

Original Article



The Advances, Challenges and Perspectives in the Correction Field of Free Night Light Satellite Image

Fatemeh Ahmadi¹, Abbas Kiani^{2*}, Yasser Ebrahimian Ghajari²

Affiliation

1. Master Student of Photogrammetry Engineering, Babol Noshirvani University of Technology, Babol, Iran
2. Assistant Prof. of Civil Engineering Dep., Babol Noshirvani University of Technology, Babol, Iran

ABSTRACT

Introduction: Remote sensing provides a powerful data source for the mapping of urban areas and the monitoring of urban dynamics on a range of scales. Among the various types of remote sensing data, images captured at night offer an effective means of monitoring human activities on a global scale. The distinctive features and capabilities of these images permit the separation of urban areas and other human activities, the main feature of which is the use of light at night by accurately measuring the location, from the background without light. Via providing uninterrupted and continuous monitoring from the night world perspective, these images provide a valuable source of information about human activities over time from the past to the present. The time series analysis of this data is highly valuable for discovering, estimating and monitoring social and economic dynamics in countries, especially sub-regions where there are no official statistics. With recent developments in night-time data satellite sensors and new research conducted in this field, this study aims to review the advances in night-time sensors, introduce the existing data and products, review and express the advantages and disadvantages of each one, and review the methods and solutions presented in previous research for solving the existing problems and limitations in order to improve these images.

Materials and methods: The main objective of this research is to introduce and review the general characteristics of night-time light data, discussing their advantages, challenges, and methods for addressing these challenges. The majority of studies on DMSP night light images focus on two spatial and temporal dimensions. In the spatial dimension, inherent deficiencies of this dataset are observed, such as saturated numerical values in central urban areas and flourishing effects in suburban and rural areas. In the temporal dimension, the lack of calibration in the processor, necessitates the implementation of additional processes on annual products of stable DMSP night light data in order to examine urban dynamics. The existing methods for correcting spatial problems are divided into two categories: spectral and non-spectral. Similarly, methods for addressing temporal issues are divided into two categories: annual calibration of night light data and adjustment of temporal patterns. NPP-VIIRS monthly images encompass various features including fixed light values such as city lights and transportation routes, as well as noise values such as gas flames, biomass burning, and background noise. Therefore, preprocessing is necessary before utilizing this data. Furthermore, the positioning accuracy of Loujia 01 data is lower than its spatial resolution, resulting in image displacement of up to 650 meters in some areas. Geometric correction is applied to rectify this issue, and various correction methods have been investigated.

Discussion: A general comparison of the data sets reveals that, despite the existing problems and limitations, the DMSP stable night light data outperforms other night light datasets due to its longer time series, which spans from 1992 to 2013. This extended temporal coverage makes it a valuable resource for research on urban dynamics and estimating the overall growth trend of cities. On the other hand, NPP-VIIRS offers advantages and is sensitive to faint light sources. However, its passage time at 1:30 in the morning, when many lights are turned off, limits its utility for urban studies. Consequently, it may not be the optimal choice for exclusively investigating urban areas exclusively. Nevertheless, the NPP-VIIRS data is more useful in research related to economic activities. Furthermore, the sensor's lack of sensitivity to blue light emitted by LEDs impacts its ability to accurately quantify artificial light emissions from the ground.

Conclusion: The objective of this study was to introduce types of remote sensing night light data and their analysis. In short, current research in the field of correcting spatial saturation and blooming problems is divided into two categories: spectral and non-spectral. Non-spectral methods typically rely solely on night light data, although they may also incorporate non-remote sensing data. Spectral methods often employ spectral indices that are related to vegetation and ground surface temperature. Currently, correcting DMSP images from the temporal dimension can be achieved through inter-data calibration, specifically via the fixed reference regions or reference pixels method. One of the most reliable methods in this field is the reference area method. Following the conclusion of the DMSP-OLS mission, the VIIRS was introduced. In contrast to the annual data of this satellite, the monthly data requires correction due to the presence of background noise, and stray lights. A reviews of existing studies indicates that the majority of methods aim to remove noise using specific frameworks although with differing assumptions. Finally, considering the current challenges and limitations of night light satellites, several recommendations for future progress and development in this field are put forth. Further investigation could be conducted into the integration of DMSP-OLS data with NPP-VIIRS data or higher resolution Loujia-01 data, with the objective of developing a longer time series for future research on urban dynamics.

Keywords: Night light satellite images, Advantages and disadvantages of night light images, Correction and pre-processing methods.

Citation: Ahmadi, F., Kiani, A., Ebrahimian Ghajari, Y., The Advances, Challenges and Perspectives in the Correction Field of Free Night Light Satellite Image, Iran J Remote Sens GIS. 16(1):15-48.

* Corresponding Author: a.kiani@nit.ac.ir
DOI: <https://doi.org/10.48308/gisj.2022.102886>

Received: 2022.05.04
Accepted: 2022.11.12





پیشرفت‌ها، چالش‌ها و دیدگاه‌ها در زمینه تصحیح تصاویر ماهواره‌ای نور شب رایگان

فاطمه احمدی^۱، عباس کیانی^{۲*}، یاسر ابراهیمیان قاجاری^۲

سمت

۱. دانشجوی کارشناسی ارشد مهندسی فتوگرامتری، دانشگاه صنعتی نوشیروانی بابل، بابل، ایران
۲. استادیار گروه مهندسی نقشه‌برداری، دانشکده عمران، دانشگاه صنعتی نوشیروانی بابل، بابل، ایران

چکیده

سابقه و هدف: سنجش از دور منبع داده‌ای قدرتمند برای نقشه‌برداری از مناطق شهری و نظارت بر پویایی شهرنشینی است. از بین داده‌های سنجش‌ازدوری، تصاویری که در شب اخذ می‌شوند راهی مؤثر برای نظارت بر فعالیت‌های انسانی، در مقیاس جهانی، فراهم کرده است؛ زیرا این تصاویر با توجه به ویژگی‌ها و قابلیت‌هایشان می‌توانند مناطق شهری و سایر فعالیت‌های انسانی را که ویژگی اصلی‌شان استفاده از نور در شب است، با اندازه‌گیری صحیح مکانی، از پس‌زمینه بدون نور جدا کنند. این تصاویر با نظارت مستمر و مداوم از منظره شبانه جهانی، منبع و نتایج ارزشمندی از فعالیت‌های انسانی را، از گذشته تا امروز، فراهم می‌کند و تجزیه‌وتحلیل سری زمانی این داده‌ها برای کشف، تخمین و نظارت بر پویایی اجتماعی و اقتصادی در کشورها، به‌ویژه مناطق فرعی که آمار رسمی مورد اعتمادی درباره آنها وجود ندارد، بسیار ارزشمند است. با توجه به پیشرفت سنسورهای ماهواره‌ای نور شب در سال‌های اخیر و تحقیقات جدید انجام‌شده در زمینه داده‌های نور شب، هدف از این تحقیق بررسی پیشرفت‌های سنسورهای شبانه، معرفی انواع داده‌ها و محصولات در دسترس، بررسی و بیان مزایا و معایب هر یک و همچنین مروری بر روش‌ها و راه‌حل‌های مطرح‌شده در تحقیقات پیشین است تا مشکلات و محدودیت‌های این تصاویر حل شود.

مواد و روش‌ها: هدف اصلی از این تحقیق معرفی و بررسی کلی داده‌های نور شب، مزایا و چالش‌های هر یک و روش‌های بیان‌شده به‌منظور تصحیح مشکلات و چالش‌هاست. مطالعات در زمینه تصاویر نور شب DMSP اغلب بر دو بعد مکانی و زمانی تمرکز دارد. در بعد مکانی، نواقص ذاتی این مجموعه داده، یعنی مقادیر اشباع‌شده مقادیر رقومی در مناطق مرکزی شهری و تأثیرات شکوفایی در مناطق حومه شهری و روستایی درخور توجه است. در بعد زمانی، به‌دلیل فقدان کالیبراسیون در پردازنده، به فرایندهای اضافی روی محصولات سالیانه داده‌های پایدار نور شب DMSP برای بررسی پویایی‌های شهری نیاز است؛ روش‌های کنونی تصحیحات مشکلات مکانی در دو دسته طیفی و غیرطیفی قرار می‌گیرد. روش‌های مطرح‌شده برای تصحیح مشکلات زمانی این سنسور نیز، در دو دسته کالیبراسیون سالیانه داده‌های نور شب و تنظیم الگوی زمانی، بررسی شده است. تصاویر ماهیانه NPP-VIIRS محصولی است که علاوه بر مقادیر نورهای ثابت، مانند چراغ‌های شهرها و مسیرهای حمل‌ونقل، مقادیری نویری مانند شعله‌های گاز و سوختن زیست‌توده و نویر پس‌زمینه را نیز شامل می‌شود؛ به همین دلیل، پیش از استفاده لازم است پردازش شود. همچنین از آنجا که دقت موقعیت‌یابی داده‌های لوجیا کمتر از وضوح مکانی آن است، جابه‌جایی تصویر در برخی مکان‌ها ممکن است به ۶۵۰ متر برسد؛ از این‌رو تصحیح هندسی در این تصویر انجام می‌شود. انواع این روش‌ها در این مقاله بررسی شده است.

بحث و بررسی: طی مقایسه‌ای کلی، می‌توان نتیجه گرفت که در بررسی عملکرد داده‌های نور شب گوناگون، داده‌های نور پایدار شبانه DMSP، به‌رغم مشکلات و محدودیت‌های موجود، دارای سری زمانی طولانی‌تری در مقایسه با داده‌های نور شب دیگر است زیرا دوره زمانی ۱۹۹۲ تا ۲۰۱۳ را دربرمی‌گیرد و همچنان، در بسیاری تحقیقات در زمینه بررسی پویایی شهری و برآورد روند کلی رشد شهر، کاربرد دارد. در مقایسه، NPP-VIIRS از مزایایی برخوردار است و به نور کمتر نیز حساسیت نشان می‌دهد اما زمان عبور این ماهواره ساعت ۱:۳۰ بامداد است؛ در این ساعت شب، بسیاری از چراغ‌ها خاموش می‌شوند و به همین علت ممکن است، در مواردی که فقط از داده نور شب برای بررسی مناطق شهری استفاده می‌شود، مناسب نباشد. همچنین طی بررسی‌های انجام‌شده، این تصویر در تحقیقات در زمینه فعالیت‌های اقتصادی کاربرد بیشتری داشته است و حساسیت‌نداشتن آن به نور آبی از LEDها در توانایی سنسور، در تعیین کمیت نورهای مصنوعی ساطع‌شده از زمین، تأثیر می‌گذارد.

نتیجه‌گیری: این بررسی با هدف معرفی انواع داده‌های نور شب سنجش‌ازدوری و بررسی آنها انجام شده است و به‌طور خلاصه می‌توان گفت، در حال حاضر، تحقیقات در زمینه تصحیح مشکلات مکانی اشباع و شکوفایی به دو دسته طیفی و غیرطیفی تقسیم می‌شوند. دسته‌های غیرطیفی اغلب فقط با استفاده از داده نور شب و در برخی موارد، با استفاده از داده‌های غیرسنسورهای ازدوری ترکیب می‌شوند. بررسی روش‌های طیفی نشان می‌دهد که اغلب این روش‌ها از شاخص‌های طیفی مربوط به پوشش گیاهی و دمای سطح زمین استفاده می‌کنند. در حال حاضر، تصحیح تصاویر DMSP از بعد زمانی با کالیبراسیون بین داده‌ها، به‌طور خاص، با استفاده از روش مناطق مرجع ثابت یا پیکسل‌های مرجع انجام‌شدنی است. از معتبرترین روش‌های مطرح‌شده در این زمینه، روش منطقه مرجع است. پس از پایان مأموریت سنسور DMSP-OLS، سنسور VIIRS معرفی شده است. برخلاف داده سالیانه این ماهواره، داده ماهیانه آن به‌علت وجود نویرهای پس‌زمینه، نورهای سرگردان و مواردی از این‌دست، نیاز به تصحیح دارد. طبق بررسی‌های انجام‌شده براساس مطالعات موجود در روند تحقیقات، می‌توان گفت بیشتر مطالعات و روش‌ها سعی در حذف نویرها با استفاده از چارچوبی مشخص، اما با فرض‌های متفاوت، دارند. در نهایت، با توجه به چالش‌ها و محدودیت‌های فعلی ماهواره‌های نور شب، چند پیشنهاد اصلی برای پیشرفت و توسعه در این زمینه مطرح می‌شود: ادغام داده‌های DMSP-OLS با داده‌های NPP-VIIRS یا با وضوح بالاتر داده‌های لوجیا می‌تواند بیشتر مورد مطالعه قرار گیرد تا یک سری زمانی طولانی‌تری برای تحقیقات آینده، به‌منظور بررسی پویایی شهری و موارد مشابه، ایجاد شود.

واژه‌های کلیدی: تصاویر ماهواره‌ای نور شب، مزایا و معایب تصاویر نور شب، روش‌های تصحیح و پیش‌پردازش.

استناد: احمدی، ف.، کیانی، ع.، ابراهیمیان قاجاری، ی.، پیشرفت‌ها، چالش‌ها و دیدگاه‌ها در زمینه تصحیح تصاویر ماهواره‌ای نور شب رایگان، نشریه سنجش از دور و GIS ایران، سال ۱۶، شماره ۱، بهار ۱۴۰۳: ۴۸-۱۵.



۱- مقدمه

شهرنشینی از مهم‌ترین پدیده‌های روبه‌رشد عصر حاضر به‌شمار می‌آید و توسعه سریع آن پتانسیل بالایی برای بهبود وضعیت رفاه جوامع فراهم آورده است. درعین حال چگونگی و میزان کیفیت رفاه و زندگی شهری، در جوامع متفاوت، از مدیریت و برنامه‌ریزی شهری ناشی می‌شود زیرا، اگرچه رشد و توسعه شهرنشینی پیشرفت اجتماعی و اقتصادی مؤثری به‌حساب می‌آید (Ramachandra et al., 2013)، افزایش جمعیت باعث به‌وجودآمدن مشکلاتی همچون افزایش ترافیک شهری و خطرهای زیست‌محیطی، مانند افزایش جزیره حرارتی شهری و آلودگی هوا، می‌شود؛ به‌ویژه در شهرهایی با زیرساخت‌های ضعیف (مانند سیستم‌های انرژی ناپایدار، راه‌های ارتباطی و سیستم‌های حمل‌ونقل نامناسب) که خدمات شهری کافی در آنها عرضه نمی‌شود. به همین دلیل، برای مدیریت پایدار مناطق شهری و ارزیابی تأثیرات شهرنشینی در محیط‌ها، دولت‌ها به نظارت مستمر بر وسعت مکانی مناطق شهری نیاز دارند. چنین تغییراتی را می‌توان با استفاده از تجزیه و تحلیل چندزمانه نقشه‌های کاربری اراضی درون شهری و پوشش‌های زمینی که به داده‌های دقیق و مداوم و به‌روزشده نیاز دارند، ارزیابی کرد (de Pinho et al., 2012).

طی دهه‌های گذشته، به‌روزرسانی سنجنده‌ها و الگوریتم‌های بهبودیافته در نور شب (NTL) فرصت‌های شایان توجهی برای تحقیقات NTL فراهم کرده است (Zhao et al., 2019)؛ از این‌رو روش‌های سنجش‌ازدوری که پوشش مکانی و مکرر در اختیار قرار می‌دهند پتانسیل بالایی برای پاسخگویی به این نیازها دارند (Cao et al., 2009). درمقایسه با تصاویر سنجش‌ازدور معمولی، تصاویر نور شب منبع داده‌ای عینی است که تابش قابل مشاهده را در زمان واقعی ثبت می‌کند. اطلاعات روشنایی ثبت‌شده از طریق تصاویر نور شب مزایای شایان توجهی، در تشخیص تفاوت‌های منطقه‌ای، دارد. علاوه‌براین، داده‌های نور

شب تحت تأثیر سردرگمی طیفی قرار نمی‌گیرند و درحال حاضر، برای استخراج مناطق شهری استفاده گسترده‌ای دارند (Li et al., 2021a). به‌عبارتی، این داده‌ها برای نقشه‌برداری از سطوح نفوذناپذیر در مناطق شهری و روستایی استفاده شده است زیرا هرگونه فعالیت انسانی در شب رابطه‌ای مثبت با نور و مصرف انرژی دارد. در زمینه شناسایی مناطق شهری با استفاده از داده نور شب، مانند استخراج منطقه ساخته‌شده (Liu et al., 2019; Ma et al., 2019)، بررسی وسعت، توسعه و پویایی شهری (Li et al., 2021b; Li et al., 2018b) و مرز شهری (Xue et al., 2018)، مطالعات متعددی انجام شده است. در این پژوهش‌ها، داده‌های جانبی به‌طور گسترده‌ای با تصاویر نور شب ادغام شده‌اند تا توانایی نقشه‌برداری بر مبنای داده‌های NTL را افزایش دهند. همچنین داده‌های نور شب در زمینه‌های دیگری همچون تخمین مصرف برق (He et al., 2012) و تولید ناخالص ملی (Zhao et al., 2017) به‌کار رفته است.

