معناداری پارامترها را کاهش خواهد داد.

درنهایت ازآنجاکه در این مقاله صرفاً تولید ناخالص داخلی در سطح ملی مورد ارزیابی قرار گرفته است، پیشنهاد می‌شود در پژوهش‌های آتی با استفاده از این داده‌ها میزان فعالیت اقتصادی در سطوح کوچک‌تر جغرافیایی (استانی و شهرستانی) موردبررسی قرار گیرد و همچنین کارایی این داده‌ها برای سنجش دیگر شاخص‌های اقتصادی ارزیابی شود.

References

Akhbari, R.; Shakibai, A., & Nejati, M. (2019). Nighttime monitoring of economy: introducing a modern regional approach to regional planning. *Quarterly Journals of Urban and Regional Development Planning*, *3*(7), 141-184. doi: 10.22054/urdp. (in Persian)

Bell, W. R., & Hillmer, S. C. (1984). Issues Involved With the Seasonal Adjustment of Economic Time Series. *Journal of Business & Economic Statistics*, *2*(4), doi:10.1080/07350015.1984.10509398.

Beyer, R. C. M.; Chhabra, E.; Galdo, V., & Rama, M. G. (2018). Measuring districts' monthly economic activity from outer space,*Policy Research working paper; no. WPS 8523. Washington, D.C.: World Bank Group*.

Brendstrup, B.; Hylleberg, S.; Nielsen, M. R.; Skipper, L., & Stentoft, L. (2004). Seasonality In Economic Models. *Macroeconomic Dynamics*, 8(3), doi:10.1017/s1365100504030111.

Chen, X., & Nordhaus, W. D. (2011). Using luminosity data as a proxy for economic statistics. *Proc. Natl. Acad. Sci. U.S.A.* 108, 8589–8594

Chen, X., & Nordhaus, W. (2015). A Test of the New VIIRS Lights Data Set: Population and Economic Output in Africa. *Remote Sens*, 7, 4937-4947.

Chen, X., & Nordhaus, W. D. (2019). VIIRS Nighttime Lights in the Estimation of Cross-Sectional and Time-Series GDP. *Remote Sens*., 11, 1057.

Farzanegan, M. R., & Hayo, B. (2018). Sanctions and the shadow economy: empirical evidence from Iranian provinces, *Applied Economics Letters*, DOI: 10.1080/13504851.2018.1486981

Farzanegan, M. R., & Fischer, S. (2021). Lifting of International Sanctions and the Shadow Economy in Iran—A View from Outer Space. *Remote Sens.*, 13, 4620. https://doi.org/ 10.3390/rs13224620

Henderson, J.; Vernon, A. S., & David N. W. (2012). Measuring economic growth from outer space. *American Economic Review, 102*(2): 994-1028.

Mirhosseini, S.; Ebrahimzadeh, E.; Rafieian, M.; Modiri, M., & Ahadnejad Roshti, M. (2015). Monitoring the dynamics of urbanization in contemporary iran using multi-temporal images DMSP / OLS. *Geographical Data*, *24*(96), 21-37. https://www.sid.ir/en/journal/ViewPaper.aspx?id=486389.(in Persian)

Nasr Esfahani, R.; Akbari, N., & Bidram, R. (2005). Determinants of Seasonal Output Gap in Iran. *Iranian Journal of Economic Research*, *7*(22), 43-68. (in persian)

Rezaeei Rad, H., & Rafieyan, M. (2017). Estimating the spatial-temporal changes in intensity of the heat island in tehran metropolitan by using aster and landsat8 satellite images. *Journal Of Regional Planning*, *7*(27),47-60. https://www.sid.ir/en/journal/ViewPaper.aspx?id=565421.(in persian)

Shi, K.; Yu, B.; Huang, Y.; Hu, Y.; Yin, B.; Chen, Z.; Chen, L., & Wu, J. (2014). Evaluating the Ability of NPP-VIIRS Nighttime Light Data to Estimate the Gross Domestic Product and the Electric Power Consumption of China at Multiple Scales: A Comparison with DMSP-OLS Data. *Remote Sens.*, 6, 1705-1724. https://doi.org/10.3390/rs6021705

Skoufias, E.; Strobl, E., & Tveit, T. (2021). Can we rely on VIIRS nightlights to estimate the short-term impacts of natural hazards? Evidence from five South East Asian countries, *Geomatics, Natural Hazards and Risk*, 12:1, 381-404, DOI: 10.1080/19475705.2021.1879943

Sun, J.; Di, L.; Sun, Z.; Wang, J., & Wu, Y. (2020). Estimation of GDP Using Deep Learning With NPP-VIIRS Imagery and Land Cover Data at the County Level in CONUS, *IEEE Journal of Selected Topics in Applied Earth Observations and Remote Sensing*, 13, 1400-1415

Wang, X.; Rafa, M.; Moyer, J.D.; Li, J.; Scheer, J., & Sutton, P.(2019). Estimation and Mapping of Sub-National GDP in Uganda Using NPP-VIIRS Imagery. *Remote Sens.*, 11, 163. https://doi.org/10.3390/rs11020163

Zhao, M.; Cheng, W.; Zhou, C.; Li, M.; Wang, N., & Liu, Q.(2017). GDP Spatialization and Economic Differences in South China Based on NPP-VIIRS Nighttime Light Imagery. *Remote Sens.*, 9, 673.

https://doi.org/10.3390/rs9070673

Zuleta, H, (2008). Seasons, Savings and GDP, *Documentos de Trabajo, Facultad de Economía, Universidad del Rosario*, No. 32

https://doi:10.2139/ssrn.1537093

پژوهشگاه علوم انسانی و مطالعات فرهنگی
پرتال جامع علوم انسانی