این مقاله با هدف مطالعه و بررسی پیشرفت‌های سنجنده‌های شبانه و محصولات آنها انجام شده و درمورد داده‌های نور شب، مشکلات و محدودیت‌های این تصاویر و روش‌های حل این مشکلات بررسی جامعی در آن مطرح شده است.

۲- مروری بر مجموعه داده‌های اصلی نور شب

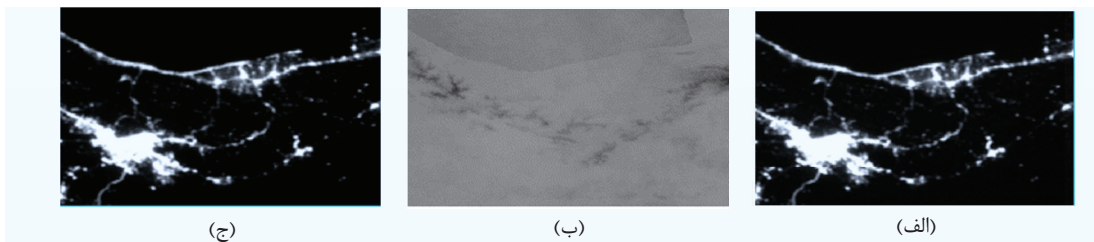
از اواخر دهه ۱۹۹۰، تصاویر ماهواره‌ای با هدف اصلی بررسی نور شب، بیشتر مورد توجه قرار گرفتند. تصاویر زمین در شب منبعی استثنایی از داده‌های جغرافیایی انسان است زیرا نور مصنوعی فعالیت انسان را به‌طور ویژه‌ای برجسته می‌کند که با پارامترهای اقتصادی، از جمله شهرنشینی، فعالیت اقتصادی و جمعیت، ارتباط دارد (Kyba et al., 2015). در ادامه، چهار نوع از داده‌های نور شب مورد استفاده در کاربردهای شهری که به‌رایگان در دسترس قرار دارند، توضیح و توصیف می‌شود.

1. Night Time Light

۲-۱- تصاویر DMSP-OLS^۱

آغاز به کار سیستم تصویربرداری با نور کم DMSP به دهه ۱۹۷۰ م. بازمی‌گردد (Hu et al., 2017)؛ باین حال این داده‌ها تا سال ۱۹۹۲ بایگانی نشده‌اند. از سال ۱۹۹۲ تا ۲۰۱۳، این داده‌ها با شش ماهواره متفاوت (Zhang et al., 2016) با اندازه‌گیری شش‌بیتی (در قالب اعداد راقومی از ۰ تا ۶۳) و وضوح مکانی ۱ کیلومتر، به‌دست آمدند و بایگانی شدند (Elvidge et al., 1999). این سیستم قادر بود در هر ۲۴ ساعت یک‌بار، حوالی ساعت ۱۹:۳۰ تا ۲۱:۳۰ به‌وقت محلی، از سطح زمین تصویربرداری کند (Elvidge et al., 2001). در حال حاضر، سه مجموعه اصلی از داده‌های به‌دست‌آمده از این ماهواره، اعم از تصاویر روزانه و ماهیانه و محصولات^۲ سالیانه، وجود دارد که معمولاً محصولات سالیانه در مطالعات نور شب استفاده می‌شود زیرا فقط تصاویر سالیانه نور شب این ماهواره برای عموم مردم

رایگان است (Bennett & Smith, 2017) اما داده‌های ماهیانه و روزانه آن چنین نیست. در هر محصول سالیانه به‌دست‌آمده از سایت NOAA، مطابق شکل ۱، سه تصویر با فرمت ژئوتیف وجود دارد. سنجنده OLS، با وجود ویژگی‌ها و مزایای منحصر به فرد، دارای کاستی‌هایی نیز است؛ از جمله قدرت تفکیک مکانی اندک، نداشتن کالیبراسیون پردازنده، قدرت رادیومتریکی شش‌بیتی (Elvidge et al., 2013). مشکل اشباع از محدوده حافظه اندک و محدوده دینامیکی و رادیومتریکی پایین سنجنده ناشی می‌شود؛ علاوه بر این اثر پراکندگی نور و قدرت تفکیک پایین باعث می‌شود پیکسل‌های روشن فراتر از ناحیه روشن واقعی گسترش یابند (Shen et al., 2019). هریک از تصاویر شکل ۱ دارای ویژگی‌ها و خصوصیتی است و توضیحات درباره هریک در جدول ۱ آمده است.



شکل ۱. تصاویر موجود در محصولات سالیانه از استان‌های مازندران و تهران؛ میانگین نور مرئی (avg-vis) (الف)؛ پوشش بدون ابر (cf) (ب)؛ نور ثابت (cvf) (ب)؛ نور ثابت (stable-lights.avg-vis) (ج)

جدول ۱. ویژگی‌ها و خصوصیات هریک از تصاویر سالیانه DMSP-OLS

محصولات سالیانه DMSP-OLS	
avg-vis	حاوی میانگین مقادیر عدد راقومی باند قابل مشاهده است و هیچ فیلتر دیگری ندارد. مقادیر داده‌ها از ۰ تا ۶۳ است.
cf-cvf	از این تصویر می‌توان برای شناسایی مناطقی با تعداد اندک مشاهده که در آن کیفیت کاهش می‌یابد، استفاده کرد.
stable-lights.avg-vis	همان تصویر avg-vis است که حوادث زودگذر، مانند آتش‌سوزی، از آن حذف شد و سپس نوبت پس‌زمینه شناسایی و با مقادیر صفر جایگزین شد؛ به عبارتی، نورهای ثابت انتشار یافته از سطح زمین را شامل می‌شود.

1. Defense Meteorological Program
(DMSP) Operational Line-Scan System (OLS)
2. Composite

پس‌زمینه (غیرنور) دارند. این نوع از داده سالیانه، به‌علت مشکلاتی، فقط برای سال ۲۰۱۵ و ۲۰۱۶ در دسترس است و داده‌های سالیانه دیگری با نام VNL V2، برای تمامی سال‌ها در حال حاضر، موجود است که در قیاس با داده‌های قبلی مزایایی نیز دارد (Elvidge et al., 2021).

۲-۳- تصاویر لوجیا-۱

این ماهواره در تاریخ دوم ژوئن ۲۰۱۸ پرتاب شد (Wang & Shen, 2021). مطابق شکل ۲-ج، این سنجنده می‌تواند تصاویر نور شب را با دامنه پویای چهارده‌بیتی در شب و با وضوح مکانی ۱۳۰ متر در نادر ارائه دهد. همچنین قادر است هر پانزده‌روز یک‌بار، حدود ساعت ۱۰ شب به‌وقت محلی، از سطح زمین تصویربرداری کند (Li et al., 2019a). با وجود تمامی ویژگی‌های مطلوبی که در مقایسه با ماهواره‌های معرفی شده قبلی دارد، فقدان تصاویر چندزمانه و تأثیر ابرها و مهتاب کاربرد گسترده آن را محدود می‌کند (Jiang et al., 2018; Li et al., 2018b).

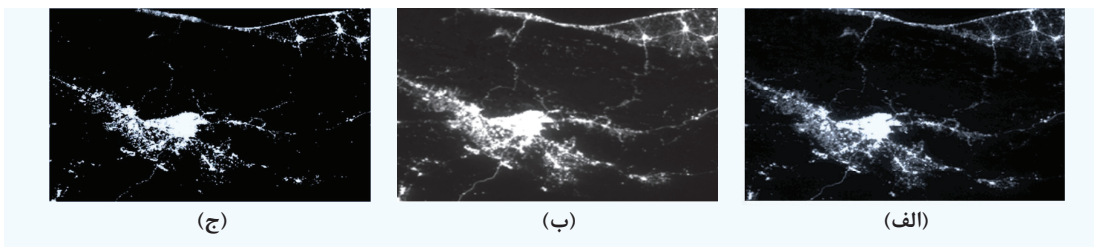
۲-۴- تصاویر ISS^۲

این تصاویر شامل عکس‌هایی است که فضاوردان در ایستگاه فضایی بین‌المللی گرفته‌اند. عکس‌های مورد نظر می‌توانند جزئیات بیشتری از زمین را با وضوح مکانی از ۵ تا ۲۰۰ متر، نشان دهند (Zhao et al., 2019).

۲-۲- تصاویر Suomi NPP VIIRS DNB

باند روز و شب (DNB)^۱ مجموعه رادیومتری تصویربرداری مادون‌قرمز مرئی، داده‌های کم‌نور جهانی را در شب جمع‌آوری می‌کند. این مجموعه داده‌های نور شب زمین را، با زمان گذر محلی پس از نیمه‌شب حوالی ساعت ۰۱:۳۰ بامداد، هر ۲۴ ساعت یک‌بار، ثبت می‌کند (Elvidge et al., 2013) و تعداد شایان توجه پیشرفت‌ها را از جمله کالیبراسیون در پردازنده، وضوح مکانی بالاتر، حد تشخیص پایین‌تر، دامنه پویای گسترده‌تر و اندازه‌گیری رادیومتری دقیق‌تر، فراهم می‌کند (Elvidge et al., 2013; Elvidge et al., 2017). محصولات نور شب این ماهواره به‌صورت ماهیانه و سالیانه در دسترس است. در حالت ماهیانه، مطابق شکل ۲. تصاویر- الف و ۲- ب، دو نوع ترکیب و محصول با قدرت تفکیک مکانی ۵۰۰ متر وجود دارد؛ در واقع، سری ماهیانه نسخه ۱ با استفاده از دو تنظیم متفاوت در سطح جهان اجرا می‌شود. این دو تنظیم با نام‌های vcm و vcmsl مشخص می‌شوند. تصاویر vcm تحت تأثیر نویز پس‌زمینه، نورهای سرگردان، شفق و آتش‌سوزی قرار گرفته‌اند و از تصاویر vcmsl، نورهای سرگردان حذف شده است (Elvidge et al., 2017; Mills et al., 2013; Elvidge et al., 2021).

محصولات سالیانه VNL V1^۲ لایه‌هایی با جداسازی اضافی، برای از بین بردن نورهای غیر ثابت و مقادیر



شکل ۲. تصاویر نور شب از شمال ایران، شامل مازندران و تهران: تصاویر موجود در محصولات ماهیانه vcm (الف)؛ تصاویر موجود در محصولات ماهیانه vcmsl (ب)؛ تصویر ماهواره لوجیا^۳ (ج)

1. Day/Night Band
2. VIIRS Nighttime Lights
3. Luojia
4. International Space Station

۲-۵- دیگر ماهواره‌ها

در طول شب، تصویربرداری انجام دهند اما، به‌علت محدودیت‌هایی مانند سنجنده‌های این ماهواره‌ها که با هدف تصویربرداری در طول روز ساخته شده‌اند، نمی‌توانند تصاویری با ویژگی‌های مورد نیاز و مطلوب ارائه دهند و امکان استفاده از آنها برای ثبت تصاویر نور شب، همانند مواردی که پیش‌تر به آنها اشاره شد، وجود ندارد زیرا برای ثبت این تصویرها اغلب از باند حرارتی در شب استفاده می‌کنند (Mallick et al., 2013). در ادامه در جدول ۲، مزایا و معایب داده‌های نور شب پرکاربرد و رایگان بیان می‌شود.

۳- پیش‌پردازش داده‌های نور شب به‌منظور کاربرد در مناطق شهری

برخلاف تصاویر روزانه سنجنش از دور، نورهای شهری که از طریق تصاویر نور شب ضبط شده‌اند، ارتباط نزدیکی با فعالیت‌های انسانی دارند و چشم‌اندازی منحصربه‌فرد، برای تجزیه‌وتحلیل اجتماعی و اقتصادی، فراهم می‌کنند (Wu et al., 2018b). درعین حال هریک از تصاویر دارای محدودیت‌ها و خطاهایی است؛ درنتیجه به‌منظور به‌دست‌آوردن نتایج و تحلیل‌های دقیق‌تر از این‌گونه تصاویر، به پیش‌پردازش نیاز است. ازاین‌رو در ادامه، هریک از روش‌های پیش‌پردازشی خاص این تصاویر توضیح داده شده است.

چند دسته از پرکاربردترین داده‌های نور شب رایگان در این بخش معرفی شدند؛ درعین‌حال ماهواره‌های دیگری نیز وجود دارند که می‌توانند در شب تصویربرداری کنند، مانند EROS-B با وضوح مکانی بالای حدود ۰/۷ متر که در سال ۲۰۱۳ پرتاب شده است و JL1-3B که در سال ۲۰۱۷ به فضا پرتاب شد و تصاویر چندطیفی را با وضوح مکانی ۰/۹۲ متر ارائه می‌دهد. علاوه‌براین نسل بعدی ماهواره JL1-07/08 که در سال ۲۰۱۸ به فضا پرتاب شد، دارای باندهای پانکروماتیک و باندهای چندطیفی بهبودیافته است و امکان درک بهتر را ایجاد می‌کند اما این ماهواره‌ها در این مطالعه، به‌علت تجاری‌بودن، بررسی نمی‌شوند (Zhao et al., 2019). ماهواره لندست نیز قادر به تصویربرداری در شب است اما برای دستیابی به تصاویر شبانه با سطح کم‌نور طراحی نشده بلکه فقط می‌تواند نورهایی با شدت زیاد، مانند شعله‌های آتش، را ثبت کند. همچنین تصاویر شب لندست به‌طور منظم در دسترس نیست و از طرفی، دربرابر نورهای کم، حساسیت نشان نمی‌دهد و نمی‌تواند آنها را ضبط کند؛ به همین دلیل برای نقشه‌برداری، بررسی و شناسایی مناطق شهری به‌طور منظم از روی نورهای مصنوعی، مناسب نیست (Levin & Phinn, 2016). ماهواره‌های دیگری مانند مادیس و استر نیز می‌توانند،

جدول ۲. مزایا و معایب داده‌های نور شب

نوع	مزایا	معایب
DMSP_OLS	✓ طی بازه زمانی طولانی (از سال ۱۹۹۲ تا ۲۰۱۳) در دسترس‌اند (Hu et al., 2017)	• در مناطق متمرکز شهری دارای اشباع است (Bennett & Smith, 2017)
	✓ داده‌های مقرون‌به‌صرفه‌ای به‌شمار می‌روند	• در حومه شهر شکوفا می‌شود
	✓ کمتر تحت تأثیر ابر، آتش‌سوزی، شفق و چنین مواردی قرار دارند (Bennett & Smith, 2017)	• قدرت تفکیک مکانی آن پایین و به‌اندازه ۱ کیلومتر است
	✓ زمان گذر آن 30: 21- 19: 30 به‌وقت محلی است (Elvidge et al., 2001)	• قدرت تفکیک رادیومتری آن پایین و شش‌بیتی است (Elvidge et al., 2013)
	✓ هر ۲۴ ساعت یک‌بار داده جمع‌آوری می‌کند (Elvidge et al., 1999)	• کانال‌های طیفی مناسب برای تفکیک انواع روشنایی ندارد
		• مأموریت آن در سال ۲۰۱۳ پایان یافت

ادامه جدول ۲.

نوع	مزایا	معایب
VIIRS	<ul style="list-style-type: none"> ✓ وضوح رادیومتری چهارده‌بیتی دارد (Elvidge et al., 2013) ✓ کالیبراسیون در پرواز (Zhao et al., 2019) ✓ وضوح مکانی آن 500 متر است ✓ دو محصول به‌صورت ماهیانه و سالیانه ارائه می‌دهد ✓ محصولات سالیانه نیاز به تصحیحات ندارند (Elvidge et al., 2021) ✓ به نور کم حساسیت بیشتری دارد ✓ شکوفایی در آن وجود ندارد و در صورت وجود، به تصحیحات اندکی نیاز دارد ✓ در مراکز شهری دچار پدیده اشباع نمی‌شود (Shi et al., 2014) ✓ دامنه پویایی گسترده‌تر از DMSP-OLS دارد (Zhao et al., 2019) ✓ هر ۲۴ ساعت یکبار داده جمع‌آوری می‌کند ✓ از سال ۲۰۱۲ در حال جمع‌آوری داده است 	<ul style="list-style-type: none"> • زمان گذر آن ساعت ۱:۳۰ به‌وقت محلی است که امکان دارد بسیاری از چراغ‌ها خاموش باشند (Elvidge et al., 2013) • تصاویر ماهیانه آن تحت تأثیر آتش و شفق و مواردی از این‌دست قرار دارد (Shi et al., 2014) • محصولات ماهیانه، در مناطق ابری شدید و در عرض‌های جغرافیایی بالا طی ماه‌های نزدیک به انقلاب تابستانی، دچار محدودیت می‌شوند • به نورهای آبی با طول‌موج کمتر از ۵/۰ میکرومتر حساس نیست (Bennett & Smith, 2017)
loujia	<ul style="list-style-type: none"> ✓ پهنای باند طیفی آن ۰/۳۱۹ میکرومتر است ✓ وضوح مکانی ۱۳۰ متر دارد (Li et al., 2018b) ✓ برای ردیابی برق در جاده‌ها و ساختمان‌های جدید مفید است ✓ زمان گذر آن حدود ساعت ۱۰ شب است ✓ هر پانزده‌روز یکبار تصویربرداری می‌کند (Li et al., 2019b) ✓ مقدار درخشندگی آن ۴۰ تا ۹۰٪ بیشتر از VIIRS است و علت آن ممکن است زمان گذر آن باشد (Wang & Shen, 2021) ✓ دامنه پویایی آن وسیع‌تر از VIIRS است (Zhao et al., 2019) ✓ وضوح رادیومتری چهارده‌بیتی دارد ✓ شکوفایی در آن وجود ندارد و در صورت وجود، به تصحیحات اندکی نیاز دارد 	<ul style="list-style-type: none"> • تصاویر چندزمانه ندارد (Li et al., 2018b) • تحت تأثیر ابرها و مهتاب تضعیف می‌شود (Wang et al., 2020) • نبود تصاویر در بازه زمانی بلند، زمان ارسال ماهواره سال ۲۰۱۸ است • دارای خطای موقعیت مکانی است (Li et al., 2019b)
ISS	<ul style="list-style-type: none"> ✓ سه باند طیفی در محدوده قابل مشاهده دارد (de Miguel et al., 2014) ✓ تصاویر رنگی با رنگ واقعی از سطح زمین ارائه می‌دهد ✓ وضوح مکانی آن بین ۵ تا ۲۰۰ متر است (Kyba et al., 2015) ✓ از طریق ایستگاه فضایی بین‌المللی برداشت می‌شود 	<ul style="list-style-type: none"> • دارای مشکلات فنی در کالیبراسیون رادیومتری است (Zhao et al., 2019) • به‌صورت منظم، از نظر مکانی و زمانی، تصویربرداری نمی‌کند (Li et al., 2018b) • به عرض‌های جغرافیایی کمتر از ۵۱/۶ درجه از خط استوا محدود است و برخی شهرهای بزرگ خارج از این محدوده قرار دارند

کرد و این باعث می‌شود، در مراکز شهرها، پدیده اشباع رخ دهد؛ در نتیجه، این داده در نشان دادن جزئیات شهری ضعیف عمل می‌کند (Zheng et al., 2019a). ازسویی، به‌علت قدرت تفکیک مکانی پایین یک کیلومتر تصاویر DMSP-OLS، به‌ویژه در مناطق حومه شهری، مناطق نورانی شناسایی شده با OLS به‌صورت مداوم بزرگ‌تر از محدوده جغرافیایی سکونتگاه‌های شهری است؛ این پدیده «شکوفایی» نامیده می‌شود (Small et al., 2005). این به‌معنی پیکسل‌هایی است که در واقعیت روی سطح زمین، جزء مناطق شهری به‌شمار نمی‌روند و بنابراین در شب روشن نیستند اما، به‌علت قدرت تفکیک مکانی پایین سنجنده، مقدار گرفته و روشن نمایش داده شده‌اند. به همین منظور، در ادامه، هریک از این مشکلات و راه‌حل‌های موجود به‌تفصیل توضیح داده شده است.

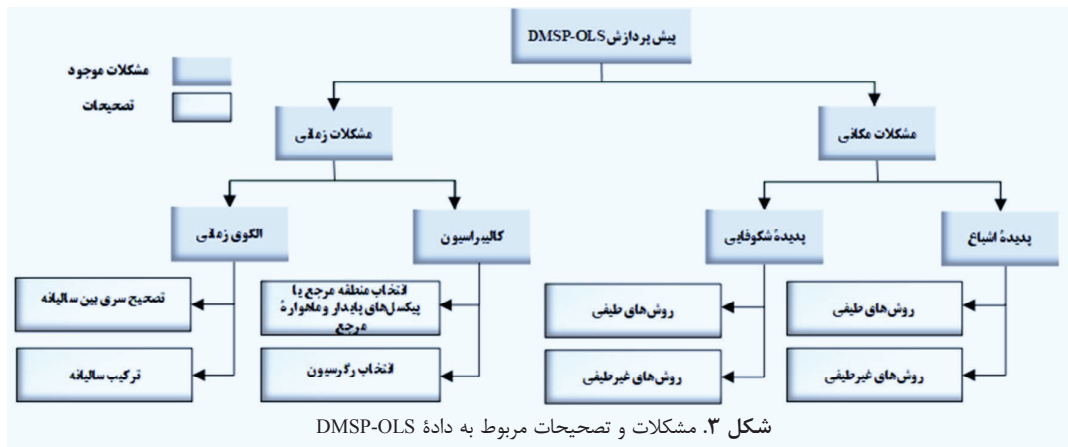
۳-۱-۱-۱-۱- پدیده اشباع درخشندگی

همان‌طور که در بخش پیشین توضیح داده شد، تصاویر DMSP-OLS دارای پدیده اشباع‌اند و در همین راستا، تلاش‌های گوناگونی برای کاهش این اثر، به دو صورت طیفی و غیرطیفی در جهت اهداف متفاوت، انجام شده است. به‌همین منظور فرمول‌ها و شاخص‌های مورد استفاده در این روش‌ها، به‌صورت خلاصه و در قالب جدول ۳، گردآوری شده است.

۳-۱-۱-۱-۲- پیش‌پردازش داده‌های نور شب DMSP-OLS
مطالعات نقشه‌برداری شهری مبتنی بر نور شب DMSP، مطابق شکل ۳، اغلب بر دو بعد مکانی و زمانی تمرکز دارد. در بعد مکانی، نواقص ذاتی این مجموعه داده، یعنی مقادیر اشباع‌شده مقادیر رقومی در مناطق مرکزی شهری و تأثیرات شکوفایی در مناطق حومه شهری و روستایی، ذکر می‌شود. در بعد زمانی، به‌دلیل نبود کالیبراسیون در پردازنده، به فرایندهای اضافی روی محصولات سالانه داده‌های پایدار نور شب DMSP، از جمله کالیبراسیون بین سنجنده‌ها و تنظیم الگوی زمانی، به‌منظور بررسی پویایی‌های شهری نیاز است (Li & Zhou, 2017b). در شکل ۳، هریک از موارد نام‌برده همراه با روش‌های موجود برای تصحیح، توضیح داده شده است.

۳-۱-۱-۲- مشکلات مکانی DMSP-OLS

داده‌های نور شب DMSP-OLS، مطابق شکل ۳، دو نقص مهم مکانی دارند؛ یعنی اثر اشباع و اثر شکوفایی. یکی از محدودیت‌های اصلی داده‌های OLS اشباع است زیرا، به‌علت شش‌بیتی بودن و محدوده دینامیکی و رادیومتریکی پایین سنجنده، سنجنده نمی‌تواند سطوح روشنایی را با مقادیر بیشتر از ۶۳ اندازه‌گیری کند (Bennett & Smith, 2017). هر پیکسلی در مراکز شهرها را که ممکن است روشن‌تر باشد و مقداری بالاتر از ۶۳ داشته باشد، نمی‌توان با مقدار واقعی آنها ثبت



شکل ۳. مشکلات و تصحیحات مربوط به داده DMSP-OLS

جدول ۳. شاخص‌ها و فرمول‌های مورد استفاده در تصحیح اشباع و شکوفایی

توضیح متغیرها	نام کامل	فرمول	رابطه #	مرجع
NDVI: شاخص تفاوت پوشش گیاهی نرمال شده	Human settlements index	$HSI = \frac{(1 - NDVI_{max}) + NTL_{normal}}{(1 - NTL_{normal}) + NDVI_{max} + NTL_{normal} \times NDVI_{max}}$	(۱)	(Lu et al., 2008)
NTL: داده نور شب		$NTL_{normal} = \frac{NTL_{max} - NTL_{MIN}}{NTL_{MAX} - NTL_{MIN}}$		
Pixel: برابر کل پیکسل‌های موجود		$\tan\theta = \frac{pixte}{DN_{ngx}}$	(۲)	Hara et al., (2010)
Dnmax: بالاترین مقدار عدد رگومی پیکسل		$countDN_x = \tan\theta (DN_{x+1} - DN_x)$		
θ: زاویه بین محور x و y و رأس مثلث به دست آمده				
DN: عدد رگومی پیکسل				
VT: عدد رگومی تجمعی منطقه نمونه				
VNS: عدد رگومی تجمعی منطقه غیراشباع				
A و B: نشان دهنده حد پایین و حد بالای تعداد کل پیکسل‌ها		$V_T = V_{Ns} + \sum_{x=A}^B (ax^3 + bx^2 + cx + d)$	(۳)	Letu et al., (2010)
ضرایب a، b، c و d به دست آمده بر اساس روش حداقل مربعات				
Y: عدد رگومی تصویر نور ثابت		$Y_{sta} = 17X_{rad} - 102$	(۴)	Letu et al., (2011)
X: عدد رگومی تصویر تابشی				
NDVI: شاخص تفاوت پوشش گیاهی نرمال شده	vegetation adjusted NTL urban index	$VANUI = (1 - NDVI) \times NTL$	(۵)	Zhang et al., (2013)
۴: ضریب رگرسیون بین مقادیر DN: نمونه پیکسل‌های روشن غیراشباع و مقادیر NDVI متناظر آنها				
NDVI: شاخص تفاوت پوشش گیاهی نرمال شده		$DN_{corrected} = a(DN_{NDVI} + NDVI_{max}) + 63$	(۶)	(He et al., 2014)
DN: عدد رگومی پیکسل				

1. Normalized Difference Vegetation Index
2. Digital Number

ادامه جدول ۳.

توضیح متغیرها	نام کامل	فرمول	رابطه #	مرجع
EVI : شاخص پوشش گیاهی تقویت شده NTL : داده نور شب نرمال شده	enhanced vegetation index (EVI)-adjusted NTL index	$EANTLI = \frac{1 + (NTL_{norm} - EVI)}{1 - (NTL_{norm} - EVI)} NTL$	(۷)	Zhuo et al.,) (2015
NDVI : شاخص تفاوت پوشش گیاهی نرمال شده LST : دمای سطح زمین NTL : داده نور شب NDWI : شاخص تفاوت آب نرمال شده NDVI : شاخص تفاوت پوشش گیاهی نرمال شده a و b : میانگین مقدار NDWI و EVI در مورد نمونه‌های شهری : شعاع ناحیه دایره گردآمده با نمونه‌های شهری d : فاصله تا مرکز دایره a و b : ضرایب رگرسیون بین پیکسل‌های تصویر مرجع و بقیه تصاویر DN : عدد رقمی پیکسل RealNDVI : مقدار واقعی شاخص پوشش گیاهی نرمال شده InterpolatedNDVI : مقدار درون‌یابی شده شاخص پوشش گیاهی نرمال شده DN : عدد رقمی پیکسل	Vegetation Temperature Light Index	$VTLI = (1 - NDVI_{max}) \times LST_{max} \times NTL$	(۸)	Hao et al.,) (2015
	Normalized Urban Areas Composite Index	$NUACI = \begin{cases} 0, & d > r, d = \sqrt{(NDWI - a_{NDWI})^2 + (EVI - b_{EVI})^2} \\ (1 - d/r) \times NTL_{norm}, & d \leq r \end{cases}$	(۹)	Liu et al.,) (2015a
	---	$DN_{corrected} = \left(\frac{DN}{a}\right)^{1/b}$	(۱۰)	Shi et al.,) (۲۰۱۶
	---	$RNDVI = real_{NDVI} - interpolated_{NDVI}$ $DN - 20 = 1793/04 \times RNDVI^2$	(۱۱)	Wang et al.,) (2017

1. Enhanced Vegetation Index
2. Land Surface Temperature
3. Normalized Difference Water Index

ادامه جدول ۳.

توضیح متغیرها	نام کامل	فرمول	رابطه #	مرجع
LST: دمای سطح زمین LSTavg: میانگین دمای سطح زمین EVI: شاخص پوشش گیاهی تقویت شده EVIavg: میانگین شاخص پوشش گیاهی تقویت شده LST: دمای سطح زمین NDVI: شاخص پوشش گیاهی نرمال شده NTL: داده نور شب	Land Surface Temperature (LST)-and-EVI-regulated-NTL-city index Temperature and vegetation adjusted NTL urban index	$LERNCI = NORM \left(\frac{LST}{LST_{avg}} + \frac{EVI_{avg}}{EVI} \right) \times NTL$ $TVANUI = \frac{\arctan(\frac{LST}{NDVI})}{\pi} \times NTL$	(۱۲) (۱۳)	Liu et al.,) (۲۰۱۷) Zhang & Li,) (2018)
GVDD: تراکم داده بردار NTLnorm: داده نور شب نرمال شده	Vector Data Adjusted NTL Index	$VDANTLI = GVDD_{norm} \times NTL_{norm}$	(۱۴)	Zheng et al.,) (2019a)
Index: میزان رشد تولید ناخالص داخلی t: سال مورد نظر DN: عدد رقمی پیکسل	---	$DN_{corrected} = \begin{cases} DN_{n,t} < 63 & DN_{n,t} \\ DN_{n,t} = 63, DN_{n,t-1} < 63 & DN_{n,t} \times (1 + index_t) \\ DN_{n,t-1} = 63 & DN_{n,t-1} \times (1 + index_t) \end{cases}$	(۱۵)	(Ji et al., 2019)
POI: نقاط مورد بهره LST: دمای سطح زمین NTL: داده نور شب	POI and LST adjusted NTL urban index	$PLANUI = \sqrt[3]{NTL \times POI \times LST}$	(۱۶)	Li et al.,) (2020b)
NTL: داده نور شب NDVI: شاخص تفاوت پوشش گیاهی نرمال شده NDWI: شاخص تفاوت آب نرمال شده	vegetation-water-adjusted NTL urban index	$VWANUI = \log(NTL) \times \begin{cases} (1 - NDVI) \times NDWI & NDWI > -0/1 \\ 0 & NDWI < -0/1 \\ 1 & NDWI < -0/1 \end{cases}$	(۱۷)	Zheng et al.,) (2021b)
VG: نسبت پوشش گیاهی BL: نسبت زمین برهنه CNTL: داده نور شب کالیبره شده	Vegetation-Bare Adjusted NTL Index	$VBNTLI = (1 - (VG_{ppp} + BL_{ppp})) \times CNTL_{norm}$	(۱۸)	Alahmadi et) (۲۰۲۱al.,

1. Grid Vector Data Density
2. Points of Interest

ادامه جدول ۳.

توضیح متغیرها	نام کامل	فرمول	رابطه #	مرجع
POI: نقاط مورد بهره RNDD: جمع طول وزن شبکه راه EVI: شاخص پوشش گیاهی تقویت شده	points of interest, road network and EVI adjusted NTL_index	$PREANTLI = norm\left(\frac{POIkernel}{POIkernel_{avg}} + \frac{RNDD}{RNDD_{avg}} + \frac{EVI_{avg}}{EVI}\right) \times NT_{Lnorm}$	(۱۹)	Huang et al., (2021)
NDWI: شاخص تفاوت آب نرمال شده NDBI: شاخص تفاوت مناطق ساخته شده نرمال شده Binery: تصویر صفر و یک (ماسک)	Enhanced Nighttime Light Urban Index	$ENUI = NTL \times (1 - NDVI) \times (1 - NDWIbinery) \times NDBIbinery$	(۲۰)	Zheng et al., (2021a)
MNDWI: شاخص تصحیح شده تفاوت آب نرمال شده NDVI: شاخص تفاوت پوشش گیاهی نرمال شده a و b: میسائینگین مقدار MNDWI و NDVI برای نمونه‌های شهری r: شعاع ناحیه دایره جمع شده با نمونه‌های شهری d: فاصله تا مرکز دایره	Modified Normalized Urban Areas Composite Index	$MNUACI = \begin{cases} 0, & d > r, \\ \sqrt{(MNDWI - a_{MNDWI})^2 + (NDVI - b_{NDVI})^2} / (1 - d/r), & d \leq r \end{cases}$	(۲۱)	Li et al., (2021c)

1. Normalized Difference Built-up Index
2. The Modified Normalized Difference Water Index

کردند. پیکسل‌های اشباع‌شده، با استفاده از محصول SPOT/VGT (S10)، مطابق رابطه (۶) تصحیح شد؛ ضریب رگرسیون بین مقادیر DN نمونه پیکسل‌های روشن غیراشباع و مقادیر NDVI متناظر آنها در محدوده شهر است (He et al., 2014). شاخص جدید EANTLI مطابق رابطه (۷) با استفاده از شاخص پوشش گیاهی EVI توسعه داده شده است (Zhuo et al., 2015). وانگ^{۱۳} و همکاران (۲۰۱۷) با تحلیل رگرسیونی و در نهایت، با استفاده از معادله‌ای مطابق رابطه (۱۱) تصحیحات را انجام دادند. در ادامه این تلاش‌ها لی‌یو^{۱۳} و همکاران (۲۰۱۷)، مطابق رابطه (۱۲) شاخصی به نام LERNCI ایجاد کردند که از شاخص پوشش گیاهی EVI در آن استفاده شده است. ژانگ و لی^{۱۴} (۲۰۱۸) با استفاده از یک شاخص جدید شهری با نام TVANUI مطابق رابطه (۱۳) با استفاده از دمای سطح زمین (LST) و شاخص پوشش گیاهی، پدیده اشباع را تصحیح کردند. آل‌احمدی^{۱۵} و همکاران (۲۰۲۱) سه منبع اطلاعات سنجش از دور را ادغام کردند تا شاخصی جدید به نام شاخص تنظیم‌شده گیاهی VBNTLI، مطابق رابطه (۱۸) ایجاد کنند این شاخص توانسته است، علاوه بر اشباع، اثر شکوفایی را نیز کاهش دهد. هوانگ^{۱۶} و همکاران (۲۰۲۱) نیز شاخص دیگری را با نام PREANTLI، مطابق رابطه (۱۹)، برای تصحیح مؤثر پیکسل‌های اشباع‌شده پیشنهاد کردند. در ادامه، طبق جدول ۱۰، این روش‌ها تقسیم‌بندی و مزایا و معایب هر یک به اختصار بیان شده است.

هارا^۱ و همکاران (۲۰۱۰) به منظور کاهش اثر اشباع، با استفاده از روشی غیرطیفی، مدلی را مطابق رابطه (۲) با نام دلتا یک ارائه کردند؛ با این فرض که توزیع نور مصنوعی در منطقه شهری به صورت مخروطی است. ایده کلی این فرض به شکل مثلثی قائم‌الزاویه برای توزیع نور است که محور x این مثلث کل پیکسل‌ها و محور y آن مقادیر پیکسل‌های مورد نظر را نشان می‌دهد. لتو^۲ و همکاران (۲۰۱۰)، مطابق رابطه (۳)، از مدل‌های رگرسیونی مکعبی استفاده کردند. آنها، در ادامه، روشی را مطابق رابطه (۴) در مقیاس پیکسل مطرح و در آن از رگرسیون بهره بردند (Letu et al., 2011). زیسکین^۳ و همکاران (۲۰۱۰) نیز از داده‌هایی استفاده کردند که در تنظیماتی بهره پایین^۴، از طریق ماهواره DMSP در شب‌هایی که نور ماه ضعیف است، به دست آمده؛ در این داده‌ها، پدیده اشباع در مراکز شهری وجود ندارد و از طریق آن، اشباع در مراکز شهری در تصویر نور پایدار، از بین می‌رود. کائو^۵ و همکاران (۲۰۱۴) روش ساده‌ای مبتنی بر تولید ناخالص داخلی ایجاد کردند. شی^۶ و همکاران (۲۰۱۶) نیز روش منطقه ثابت و رگرسیون را مطابق رابطه (۱۰)، برای حل اشباع، به کار بردند. ژنگ^۷ و همکاران (۲۰۱۹a) استفاده از مجموعه داده‌های برداری به منزله پارامتر کمکی را پیشنهاد کردند و شاخص VDANTLI مطابق رابطه (۱۴) ایجاد شد. جی^۸ و همکاران (۲۰۱۹)، مطابق رابطه (۱۵)، با استفاده از داده تولید ناخالص داخلی اثر اشباع را تصحیح کردند. هو^۹ و همکاران (2021) روش تصحیح اشباع جدیدی را براساس مدل رگرسیونی و داده‌های NTL کالیبره شده تابش، پیشنهاد کردند.

درزمره استفاده از روش‌های طیفی به منظور کاهش اشباع در سال‌های اخیر، لو^{۱۰} و همکاران (۲۰۰۸) شاخصی به نام HSI را مطابق رابطه (۱) پیشنهاد کردند. به دلیل وجود اشکالاتی در HSI، ژانگ^{۱۱} و همکاران (۲۰۱۳) شاخص VANUI را مطابق رابطه (۵) مطرح

1. Hara	2. Letu
3. Ziskin	4. Low Gain
5. Cao	6. Shi
7. Zheng	8. Ji
9. Hu	10. Lu
11. Zhang	12. Wang
13. Liu	14. Li
15. Alahmadi	16. Huang

جدول ۴. تقسیم‌بندی روش‌های مورد استفاده، مزایا و معایب هریک با هدف تصحیح پدیده اشباع داده DMSP-OLS

روش‌های تصحیح اشباع			
روش‌های غیرطبیعی (فقط از داده نور شب یا داده‌های آماری برای کمک استفاده می‌شود)			
روش	مزایا و معایب	روش	مزایا و معایب
مدل دلتاتیک (سال ۲۰۱۰)	<p>مزایا</p> <ul style="list-style-type: none"> ✓ شهرهای کوچک با شدت نور کم که در یک شبه‌جزیره پراکنده شده‌اند، به‌منزله منطقه شهری، متمایز می‌شوند ✓ برای تخمین مصرف برق مناسب است <p>معایب</p> <ul style="list-style-type: none"> • محاسبه این روش برای تک‌تک شهرها دشوار است 	<p>مزایا</p> <ul style="list-style-type: none"> ✓ تصحیح اشباع بدون استفاده از اطلاعات جانبی <p>معایب</p> <ul style="list-style-type: none"> • امکان اعمال درحد پیکسل را ندارد • جزئیات مکانی حفظ نمی‌شود • توانایی شناسایی پیکسل‌های تحت اشباع را ندارد • در مقیاس‌های بزرگ‌تر کاربرد ندارد 	
افزودن داده‌های با تنظیم کم‌بهره (سال ۲۰۱۰)	<p>مزایا</p> <ul style="list-style-type: none"> ✓ مراکز روشن شهری با جزئیات دقیق‌تر گرفته می‌شود <p>معایب</p> <ul style="list-style-type: none"> • بسیار پرهزینه است • صرفاً درمورد سال‌های معینی اجرایی است 	<p>مزایا</p> <ul style="list-style-type: none"> ✓ می‌توان آن را درحد پیکسل اعمال کرد <p>معایب</p> <ul style="list-style-type: none"> • امکان استفاده از آن در شهرهای درحال توسعه فراهم نیست 	
با استفاده از داده تولید ناخالص داخلی (سال ۲۰۱۴)	<p>مزایا</p> <ul style="list-style-type: none"> ✓ روشی ساده است ✓ اطلاعات مکانی را حفظ می‌کند <p>معایب</p> <ul style="list-style-type: none"> • اگر درمورد شهرهای متفاوت به این تصحیح نیاز باشد، دسترسی به داده تولید ناخالص داخلی سخت است 	<p>مزایا</p> <ul style="list-style-type: none"> ✓ اجرای آن آسان است ✓ علاوه‌بر کاهش اشباع، کالیبراسیون نیز انجام می‌دهد ✓ برای تخمین مصرف برق مناسب است <p>معایب</p> <ul style="list-style-type: none"> • در مناطقی که با رکود اقتصادی مواجه‌اند، ممکن است برای تخمین مصرف برق مناسب نباشد 	
شاخص VDNAN (سال ۲۰۱۸)	<p>مزایا</p> <ul style="list-style-type: none"> ✓ از پوشش گیاهی استفاده نکرده است ✓ تفاوت درخشندگی روشنایی آن بسیار است و وضوح مکانی بهتری دارد <p>معایب</p> <ul style="list-style-type: none"> • در زمان دستیابی شبکه داده‌های جاده‌ها، POI و NTL مغایرت دیده می‌شود • داده جهانی شبکه جاده‌های چندسطحی و داده POI وجود ندارد 	<p>مزایا</p> <ul style="list-style-type: none"> ✓ از میزان رشد تولید ناخالص داخلی به‌منزله پارامتر اصلاحی استفاده می‌کند ✓ مزایای آن دسترسی آسان، کیفیت مورد اعتماد و بازتاب تغییرات سالیانه است <p>معایب</p> <ul style="list-style-type: none"> • درصورت اجرا برای هر شهر کوچک، دسترسی به داده تولید ناخالص داخلی مشکل است 	
مدل رگرسیون و داده‌های NTL کالیبره‌شده تابش (سال ۲۰۲۱)	<p>مزایا</p> <ul style="list-style-type: none"> ✓ داده‌های جدید به‌دست آمده، از نظر مکانی، با VIIRS سازگار است ✓ از محصولات NTL کالیبره‌شده و پایدار، بهتر استفاده می‌کند ✓ از انتخاب پیکسل آموزش و مدل لگاریتمی و نیز تنظیم دوساله بهره می‌برد <p>معایب</p> <ul style="list-style-type: none"> • هرساله باید مدل رگرسیون اجرا شود • زمان‌بر است 		

ادامه جدول ۴.

روشن‌های تصحیح اشباع			
روشن‌های طیفی (از داده‌های دیگر ماهواره‌ها برای کمک استفاده می‌شود)			
مزایا و معایب	روش	مزایا و معایب	روش
<p>مزایا</p> <ul style="list-style-type: none"> ✓ از NDVI استفاده می‌کند ✓ اختلاف بین مقادیر پیکسل‌های مناطق شهری و غیرشهری افزایش می‌یابد ✓ اجرای آن ساده است <p>معایب</p> <ul style="list-style-type: none"> • تغییرپذیری آن، در مناطق با پوشش گیاهی کم، اندک است • برای مناطق در حال رشد با سرعت بالا نامناسب است 	شاخص VANUI (سال ۲۰۱۳)	<p>مزایا</p> <ul style="list-style-type: none"> ✓ از NDVI بهره می‌برد ✓ اشباع را در مراکز شهرها کاهش می‌دهد ✓ اجرای آن آسان و کم‌هزینه است ✓ می‌توان در مقیاس جهانی و منطقه‌ای از آن استفاده کرد <p>معایب</p> <ul style="list-style-type: none"> • در مناطق دارای پوشش گیاهی فراوان، کاربرد دارد • بین پوشش گیاهی و حداکثر روشنایی، تناقض برقرار است • در منطقه انتقال که در مجاورت منطقه اصلی شهری است، سبب اصلاح بیش‌از حد می‌شود 	شاخص HSI (سال ۲۰۰۸)
<p>مزایا</p> <ul style="list-style-type: none"> ✓ شکوفایی را نیز کاهش داده است ✓ جزئیات در مراکز شهری را نمایش می‌دهد ✓ در نشان دادن تفاوت جزئیات درخشندگی نور شب، تأثیری بهتر از VANUI دارد <p>معایب</p> <ul style="list-style-type: none"> • در مناطقی مرکب از آب و زمین، محدودیت‌هایی دارد 	شاخص EANTLI (سال ۲۰۱۵)	<p>مزایا</p> <ul style="list-style-type: none"> ✓ یک‌به‌یک پیکسل‌های اشباع‌شده را تصحیح می‌کند ✓ مصرف برق را به‌خوبی تخمین می‌زند ✓ در مناطق کوچک نیز پاسخگو بوده است <p>معایب</p> <ul style="list-style-type: none"> • بین داده نور شب و پوشش گیاهی، رگرسیون اعمال شده است • تحلیل رگرسیونی تحت تأثیر انتخاب نمونه‌هاست 	استفاده از محصول SPOT/VGT (S10) (سال ۲۰۱۴)
<p>مزایا</p> <ul style="list-style-type: none"> ✓ شاخص LST و NDVI را به‌کار می‌برد ✓ برای نقشه‌برداری از وسعت شهری، در مقیاس منطقه‌ای، سودمند است <p>معایب</p> <ul style="list-style-type: none"> • در شهرهای خشک و نیمه‌خشک و کویری، محدودیت دارد • مناطق گوناگون شهری با ویژگی‌های متفاوت (مانند اندازه و جمعیت) مقادیر TVANUI مشابه دارند 	شاخص TVANUI (سال ۲۰۱۸)	<p>مزایا</p> <ul style="list-style-type: none"> ✓ از LST و EVI استفاده می‌کند ✓ جزئیات ساختاری هسته‌های شهری را شناسایی می‌کند ✓ با الگوهای مکانی شهری، مطابقت بهتری دارد <p>معایب</p> <ul style="list-style-type: none"> • در مناطق با پوشش گیاهی اندک، دارای محدودیت است • در مناطق با رشد LST پایین، محدودیت دارد 	شاخص LERNCI (سال ۲۰۱۷)
<p>مزایا</p> <ul style="list-style-type: none"> ✓ مناسب مناطق خشک و نیمه‌خشک است ✓ در مناطق پرجمعیت، دامنه مقادیر افزایش می‌یابد ✓ علاوه‌بر اشباع، اثر شکوفایی هم کاهش می‌یابد <p>معایب</p> <ul style="list-style-type: none"> • ممکن است در شهرهای غیرخشک تأثیر کافی نداشته باشد 	شاخص VBANTLI (سال ۲۰۲۱)	<p>مزایا</p> <ul style="list-style-type: none"> ✓ در هسته‌های شهری، مقادیر روشنایی تنوع بیشتری دارد ✓ نتایج، با داده تولید ناخالص داخلی، همبستگی قوی دارد <p>معایب</p> <ul style="list-style-type: none"> • در مقیاس جهانی نامناسب است • پیکسل‌های کمی اشباع‌شده را تصحیح نکرده است • در مناطق مرکز شهری کافی نیست 	تصحیح با استفاده از مقدار نسبی شاخص NDVI (سال ۲۰۱۸)

ادامه جدول ۴.

روش‌های تصحیح اشباع	
مزایا و معایب	روش
مزایا ✓ روشی ساده و بدون محاسبات پیچیده است ✓ ظرفیت نمایش تفاوت‌ها در شدت نور را دارد	شاخص PREANTLI (سال ۲۰۲۱)
معایب • تاحدی تحت تأثیر کیفیت داده‌های POI (شامل کمیت، توزیع و نوع آن) قرار دارد • دسته‌بندی و وزن‌دهی به‌صورت ذهنی به شبکه‌های جاده‌ای انجام می‌شود	

۳-۱-۱-۲- پدیده شکوفایی

همان‌طور که در ابتدای بخش توضیح داده شد، تصاویر DMSP-OLS دچار پدیده شکوفایی‌اند؛ یعنی روشن‌بودن و مقدارداشتن پیکسل‌ها فراتر از مناطق شهری. از این رو طبق معمول، روش‌هایی مبتنی بر آستانه و طبقه‌بندی، در حل مشکل شکوفایی به‌کار می‌رود. هدف اصلی این‌گونه مطالعات فقط استخراج مناطق ساخته‌شده بر مبنای تصاویر DMSP-OLS با آثار شکوفایی بود (Zhuo et al., 2021). از این منظر، ایده اصلی این روش‌ها پیشنهاد روشی برای تصحیح نبود و صرفاً چند مطالعه اثر شکوفایی را به‌طور کمی و کلی ارزیابی کرده‌اند. به همین دلیل، در این مطالعه سعی شده است به این روش‌ها و روش‌های قدیمی‌تر که معروف‌ترند اشاره شود. این در حالی است که بسیاری از روش‌ها و شاخص‌های مورد اشاره برای حل اشباع، در بخش پیشین، می‌توانند شکوفایی را نیز کاهش دهند. اسمال^۱ و همکاران (۲۰۰۵) از روش تصحیحی وابسته به مقیاس استفاده کردند. کائو و همکاران (۲۰۰۹) یک الگوریتم پشتیبانی منطقه، بر پایه ماشین بردار پشتیبان را برای استخراج مناطق ساخته‌شده، پیشنهاد دادند که در این بین، اثر شکوفایی نیز تصحیح شده است. در ادامه، مدل حذف (ORM)^۲ ایجاد شد (Townsend & Bruce, 2010). تن^۳ (۲۰۱۶) از تولید بافرهای درونی استفاده کرد. ابراهامز^۴ (۲۰۱۸) تصاویر را براساس این فرض که نور از طریق یک تابع متقارن نقطه گستر

گاوسی (PSF)^۵ تار شده است، تصحیح کرد. کائو و همکاران (۲۰۱۹) نیز مدل خودتنظیم ساده‌ای (SEAM)^۶ ایجاد کردند. ژنگ و همکاران (۲۰۲۰) مفهوم جدید «تصحیح اثر شکوفایی پیکسل» (PiBE)^۷ را پیشنهاد کردند. ژو^۸ و همکاران (۲۰۲۱) روش SEAM را بهبود بخشیدند و با استفاده از iSEAM^۹، شکوفایی را تصحیح کردند.

در روش‌های طیفی، هائو^{۱۰} و همکاران (۲۰۱۵) شاخص طیفی جدید VTLI را مطابق رابطه (۸) و لی‌یو و همکاران (۲۰۱۵a) نیز یک شاخص NUACI را مطابق رابطه (۹) ایجاد کردند. لی و همکاران (۲۰۲۰b) شاخصی به نام PLANUI را مطابق رابطه (۱۶) پیشنهاد کردند. این شاخص برای داده‌های نور شب دیگری پیشنهاد شده است اما می‌توان آن را در مورد داده OLS نیز به‌کار برد. ژنگ و همکاران (۲۰۲۱b) شاخص VWANUI را مطابق رابطه (۱۷) معرفی کردند که علاوه بر شکوفایی، اشباع را نیز کاهش می‌دهد. این محققان (۲۰۲۱a) شاخصی را برای کاهش اثر

1. Small
2. Overglow Removal Model
3. Tan
4. Abrahams
5. Point-Spread Function
6. Self-Adjusting Model
7. Pixel Blooming Effect
8. Zhuo
9. Improved Seam Model
10. Hao

شکوفایی، با نام شاخص شهری روشن شبانه پیشرفته ENUI، مطابق رابطه (۲۰) پیشنهاد کرده‌اند؛ البته این شاخص برای حذف اثر شکوفایی در داده‌های نور شب VIIRS معرفی شده است. لی و همکاران (۲۰۲۱c) نیز شاخص طیفی شهری جدیدی، به نام

شاخص ترکیبی مناطق شهری تصحیح‌شده نرمال MNUACI را مطابق رابطه (۲۱)، برای تصحیح اثر شکوفایی در داده‌های لوجیا، مطرح کردند. مزایا و معایب هر یک از این روش‌ها به اختصار در جدول ۵ بیان شده است.

جدول ۵. تقسیم‌بندی روش‌های مورد استفاده، مزایا و معایب هر یک برای تصحیح پدیده شکوفایی داده DMSP-OLS

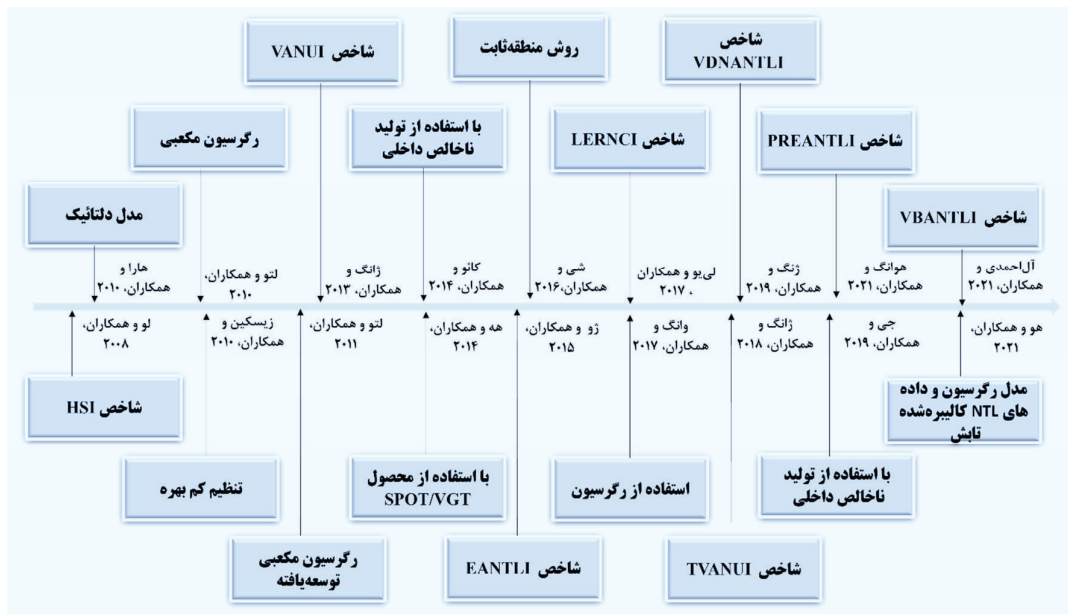
روش‌های تصحیح شکوفایی			
روش‌های غیرطیفی			
روش	مزایا و معایب	روش	مزایا و معایب
روش تصحیح شکوفایی وابسته به مقیاس (سال ۲۰۰۵)	<p>مزایا</p> <ul style="list-style-type: none"> ✓ شکوفایی را بدون حذف مناطق مسکونی کوچک، حذف می‌کند <p>معایب</p> <ul style="list-style-type: none"> • اثربخشی این روش در مناطق غیر ساحلی تأیید نشده است 	روش ماشین بردار پشتیبان (سال ۲۰۰۹)	<p>مزایا</p> <ul style="list-style-type: none"> ✓ پیکسل‌های شهری را از طریق رشد منطقه، شناسایی می‌کند ✓ افزون‌بر شکوفایی، اشباع را نیز کاهش می‌دهد <p>معایب</p> <ul style="list-style-type: none"> • زمان‌بر است • مناطق کوچک شهری را نادیده می‌گیرد
روش ORM (سال ۲۰۱۰)	<p>مزایا</p> <ul style="list-style-type: none"> ✓ دقت مکانی افزایش می‌یابد ✓ مصرف برق را به‌درستی تخمین می‌زند <p>معایب</p> <ul style="list-style-type: none"> • نیاز این روش به داده‌های کمکی باعث می‌شود در کشورهای در حال توسعه مناسب نباشد 	استفاده از بافر (سال ۲۰۱۶)	<p>مزایا</p> <ul style="list-style-type: none"> ✓ مستقیماً برای استخراج مناطق شهری استفاده می‌شود <p>معایب</p> <ul style="list-style-type: none"> • درمورد مناطق وسیع که دارای ناهمگنی مکانی‌اند، باید احتیاط شود
استفاده از فیلترهای گاوسی و فرکانس‌های روشنایی (سال ۲۰۱۸)	<p>مزایا</p> <ul style="list-style-type: none"> ✓ از داده‌های کمکی طیفی مستقل است <p>معایب</p> <ul style="list-style-type: none"> • در کشورهای گرمسیری دقت کمتری دارد • به ثبت فرکانس‌های روشنایی هر پیکسل نیازمند است 	مدل خود تنظیم SEAM (سال ۲۰۱۹)	<p>مزایا</p> <ul style="list-style-type: none"> ✓ به داده جانبی نیاز ندارد ✓ کاربردی و آسان است ✓ تصاویر DMSP پس از تصحیح شباهت بسیاری به تصاویر VIIRS دارد <p>معایب</p> <ul style="list-style-type: none"> • زمان محاسباتی آن بالاست
مدل PBIE (سال ۲۰۲۰)	<p>مزایا</p> <ul style="list-style-type: none"> ✓ از نظر محاسباتی، کارآمد است ✓ چراغ‌های شبه‌روشن پوشانده می‌شوند <p>معایب</p> <ul style="list-style-type: none"> • در برخی موارد، شکوفایی بیش‌ازاندازه تصحیح می‌شود • برای اندازه‌گیری اثر شکوفایی در فضای داخلی شهری کافی نیست 	بهبود یافته روش SEAM (سال ۲۰۲۱)	<p>مزایا</p> <ul style="list-style-type: none"> ✓ ناهمگنی مکانی بیشتری دارد ✓ کاستی‌های روش SEAM را بهینه می‌کند ✓ تصاویر DMSP، پس از تصحیح، شباهت بسیاری به تصاویر VIIRS دارد <p>معایب</p> <ul style="list-style-type: none"> ✓ زمان محاسباتی آن کمتر از SEAM است • مرزهای تقسیم‌بندی در دقت روش SEAM تأثیر می‌گذارد • زمانی که اشیای نوری تقسیم‌بندی شده خیلی کوچک باشند، ناپیوستگی روشنایی نور به وجود می‌آید • نوبز موجود در تصویر DMSP-OLS ممکن است در حل مجموعه‌ای از معادلات تعاملی روشنایی تأثیر بگذارد

ادامه جدول ۵.

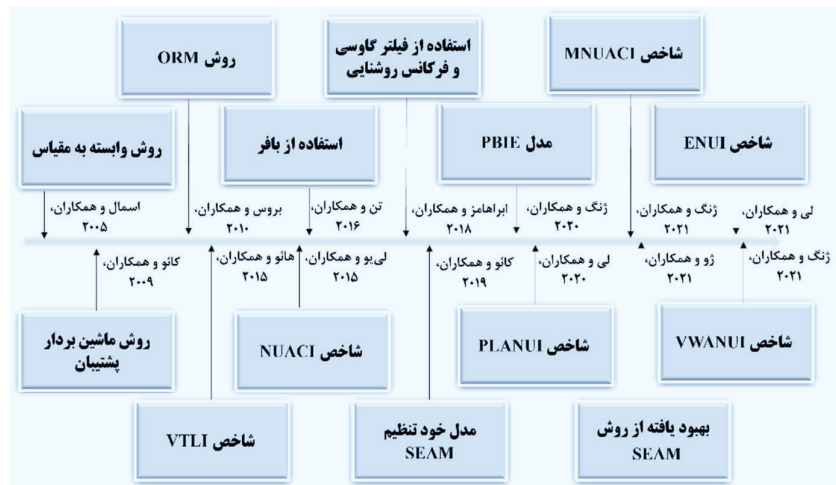
روش‌های تصحیح شکوفایی			
روش‌های طیفی			
روش	مزایا و معایب	روش	مزایا و معایب
روش شاخص NUACI (سال ۲۰۱۵)	<ul style="list-style-type: none"> ✓ علاوه بر شکوفایی، اشباع را نیز کاهش می‌دهد ✓ تغییرپذیری و تمایز درون شهر افزایش می‌یابد ✓ برای مناطق با پوشش گیاهی اندک مناسب است 	شاخص VTLI (سال ۲۰۱۵)	<ul style="list-style-type: none"> ✓ علاوه بر شکوفایی، اشباع را نیز کاهش می‌دهد ✓ از NDVI و LST استفاده می‌کند ✓ مناسب مناطق خشک و نیمه‌خشک است
	<ul style="list-style-type: none"> • مناطق شهری در مناطق کم‌نور نادیده گرفته می‌شود 		<ul style="list-style-type: none"> • اثربخشی و انعطاف‌پذیری پایینی دارد
شاخص PLANUI (سال ۲۰۲۰)	<ul style="list-style-type: none"> ✓ درمورد هر داده نور شب، با هر وضوح مکانی، امکان اجرای آن وجود دارد ✓ دقت استخراج مناطق ساخته‌شده افزایش می‌یابد ✓ اجرای آن آسان است 	شاخص VWANUI (سال ۲۰۲۱)	<ul style="list-style-type: none"> ✓ افزون‌بر شکوفایی، اشباع را نیز کاهش می‌دهد. ✓ شکوفایی را از مناطق دارای پوشش آبی و گیاهی در مراکز شهری، حذف می‌کند ✓ اجرای آن آسان است ✓ در مقیاس بزرگ، با هزینه اندک اجرایی می‌شود ✓ در دامنه مقادیر، در مراکز شهری، تنوع بیشتری پدید می‌آید
	<ul style="list-style-type: none"> • در مناطق اطراف مناطق بسیار توسعه‌یافته شهری دچار خطا می‌شود • در مناطق شهری با سرعت رشد اندک، دچار خطا می‌شود 		<ul style="list-style-type: none"> • در شهرهای خشک و نیمه‌خشک، محدودیت دارد
شاخص ENUI (سال ۲۰۲۱)	<ul style="list-style-type: none"> ✓ در منطقه مرکزی شهری، تنوع نور شبانه را افزایش می‌دهد ✓ شکوفایی در پوشش‌های آبی و پوشش گیاهی کاهش می‌یابد 	شاخص MNUACI (سال ۲۰۲۱)	<ul style="list-style-type: none"> ✓ تمایز اجزای شهری را بهبود و تنوع درخشندگی شبانه را افزایش می‌دهد (علاوه بر حذف شکوفایی، می‌تواند اشباع را نیز کاهش دهد) ✓ دقت شناسایی مناطق ساخته‌شده غیرروشن را بهبود می‌بخشد
	<ul style="list-style-type: none"> • فقط روی داده VIIRS بررسی شده است 		<ul style="list-style-type: none"> • استخراج پارامترهای دقیق d و α با استفاده از داده‌های نمونه آماری مناطق شهری، دشوار و پیچیده است • صرفاً درمورد لوجیا بررسی شده است • مناطق کم‌نور در حومه شهر را حذف می‌کند

طبق شکل‌های ۴ و ۵، می‌توان نتیجه گرفت در تحقیقات جدیدتر، تمرکز بیشتری روی استفاده از داده‌های کمکی بوده است و محققان به روش‌های طیفی بیشتر توجه نشان داده‌اند.

تمامی روش‌های مورد استفاده و تحقیقات انجام‌شده به‌منظور حل مشکلات مکانی اشباع و شکوفایی، به‌صورت سری زمانی مطابق شکل ۴ و شکل ۲ نیز بیان شده است.



شکل ۴. سری زمانی روش‌های انجام‌شده به‌منظور تصحیح اشباع داده DMS-OLS



شکل ۲. سری زمانی روش‌های انجام‌شده به‌منظور تصحیح شکوفایی داده DMS-OLS

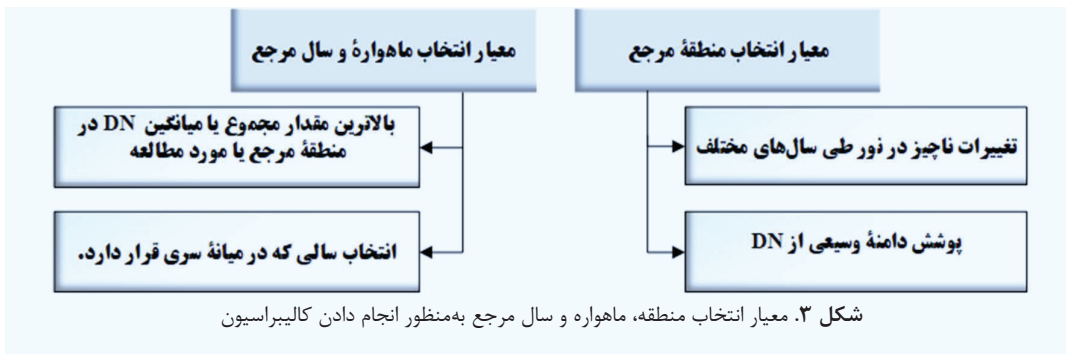
۳-۱-۲-۱- کالیبراسیون داده‌های سالیانه نور شب به‌دلیل نبود کالیبراسیون در پردازنده، محصول کامپوزیت سالیانه نور شب پایدار DMS/OLS را که از سنجنده‌های چندگانه و سال‌های متفاوت حاصل می‌شود، نمی‌توان مستقیماً مقایسه کرد. مطالعات گوناگونی، برای تنظیم مجموعه داده، به‌منظور دستیابی

۳-۱-۲- مشکلات زمانی داده‌های DMS-OLS سری زمانی داده‌های نور شب DMS را به‌دلیل فقدان کالیبراسیون در پردازنده، شرایط جوی متنوع، تغییر ماهواره و کاهش سنجنده نمی‌توان مستقیماً برای تغییرات دینامیکی طی سال‌های متفاوت، مقایسه کرد (Zhao et al., 2019).

به سری زمانی سازگار و مقایسه‌پذیری انجام شده است. الویج^۱ و همکاران (۲۰۰۹)، با شناسایی منطقه‌ای مرجع که در طول سال‌ها نسبتاً پایدار و درعین حال حاوی مقادیر گوناگون DN است، برای محصولات سالیانه نور شب چارچوبی ساختند که سه مرحله اصلی را شامل می‌شود و چارچوبی با بیشترین کاربرد به‌شمار می‌رود. در نخستین مرحله کالیبراسیون، طبق دستور و چارچوب الویج و همکاران (۲۰۰۹)، منطقه‌ای مرجع با معیارهایی طبق شکل ۳ انتخاب می‌شود. این محققان، در پژوهش‌های خود، منطقه سیسیل را برگزیدند و علاوه بر این، مناطق دیگری برای اهداف گوناگون انتخاب شدند (Li et al., 2016; Liu et al., 2012; Pandey et al., 2013; Tan, 2015; Wu et al., 2013). تلاش‌های دیگری نیز با تغییرات بیشتر، برای به‌دست‌آوردن پیکسل‌های پایدار با رویکردهای بهبودیافته به‌صورت خودکار و نیمه‌خودکار، به‌منزله مرجع برای کالیبراسیون انجام شده است (Li et al., 2013a; Li et al., 2018a; Liu et al., 2015b; Mukherjee et al., 2019b; Zhang et al., 2016; Zheng et al., 2017). لی و ژو^۲ (۲۰۱۷a)، به‌شیوه‌ای متفاوت، استراتژی کالیبراسیون مرحله‌به‌مرحله‌ای تهیه کردند. علاوه‌براین مطالعات

گوناگونی، با توجه به بازه زمانی مورد مطالعه و منطقه مرجع، ماهواره‌های متفاوتی را در جایگاه ماهواره مرجع انتخاب کرده‌اند. بیشتر کارهایی که به درج مجدد سری نور شب نیاز دارند این مراحل یادشده را دنبال می‌کنند. پس از انجام دادن مراحل مورد اشاره باید، با استفاده از رگرسیون، عددی‌های رقومی کالیبره‌شده را به‌دست آورد. معروف‌ترین مدل که الویج معرفی کرده است و در بیشتر تحقیقات استفاده می‌شود، مطابق رابطه (۲۲) چندجمله‌ای درجه دوم است. درعین حال بنی^۳ و همکاران (۲۰۱۴) روشی بر مبنای رگرسیون چندجمله‌ای مرتبه شش مطرح کردند. وو^۴ و همکاران (۲۰۱۳)، با مقایسه مقدار R^2 پنج مدل رگرسیون (نمایی، خطی، لگاریتمی، درجه دوم و توان)، دریافتند که تابع توان بهترین نتیجه را می‌دهد. لی‌یو و همکاران (۲۰۱۵b) مدل رگرسیون مرتبه اولی را پیشنهاد کردند. شین^۵ و همکاران (۲۰۱۷) نیز از یک رشنال فانکشن و ژنگ و همکاران (۲۰۱۹b) هم از یک رگرسیون چندجمله‌ای درجه سوم بهره برده‌اند.

$$DN = a \times DN^2 + b \times DN + c \quad (22) \text{ رابطه}$$



1. Elvidge
2. Zhou
3. Bennie
4. Wu
5. Xin

۳-۲-۱-۲- تنظیم الگوی زمانی

ارزیابی الگوی زمانی داده‌های سالیانه نور شب از نظر سازگاری برای بررسی روند پراکندگی شهری، به‌ویژه در مناطق در حال توسعه، بسیار مهم است (Liu et al., 2014a; Ma et al., 2012). به همین منظور پس از انجام کالیبراسیون بین داده‌ها، ترکیب سالیانه و تصحیح سری بین سالیانه با معیارهایی مطابق شکل ۴ انجام می‌شود. هدف از ترکیب سالیانه حذف هر پیکسل روشن ناپایدار درون سالی است و تصحیح سری بین سالیانه می‌تواند اختلافات بین سالیانه مقادیر DN را به حداقل کاهش دهد (Gao et al., 2015). از آنجاکه در برخی سال‌ها دو ماهواره تصویر اخذ می‌کند، اختلافاتی بین مقادیر تصویرهای دو ماهواره، موجود از یک سال، وجود دارد که با ترکیب سالیانه تصحیح می‌شوند. همچنین وقتی نورها فقط از یک ماهواره یافت می‌شوند، به‌منزله نورهای ناپایدار سالیانه تعریف می‌شوند و باید با مقادیر صفر جایگزین شوند. نکته دیگر آن است که به‌طور طبیعی، مقادیر DN موجود برای سال‌های بالاتر، باید بزرگ‌تر باشد که در تعدادی از پیکسل‌ها این موضوع نقض می‌شود؛ به همین منظور، لی‌یو و همکاران (۲۰۱۲) تصحیح سری بین سالیانه را برای تصحیح پیکسل‌های غیرطبیعی، پیشنهاد کردند. رویکردهای مشابه را نیز می‌توان در تحقیقات دیگر یافت (Huang et al., 2016; Liu et al., 2011). روش

پیشنهادی ژائو^۱ و همکاران (۲۰۱۴) این‌گونه بود که داده‌های سری زمانی نورهای شبانه سازگارتر و مورد اطمینان‌تر نور شب را درمورد چین و ایالات متحده، از طریق چهار مرحله به‌دست آوردند. لی‌یو و لئونگ^۲ (۲۰۱۵) تصحیح دوطرفه‌ای را پیشنهاد کردند. در پژوهش لی‌یو و همکاران (۲۰۱۵b) نیز، روش متوسط متحرکی مطرح شده است.

بنابراین تمامی روش‌ها و تحقیقات انجام‌شده با هدف کالیبراسیون در تصاویر نور شب DMSP به‌صورت سری زمانی، مطابق شکل ۵، بیان شده است.

از شکل ۵ می‌توان به این نتیجه رسید که در تحقیقات جدیدتر، تمرکز بیشتری روی کالیبراسیون با مقادیر پیکسل‌های به‌دست‌آمده به‌صورت خودکار و نیمه‌خودکار وجود دارد و محققان به روش‌های پیکسل‌های پایدار توجه بیشتری نشان داده‌اند.

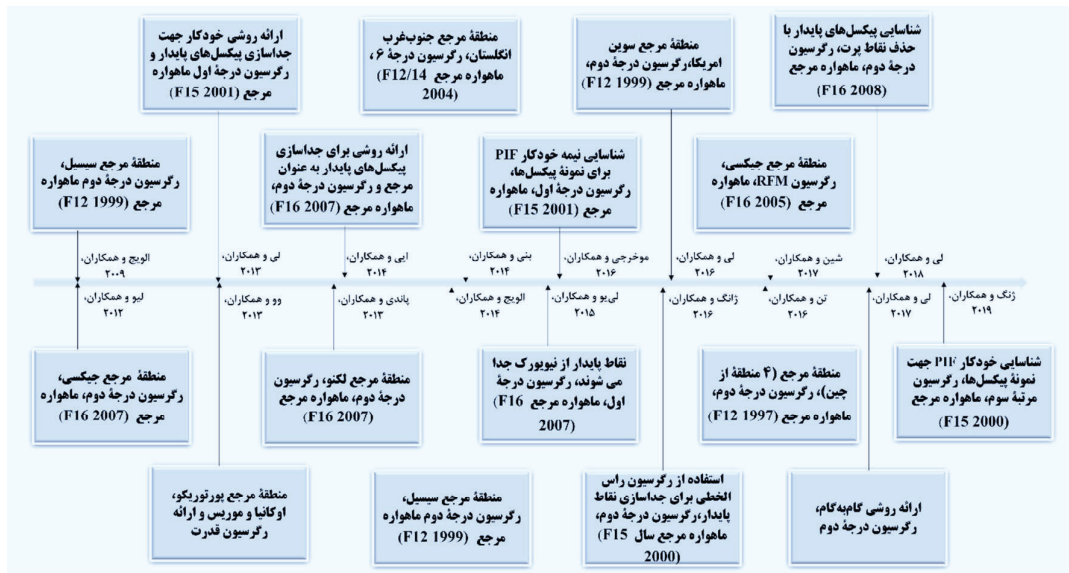
۳-۲- تصحیح داده‌های نور شب VIIRS

تصاویر ماهیانه NPP-VIIRS محصولی است که علاوه بر مقادیر نورهای ثابت، مانند چراغ‌های شهرها، مسیرهای حمل‌ونقل، مقادیری نویزی مانند شعله‌های گاز و سوختن زیست‌توده و نویز پس‌زمینه را نیز شامل می‌شود؛ به همین دلیل پیش از استفاده، باید پردازش شود. بدین‌منظور لی و همکاران (۲۰۱۳b) فرایند ساده‌ای را پیشنهاد کردند و یک ماسک، با تمامی



شکل ۴. خلاصه روند تنظیم الگوی زمانی و هدف آن

1. Zhao
2. Leung



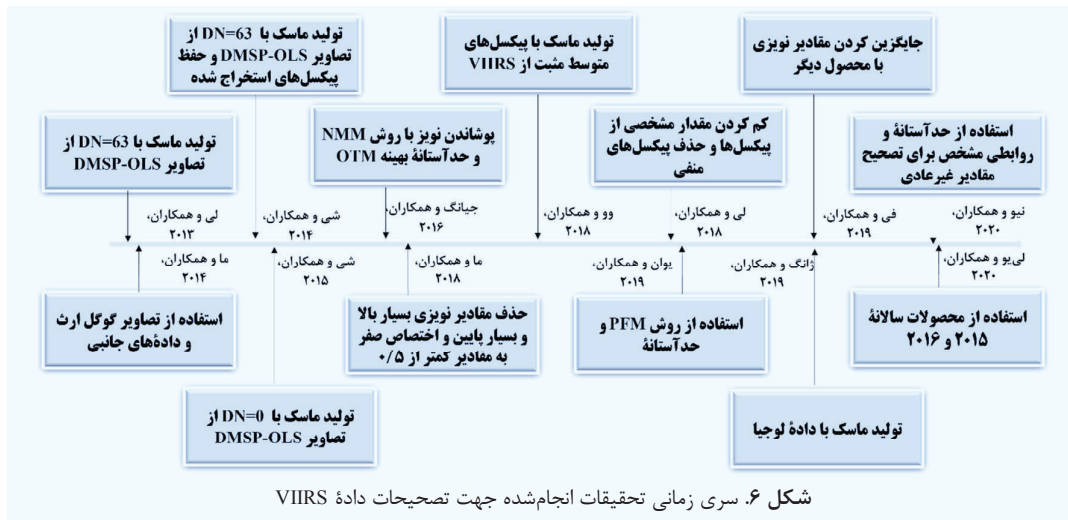
شکل ۵. سری زمانی تحقیقات انجام شده به منظور حل مشکلات زمانی (کالیبراسیون) داده DMSP-OLS

تصویر در توسعه یافته‌ترین منطقه قرار دارد؛ از این رو یوان^۴ و همکاران (۲۰۱۹) از روش PFM^۵ بهره بردند. ژانگ و همکاران (۲۰۱۹) نیز با استفاده از فرض روش لی (۲۰۱۳b) و شی (۲۰۱۴) و با استفاده از داده لوجیا، به جای تصاویر DMSP به‌منزله تصویر مبنا برای تولید ماسک مناطق روشن یکسان، به تصحیح این تصاویر پرداختند. شی^۶ و همکاران (۲۰۱۹) مقادیر تحت تأثیر نور سرگردان (نسخه vcm کامپوزیت‌های ماهیانه با مقادیر vmsl از همان ماه) را جایگزین کردند. پان^۷ و همکاران (۲۰۲۰) نیز فرضی مشابه شی^۶ و همکاران را در نظر گرفتند و سپس داده‌ها را تصحیح کردند. لی^۱ و همکاران (۲۰۲۰) از داده سالیانه^{۲۰۱۵} و ۲۰۱۶ برای حذف نویز استفاده کردند. نی^۸ و همکاران (۲۰۲۰) نیز حد آستانه‌ای را برای به‌دست آوردن مقادیر پایدار، در نظر گرفتند و پس از آن، با روابطی، مقادیر غیرعادی را تصحیح کردند. در شکل ۶، روند پیشرفت تحقیقات انجام شده در این زمینه، به‌طور خلاصه بیان شده است.

پیکسل‌های دارای مقادیر بزرگ‌تر از صفر DMSP-OLS را در سال ۲۰۱۰ تهیه کردند. شی^۱ و همکاران (۲۰۱۴)، با فرضی مشابه لی (۲۰۱۳)، این داده را پیش‌پردازش کردند. ما^۲ و همکاران (۲۰۱۴b) درخشان‌ترین مناطق چین را با استفاده از تصاویر گوگل ارث و نقشه جانبی، مقایسه کردند. شی و همکاران (۲۰۱۵)، همانند لی، به تصحیح این داده‌ها پرداختند؛ با این تفاوت که ماسک مورد نیاز را از پیکسل‌هایی با مقادیر DN صفر از داده‌های DMSP-OLS ساختند. جینگ^۳ و همکاران (۲۰۱۶) از روش پوشش نویز استفاده کردند و وو و همکاران (۲۰۱۸a) نیز روش لی را گسترش دادند. لی و همکاران (۲۰۱۸b) روشی را مطرح کردند که در آن، صرفاً برای حذف نور ماه منعکس شده، ابتدا تمامی مقادیر پیکسل‌ها در تصاویر منهای ۰/۵ شد و سپس، به پیکسل‌هایی با مقادیر DN منفی، مقادیر صفر اختصاص یافت. ما و لی (۲۰۱۸) تصحیح را همانند مطالعات پیشین انجام دادند و به‌طور خاص، به پیکسل‌هایی با مقادیر کمتر از ۰/۵، مقدار صفر را اختصاص دادند. معمولاً فرض می‌شود که حداکثر مقدار پیکسل یک

1. Shi
3. Jing
5. Patches Filtering Method
7. Pan

2. Ma
4. Yuan
6. Xie
8. Niu



شکل ۶. سری زمانی تحقیقات انجام شده جهت تصحیح داده VIIRS

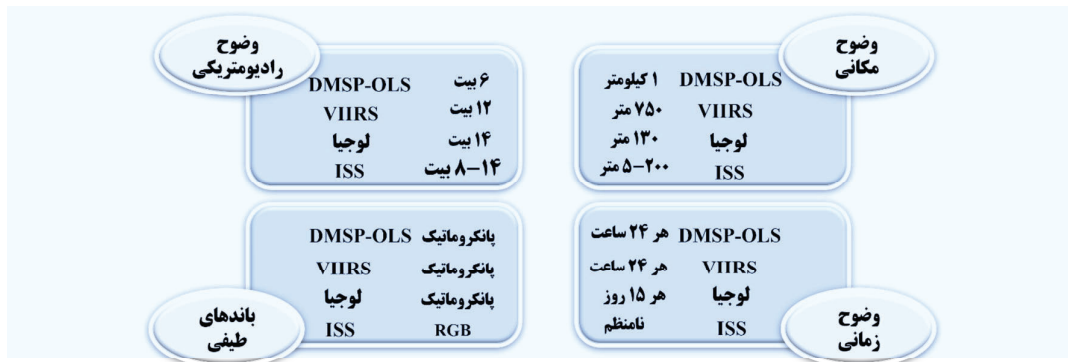
کاهش تأثیر نویز پس‌زمینه و نورهای غیرعادی، حداکثر ارزش تشعشع به‌دست‌آمده از مراکز شهر که بیشتر امکانات تجاری و فعالیت‌های انسانی در آن متمرکز شده‌اند، به‌منزله آستانه بالا در نظر گرفته می‌شود؛ به همین منوال، حداقل مقدار درخشندگی حاصل از مکان‌های دریاچه‌ها یا رودخانه‌ها به‌منزله آستانه پایین‌تر، برای حفظ تمامی پیکسل‌های بالقوه جاده و از بین بردن تأثیر پیکسل‌هایی که مناطق غیرروشن یا نویز به‌شمار می‌روند، تعیین می‌شود (Wang et al., 2021).

۴- بحث و بررسی

داده‌های نور شبانه می‌توانند تأثیرات بسزایی در شناخت مسائل گوناگون شهری و اقتصادی و محیط‌زیستی داشته باشند. چهار نوع داده نور شب به‌رایگان در دسترس است که مطابق شکل ۷، ویژگی‌های خاص خود را دارند. با وجود این هریک از داده‌ها مزایا و محدودیت‌هایی دارد؛ به همین دلیل، نمی‌توان داده کاملاً مناسبی برای تمامی کاربردها در هر زمینه را به‌طور قطع معرفی کرد اما، به‌صورت متوسط، می‌توان آنها را در مقایسه با یکدیگر و در زمینه‌های خاص، به‌منزله داده‌ای مناسب‌تر و کارآمدتر در نظر گرفت.

۳-۳- تصحیح داده‌های نور شب لوجیا

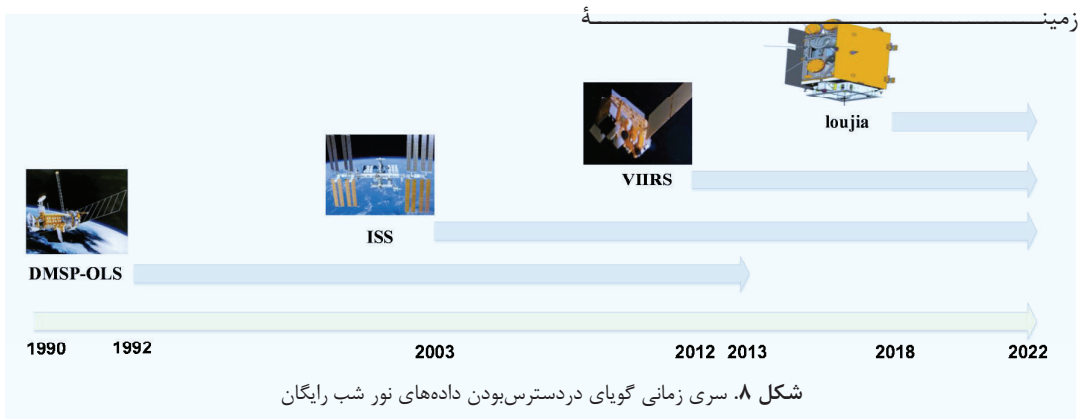
در حال حاضر، در مورد تصحیح تصویر داده‌های سنسجس از دور نور شب لوجیا، تحقیقات اندکی در دست است اما، از آنجاکه دقت موقعیت‌یابی داده‌های لوجیا کمتر از وضوح مکانی آن است، جابه‌جایی تصویر در برخی مکان‌ها ممکن است به ۶۵۰ متر برسد؛ به همین دلیل، تصحیح هندسی در این تصویر انجام می‌شود. به همین منظور، لی و همکاران (۲۰۱۹b) تصاویر را با استفاده از تصاویر Google Map تصحیح کردند و به‌دلیل وضوح مکانی بالای داده لوجیا، شبکه جاده را می‌توان به‌منزله نقطه کنترل زمینی شناسایی کرد. وانگ و همکاران (۲۰۲۰) نیز، با استفاده از بیست نقطه کنترل زمینی توزیع شده به‌طور مساوی از تصویر، تصحیح هندسی را انجام دادند. پس از تصحیح هندسی، با توجه به روش پیش‌پردازشی که تیم ماهواره‌های لوجیا به‌کار بردند و اطلاعات موجود در وب‌سایت داتلود داده، پیش‌پردازش رادیومتریکی توصیه شده است تا مقادیر دیجیتال به تابش تبدیل شوند (Zhang et al., 2020). با توجه به بررسی‌های انجام‌شده، در بیشتر مطالعات، روش یکسانی برای تصحیح هندسی و پیش‌پردازش این نوع داده به‌کار رفته است (Li et al., 2020a; Wang & Shen, 2021; Yang et al., 2022; Yin et al., 2020; Zhang et al., 2020).



شکل ۷. خلاصه‌ای از ویژگی‌های تصاویر نور شب

فعالیت‌های اقتصادی کاربرد بیشتری داشته است و حساسیت‌نداشتن آن به نور آبی LEDها، در توانایی سنجنده در تعیین کمیت نورهای مصنوعی ساطع شده از زمین، تأثیر می‌گذارد (Cao & Bai, 2014). در ادامه توسعه سنجنده‌های نور شب، ظهور داده‌های لوجیا سبب تکمیل داده‌های موجود در شب شد. لوجیا با قدرت تفکیک مکانی و رادیومتری بهتری در قیاس با سنجنده‌های قبلی، بسیار بهبود یافته است و می‌تواند جزئیات مکانی بیشتری از منابع نوری را نشان دهد؛ به گونه‌ای که می‌تواند چراغ‌های خیابان‌ها را نیز ثبت کند. این داده از سال ۲۰۱۸ در دسترس است؛ با این حال فقدان تصاویر دارای سری زمانی طولانی باعث می‌شود این داده را موقتاً نتوان برای نظارت طولانی‌مدت پویای شهری اعمال کرد (Li et al., 2018b). این داده توزیع عمومی مناطق ساخته‌شده شهری را تقریباً منعکس می‌کند.

بدین ترتیب با مقایسه‌ای کلی، می‌توان نتیجه گرفت که در بررسی عملکرد داده‌های نور شب متفاوت، داده‌های نور پایدار شبانه DMSP به‌رغم مشکلات و محدودیت‌هایی، به این علت که دوره زمانی ۱۹۹۲ تا ۲۰۱۳ را دربرمی‌گیرد (شکل ۸)، دارای سری زمانی طولانی‌تری در قیاس با داده‌های نور شب دیگر است و همچنان در بسیاری از تحقیقات حول بررسی پویای شهری و برآورد روند کلی رشد شهر، کاربرد دارد. در مقایسه، NPP-VIIRS از مزایایی برخوردار است و به نور کمتر نیز حساسیت نشان می‌دهد اما زمان عبور این ماهواره ساعت ۱:۳۰ بامداد است؛ در این ساعت از شب، بسیاری از چراغ‌ها خاموش می‌شوند و به همین علت، ممکن است درموردی که فقط از داده نور شب برای بررسی مناطق شهری استفاده می‌شود، مناسب نباشد. همچنین طی بررسی‌ها، این تصویر در تحقیقات در



کنار داده‌های طیفی دیگر، با در نظر گرفتن روابط درست بین مناطق متفاوت در مطالعات آینده، برای تصحیح پدیده اشباع و شکوفایی کارآمد است؛

- امروزه تصحیح تصاویر DMSP، از بعد زمانی، با انجام شدن کالیبراسیون بین داده‌ها، به‌طور خاص با استفاده از دو روش موجود (مناطق مرجع ثابت و پیکسل‌های مرجع) انجام می‌شود. از معتبرترین روش‌های مطرح‌شده در این زمینه، روش منطقه مرجع است زیرا این چارچوب، به دلیل اجرای آسان و عملکرد قوی، در سراسر جهان به‌طور گسترده‌ای پذیرفته شده و با مناطق مرجع گوناگون، در مورد اهداف متفاوت، عملی است. در عین حال، در سال‌های اخیر، روش‌های پیکسل مرجع نیز مورد توجه محققان قرار گرفته است؛ این شیوه‌ها اغلب به‌صورت خودکارند و نقضی که ممکن است در انتخاب منطقه مرجع مناسب (شناسایی منطقه‌ای با معیارهای خاص که در بخش‌های قبل اشاره شد) به‌وجود آید برطرف می‌کنند. از این رو یکی از پیشنهادها برای مطالعات آینده می‌تواند با هدف طرح روش‌های بهینه، به‌منظور کالیبراسیون براساس مدل‌های پیکسل پایدار باشد که با سرعت بیشتر و هزینه کمتر اجرا شود؛
- پس از پایان مأموریت سنجنده DMSP-OLS، سنجنده VIIRS معرفی شد. برخلاف داده سالیانه این ماهواره، داده ماهیانه آن نیاز به تصحیح دارد که علت آن وجود نویزهای پس‌زمینه، نورهای سرگردان و مواردی از این دست است. طبق بررسی‌هایی برپایه مطالعات موجود در روند تحقیقات، می‌توان گفت بیشتر پژوهش‌ها و روش‌ها سعی در حذف نویزها، با استفاده از چارچوبی مشخص اما با فرض‌های متفاوت دارند. در اغلب روش‌های معرفی‌شده، سعی شده است تصاویر VIIRS با استفاده از تصاویر DMSP تصحیح شود و در ادامه، روش‌هایی با در نظر گرفتن مناطق پرنورتر مانند فرودگاه‌ها به‌منزله مبنای تصاویر VIIRS، کوشش شده این داده تصحیح و نویزها حذف شود؛

تصاویر با قدرت تفکیک مکانی بالا ISS نیز وجود دارند اما به‌علت ثبت نامنظم تصاویر (به‌صورت مکانی و زمانی) از سطح زمین، درموردی که سری زمانی بررسی می‌شود، مناسب نخواهد بود.

۴- نتیجه‌گیری

این پژوهش با هدف معرفی انواع داده‌های نور شب سنجنش‌ازدوری و بررسی آنها انجام شده است. همچنین بر آن بوده است، با بررسی دقیق‌تر تصاویر رایگان در این زمینه، چالش‌ها و نحوه حل محدودیت‌ها را بیان کند. همان‌طور که گفته شد، سه نوع از این داده‌ها به‌رایگان در دسترس است و هر یک دارای مزایا و معایبی است.

- در حال حاضر، تحقیقات در زمینه تصحیح مشکلات مکانی اشباع و شکوفایی در دو دسته طیفی و غیرطیفی قرار می‌گیرند. دسته‌های غیرطیفی که اغلب فقط با استفاده از داده نور شب و در برخی موارد با استفاده از داده‌های غیرسنجنش‌ازدوری ترکیب می‌شوند، کمتر از روش‌های طیفی رواج دارند که از شاخص‌های طیفی به‌دست‌آمده از داده‌های سنجنش‌ازدوری روز استفاده می‌کنند زیرا روش‌های طیفی، از نظر اجرا، بسیار آسان و کم‌هزینه‌تر است و داده‌های مورد استفاده در این روش‌ها به‌آسانی در دسترس قرار دارند؛

- بررسی روش‌های طیفی نشان می‌دهد اغلب این روش‌ها از شاخص‌های طیفی در زمینه پوشش گیاهی و دمای سطح زمین استفاده می‌کنند زیرا همواره دمای سطح زمین، در مناطق شهری، با باقی پوشش‌ها متفاوت است و با در نظر گرفتن روابط بین این مناطق می‌توان، در تصحیح اشباع و شکوفایی، موفق ظاهر شد. این در حالی است که شاخص‌هایی که فرض و اساس اصلی آنها وجود پوشش گیاهی در منطقه است نمی‌توانند، در مناطق خشک و کویری، مؤثر واقع شوند. از این رو استفاده از شاخص‌های در زمینه خاک و داده‌های دمای سطح، داده‌های تولید ناخالص داخلی، داده‌های جمعیت و آماری و ... در

- Sensing of Environment, 192, PP. 176-197, <https://doi.org/10.1016/j.rse.2017.01.005>.
- Bennie, J., Davies, T.W., Duffy, J.P., Inger, R. & Gaston, K.J., 2014, **Contrasting Trends in Light Pollution Across Europe Based on Satellite Observed Night Time Lights**, Scientific Reports, 4, PP. 1-6, <https://doi.org/10.1038/srep03789>.
- Cao, C. & Bai, Y., 2014, **Quantitative Analysis of VIIRS DNB Nightlight Point Source for Light Power Estimation and Stability Monitoring**, Remote Sensing, 6, PP. 11915-11935, <https://doi.org/10.3390/rs61211915>.
- Cao, X., Chen, J., Imura, H. & Higashi, O., 2009, **A SVM-Based Method to Extract Urban Areas from DMSP-OLS and SPOT VGT Data**, Remote Sensing of Environment, 113, PP. 2205-2209, <https://doi.org/10.1016/j.rse.2009.06.001>.
- Cao, X., Wang, J., Chen, J. & Shi, F., 2014, **Spatialization of Electricity Consumption of China Using Saturation-Corrected DMSP-OLS Data**, International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation, 28, PP. 193-200, <https://doi.org/10.1016/j.jag.2013.12.004>.
- Cao, X., Hu, Y., Zhu, X., Shi, F., Zhuo, L. & Chen, J., 2019, **A Simple Self-Adjusting Model for Correcting the Blooming Effects in DMSP-OLS Nighttime Light Images**, Remote Sensing of Environment, 224, PP. 401-411, <https://doi.org/10.1016/j.rse.2019.02.019>.
- de Miguel, A.S., Castaño, J.G., Zamorano, J., Pascual, S., Ángeles, M., Cayuela, L., Martínez, G.M., Challupner, P. & Kyba, C.C., 2014, **Atlas of Astronaut Photos of Earth at Night**, Astronomy & Geophysics, 55(4), P. 4.36, <https://doi.org/10.1093/astrogeo/atu165>
- de Pinho, C.M.D., Fonseca, L.M.G., Korting, T.S., De Almeida, C.M. & Kux, H.J.H., 2012, **Land-cover Classification of an Intra-Urban Environment Using High-Resolution Images and Object-Based Image Analysis**, International Journal of Remote Sensing, 33, PP. 5973-5995, <https://doi.org/10.1080/01431161.2012.675451>.
- داده‌های لوجیا، با توجه به پیشرفت‌هایی در سنجنده آن، دارای دقت بیشتری است و می‌تواند جزئیات بیشتری را در مورد شهرها تشخیص دهد اما دچار خطای موقعیت مکانی است؛ به همین دلیل، قبل از استفاده، حتماً باید تصحیح هندسی روی آن انجام شود. با توجه به چالش‌ها و محدودیت‌های فعلی ماهواره‌های نور شب، چند پیشنهاد اصلی برای پیشرفت و توسعه در این زمینه توصیه می‌شود. ادغام داده‌های DMSP-OLS با داده‌های NPP-VIIRS یا با وضوح بالاتر داده‌های لوجیا را می‌توان بیشتر مطالعه و بررسی کرد تا سری زمانی طولانی‌تری، برای تحقیقات آینده با هدف بررسی پویایی شهری و ... ایجاد شود. طبق بررسی‌های محققان در این زمینه و نتایج به‌دست‌آمده، ثابت‌بودن زمین و منابع نوری کالیبراسیون رادیومتری ممکن است روش مؤثرتری برای کالیبراسیون متقابل بین سنجنده‌های DMSP و VIIRS در اختیار قرار دهند. همچنین ایجاد سری زمانی در پی راه‌حلی‌هایی در زمینه شکوفایی و اشباع داده DMSP رخ می‌دهد و هدف آن فراهم کردن امکان مقایسه داده‌های نور شب با یکدیگر است؛ بدین ترتیب می‌توان سری زمانی طولانی‌مدتی از نور شب در دست داشت.

۵- منابع

- Abrahams, A., Oram, C. & Lozano-Gracia, N., 2018, **Deblurring DMSP Nighttime Lights: A New Method Using Gaussian Filters and Frequencies of Illumination**, Remote Sensing of Environment, 210, PP. 242-254, <https://doi.org/10.1016/j.rse.2018.03.018>.
- Alahmadi, M., Mansour, S., Martin, D. & Atkinson, P., 2021, **An Improved Index for Urban Population Distribution Mapping Based on Nighttime Lights (DMSP-OLS) Data: An Experiment in Riyadh Province, Saudi Arabia**, Remote Sensing, 13, P. 1171, <https://doi.org/10.3390/rs13061171>.
- Bennett, M.M. & Smith, L.C., 2017, **Advances in Using Multitemporal Night-Time Lights Satellite Imagery to Detect, Estimate, and Monitor Socioeconomic Dynamics**, Remote

- Elvidge, C.D., Baugh, K.E., Dietz, J.B., Bland, T., Sutton, P.C. & Kroehl, H.W., 1999, **Radiance Calibration of DMSP-OLS Low-Light Imaging Data of Human Settlements**, Remote Sensing of Environment, 68, PP. 77-88, [https://doi.org/10.1016/S0034-4257\(98\)00098-4](https://doi.org/10.1016/S0034-4257(98)00098-4).
- Elvidge, C.D., Imhoff, M.L., Baugh, K.E., Hobson, V.R., Nelson, I., Safran, J., Dietz, J.B. & Tuttle, B.T., 2001, **Night-Time Lights of the World: 1994-1995**, ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing, 56, PP. 81-99, [https://doi.org/10.1016/S0924-2716\(01\)00040-5](https://doi.org/10.1016/S0924-2716(01)00040-5).
- Elvidge, C.D., Ziskin, D., Baugh, K.E., Tuttle, B.T., Ghosh, T., Pack, D.W., Erwin, E.H. & Zhizhin, M., 2009, **A Fifteen Year Record of Global Natural Gas Flaring Derived from Satellite Data**, Energies, 2, PP. 595-622, <https://doi.org/10.3390/en20300595>.
- Elvidge, C.D., Baugh, K.E., Zhizhin, M. & Hsu, F.-C., 2013, **Why VIIRS Data Are Superior to DMSP for Mapping Nighttime Lights**, Proceedings of the Asia-Pacific Advanced Network, 35, P. 62, <http://dx.doi.org/10.7125/APAN.35.7>.
- Elvidge, C.D., Baugh, K., Zhizhin, M., Hsu, F.C. & Ghosh, T., 2017, **VIIRS Night-Time Lights**, International Journal of Remote Sensing, 38, PP. 5860-5879, <https://doi.org/10.1080/01431161.2017.1342050>.
- Elvidge, C.D., Zhizhin, M., Ghosh, T., Hsu, F.-C. & Taneja, J., 2021, **Annual Time Series of Global VIIRS Nighttime Lights Derived from Monthly Averages: 2012 to 2019**, Remote Sensing, 13, P. 922, <https://doi.org/10.3390/rs13050922>.
- Gao, B., Huang, Q., He, C. & Ma, Q., 2015, **Dynamics of Urbanization Levels in China from 1992 to 2012: Perspective from DMSP/OLS Nighttime Light Data**, Remote Sensing, 7, PP. 1721-1735, <https://doi.org/10.3390/rs70201721>.
- Hao, R., Yu, D., Sun, Y., Cao, Q., Liu, Y. & Liu, Y., 2015, **Integrating Multiple Source Data to Enhance Variation and Weaken the Blooming Effect of DMSP-OLS Light**, Remote Sensing, 7, PP. 1440-1442, <https://doi.org/10.3390/rs70201422>.
- Hara, M., Okada, S., Yagi, H., Moriyama, T., Shigehara, K. & Sugimori, Y., 2010, **Progress for Stable Artificial Lights Distribution Extraction Accuracy and Estimation of Electric Power Consumption by Means of Dmsp/Ols Nighttime Imagery**, International Journal of Remote Sensing and Earth Sciences (IJReSES), 1.
- He, C., Ma, Q., Li, T., Yang, Y. & Liu, Z., 2012, **Spatiotemporal Dynamics of Electric Power Consumption in Chinese Mainland from 1995 to 2008 Modeled Using DMSP/OLS Stable Nighttime Lights Data**, Journal of Geographical Sciences, 22, PP. 125-136, <https://doi.org/10.1007/s11442-012-0916-3>.
- He, C., Ma, Q., Liu, Z. & Zhang, Q., 2014, **Modeling the Spatiotemporal Dynamics of Electric Power Consumption in Mainland China Using Saturation-Corrected DMSP/OLS Nighttime Stable Light Data**, International Journal of Digital Earth, 7, PP. 993-1014, <https://doi.org/10.1080/17538947.2013.822026>.
- Hu, Y.n., Peng, J., Liu, Y., Du, Y., Li, H. & Wu, J., 2017, **Mapping Development Pattern in Beijing-Tianjin-Hebei Urban Agglomeration Using DMSP/OLS Nighttime Light Data**, Remote Sensing, 9, P. 760, <https://doi.org/10.3390/rs9070760>.
- Hu, Y., Chen, J., Cao, X., Chen, X., Cui, X. & Gan, L., 2021, **Correcting the Saturation Effect in DMSP/OLS Stable Nighttime Light Products Based on Radiance-Calibrated Data**, IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing, <https://doi.org/10.1109/TGRS.2021.3060170>.
- Huang, X., Schneider, A. & Friedl, M.A., 2016, **Mapping Sub-Pixel Urban Expansion in China Using MODIS and DMSP/OLS Nighttime Lights**, Remote Sensing of Environment, 175, PP. 92-108, <https://doi.org/10.1016/j.rse.2015.12.042>.
- Huang, X., Shi, K., Cui, Y. & Li, Y., 2021, **A Saturated Light Correction Method for**

- DMSP-OLS Nighttime Stable Light Data by Remote and Social Sensing Data**, IEEE Journal of Selected Topics in Applied Earth Observations and Remote Sensing, 14, PP. 1885-1894.
- Ji, X., Li, X., He, Y. & Liu, X., 2019, **A Simple Method to Improve Estimates of County-Level Economics in China Using Nighttime Light Data and GDP Growth Rate**, ISPRS International Journal of Geo-Information, 8, P. 419, <https://doi.org/10.3390/ijgi8090419>.
- Jiang, W., He, G., Long, T., Guo, H., Yin, R., Leng, W., Liu, H. & Wang, G., 2018, **Potentiality of Using LuoJia1-01 Nighttime Light Imagery to Investigate Artificial Light Pollution**, Sensors, 18, P. 2900, <https://doi.org/10.3390/s18092900>.
- Jing, X., Shao, X., Cao, C., Fu, X. & Yan, L., 2016, **Comparison between the Suomi-NPP Day-Night Band and DMSP-OLS for Correlating Socio-Economic Variables at the Provincial Level in China**, Remote Sensing, 8, P. 17, <https://doi.org/10.3390/rs8010017>.
- Kyba, C., Garz, S., Kuechly, H., De Miguel, A.S., Zamorano, J., Fischer, J. & Hölker, F., 2015, **High-Resolution Imagery of Earth at Night: New Sources, Opportunities and Challenges**, Remote Sensing, 7, PP. 1-23, <https://doi.org/10.3390/rs70100001>.
- Letu, H., Hara, M., Yagi, H., Naoki, K., Tana, G., Nishio, F. & Shuheji, O., 2010, **Estimating Energy Consumption from Night-Time DMSP/OLS Imagery after Correcting for Saturation Effects**, International Journal of Remote Sensing, 31, PP. 4443-4458, <https://doi.org/10.1080/01431160903277464>.
- Letu, H., Hara, M., Tana, G. & Nishio, F., 2011, **A Saturated Light Correction Method for DMSP/OLS Nighttime Satellite Imagery**, IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing, 50, PP. 389-396, <https://doi.org/10.1109/TGRS.2011.2178031>.
- Levin, N. & Phinn, S., 2016, **Illuminating the Capabilities of Landsat 8 for Mapping Night Lights**, Remote Sensing of Environment, 182, PP. 27-38, <https://doi.org/10.1016/j.rse.2016.04.021>.
- Li, X. & Zhou, Y., 2017a, **A Stepwise Calibration of Global DMSP/OLS Stable Nighttime Light Data (1992-2013)**, Remote Sensing, 9, P. 637, <https://doi.org/10.3390/rs9060637>.
- Li, X. & Zhou, Y., 2017b, **Urban Mapping Using DMSP/OLS Stable Night-Time Light: A Review**, International Journal of Remote Sensing, 38, PP. 6030-6046, <https://doi.org/10.1080/01431161.2016.1274451>.
- Li, X., Chen, X., Zhao, Y., Xu, J., Chen, F. & Li, H., 2013a, **Automatic Intercalibration of Night-Time Light Imagery Using Robust Regression**, Remote Sensing Letters, 4, PP. 45-54, <https://doi.org/10.1080/2150704X.2012.687471>.
- Li, X., Xu, H., Chen, X. & Li, C., 2013b, **Potential of NPP-VIIRS Nighttime Light Imagery for Modeling the Regional Economy of China**, Remote Sensing, 5, PP. 3057-3081, <https://doi.org/10.3390/rs5063057>.
- Li, Q., Lu, L., Weng, Q., Xie, Y. & Guo, H., 2016, **Monitoring Urban Dynamics in the Southeast USA Using Time-Series DMSP/OLS Nightlight Imagery**, Remote Sensing, 8, P. 578, <https://doi.org/10.3390/rs8070578>.
- Li, X., Zhan, C., Tao, J. & Li, L., 2018a, **Long-Term Monitoring of the Impacts of Disaster on Human Activity Using Dmsp/Ols Nighttime Light Data: A Case Study of the 2008 Wenchuan, China Earthquake**, Remote Sensing, 10, P. 588, <https://doi.org/10.3390/rs10040588>.
- Li, X., Zhao, L., Li, D. & Xu, H., 2018b, **Mapping Urban Extent Using LuoJia 1-01 Nighttime Light Imagery**, Sensors, 18, P. 3665, <https://doi.org/10.3390/s18113665>.
- Li, X., Li, X., Li, D., He, X. & Jendryke, M., 2019a, **A Preliminary Investigation of LuoJia-1 Night-Time Light Imagery**, Remote Sensing Letters, 10, PP. 526-535, <https://doi.org/10.1080/2150704X.2019.1577573>.

- Li, X., Liu, Z., Chen, X. & Sun, J., 2019b, **Assessing the Ability of Luojia 1-01 Imagery to Detect Feeble Nighttime Lights**, *Sensors*, 19, P. 3708, <https://doi.org/10.3390/s19173708>.
- Li, C., Yang, W., Tang, Q., Tang, X., Lei, J., Wu, M. & Qiu, S., 2020a, **Detection of Multidimensional Poverty Using Luojia1-01 Nighttime Light Imagery**, *Journal of the Indian Society of Remote Sensing*, 48, PP. 963-977, <https://doi.org/10.1007/s12524-020-01126-3>.
- Li, F., Yan, Q., Bian, Z., Liu, B. & Wu, Z., 2020b, **A POI and LST Adjusted NTL Urban Index for Urban Built-Up Area Extraction**, *Sensors*, 20, P. 2918, <https://doi.org/10.3390/s20102918>.
- Li, C., Wang, X., Wu, Z., Dai, Z., Yin, J. & Zhang, C., 2021a, **An Improved Method for Urban Built-Up Area Extraction Supported by Multi-Source Data**, *Sustainability*, 13, P. 5042, <https://doi.org/10.3390/su13095042>.
- Li, F., Li, E., Zhang, C., Samat, A., Liu, W., Li, C. & Atkinson, P.M., 2021b, **Estimating Artificial Impervious Surface Percentage in Asia by Fusing Multi-Temporal MODIS and VIIRS Nighttime Light Data**, *Remote Sensing*, 13, P. 212, <https://doi.org/10.3390/rs13020212>.
- Li, F., Liu, X., Liao, S. & Jia, P., 2021c, **The Modified Normalized Urban Area Composite Index: A Satellite-Derived High-Resolution Index for Extracting Urban Areas**, *Remote Sensing*, 13, P. 2350, <https://doi.org/10.3390/rs13122350>.
- Liu, L. & Leung, Y., 2015, **A Study of Urban Expansion of Prefectural-Level Cities in South China Using Night-Time Light Images**, *International Journal of Remote Sensing*, 36, PP. 5557-5575, <https://doi.org/10.1080/01431161.2015.1101650>.
- Liu, Z., He, C. & Yang, Y., 2011, **Mapping Urban Areas by Performing Systematic Correction for DMSP/OLS Nighttime Lights Time Series in China from 1992 to 2008**, *2011 IEEE International Geoscience and Remote Sensing Symposium*, IEEE, PP. 1858-1861, <https://doi.org/10.1109/IGARSS.2011.6049485>.
- Liu, Z., He, C., Zhang, Q., Huang, Q. & Yang, Y., 2012, **Extracting the Dynamics of Urban Expansion in China Using DMSP-OLS Nighttime Light Data from 1992 to 2008**, *Landscape and Urban Planning*, 106, PP. 62-72, <https://doi.org/10.1016/j.landurbplan.2012.02.013>.
- Liu, X., Hu, G., Ai, B., Li, X. & Shi, Q., 2015a, **A Normalized Urban Areas Composite Index (NUACI) Based on Combination of DMSP-OLS and MODIS for Mapping Impervious Surface Area**, *Remote Sensing*, 7, PP. 17168-17189, <https://doi.org/10.3390/rs71215863>.
- Liu, Y., Wang, Y., Peng, J., Du, Y., Liu, X., Li, S. & Zhang, D., 2015b, **Correlations between Urbanization and Vegetation Degradation across the World's Metropolises Using DMSP/OLS Nighttime Light Data**, *Remote Sensing*, 7, PP. 2067-2088, <https://doi.org/10.3390/rs70202067>.
- Liu, Y., Yang, Y., Jing, W., Yao, L., Yue, X. & Zhao, X., 2017, **A New Urban Index for Expressing Inner-City Patterns Based on MODIS LST and EVI Regulated DMSP/OLS NTL**, *Remote Sensing*, 9, P. 777, <https://doi.org/10.3390/rs9080777>.
- Liu, C., Yang, K., Bennett, M.M., Guo, Z., Cheng, L. & Li, M., 2019, **Automated Extraction of Built-Up Areas by Fusing VIIRS Nighttime Lights and Landsat-8 Data**, *Remote Sensing*, 11, P. 1571, <https://doi.org/10.3390/rs11131571>.
- Liu, H., Luo, N. & Hu, C., 2020, **Detection of County Economic Development Using LJ1-01 Nighttime Light Imagery: A Comparison with NPP-VIIRS Data**, *Sensors*, 20, P. 6633, <https://doi.org/10.3390/s20226633>.
- Lu, D., Tian, H., Zhou, G. & Ge, H., 2008, **Regional Mapping of Human Settlements in Southeastern China with Multisensor Remotely Sensed Data**, *Remote Sensing of Environment*, 112, PP. 3668-3679, <https://doi.org/10.1016/j.rse.2008.05.009>.

- Ma, W. & Li, P., 2018, **An Object Similarity-Based Thresholding Method for Urban Area Mapping from Visible Infrared Imaging Radiometer Suite Day/Night Band (Viirs dnb) Data**, *Remote Sensing*, 10, P. 263, <https://doi.org/10.3390/rs10020263>.
- Ma, Q., He, C., Wu, J., Liu, Z., Zhang, Q. & Sun, Z., 2014a, **Quantifying Spatiotemporal Patterns of Urban Impervious Surfaces in China: An Improved Assessment Using Nighttime Light Data**, *Landscape and Urban Planning*, 130, PP. 36-49, <https://doi.org/10.1016/j.landurbplan.2014.06.009>.
- Ma, T., Zhou, C., Pei, T., Haynie, S. & Fan, J., 2014b, **Responses of Suomi-NPP VIIRS-Derived Nighttime Lights to Socioeconomic Activity in China's Cities**, *Remote Sensing Letters*, 5, PP. 165-174, <https://doi.org/10.1080/2150704X.2014.890758>.
- Ma, X., Li, C., Tong, X. & Liu, S., 2019, **A New Fusion Approach for Extracting Urban Built-Up Areas from Multisource Remotely Sensed Data**, *Remote Sensing*, 11, P. 2516, <https://doi.org/10.3390/rs11212516>.
- Mallick, J., Rahman, A. & Singh, C.K., 2013, **Modeling Urban Heat Islands in Heterogeneous Land Surface and Its Correlation with Impervious Surface Area by Using Night-Time ASTER Satellite Data in Highly Urbanizing City, Delhi-India**, *Advances in Space Research*, 52, PP. 639-655, <https://doi.org/10.1016/j.asr.2013.04.025>.
- Mills, S., Weiss, S. & Liang, C., 2013, **VIIRS Day/Night Band (DNB) Stray Light Characterization and Correction**, *Earth Observing Systems XVIII*, 8866, <https://doi.org/10.1117/12.2023107>.
- Mukherjee, S., Srivastav, S., Gupta, P.K., Hamm, N. & Tolpekin, V., 2017, **An Algorithm for Inter-calibration of Time-Series DMSP/OLS Night-Time Light Images**, *Proceedings of the National Academy of Sciences, India Section A: Physical Sciences*, 87, PP. 721-731, <https://doi.org/10.1007/s40010-017-0444-8>.
- Niu, W., Xia, H., Wang, R., Pan, L., Meng, Q., Qin, Y., Li, R., Zhao, X., Bian, X. & Zhao, W., 2020, **Research on Large-Scale Urban Shrinkage and Expansion in the Yellow River Affected Area Using Night Light Data**, *ISPRS International Journal of Geo-Information*, 10, P. 5, <https://doi.org/10.3390/ijgi10010005>.
- Pan, W., Fu, H. & Zheng, P., 2020, **Regional Poverty and Inequality in the Xiamen-Zhangzhou-Quanzhou City Cluster in China Based on NPP/VIIRS Night-Time Light Imagery**, *Sustainability*, 12, P. 2547, <https://doi.org/10.3390/su12062547>.
- Pandey, B., Joshi, P. & Seto, K.C., 2013, **Monitoring Urbanization Dynamics in India Using DMSP/OLS Night Time Lights and SPOT-VGT Data**, *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, 23, PP. 49-61, <https://doi.org/10.1016/j.jag.2012.11.005>.
- Ramachandra, T., Bharath, H., Vinay, S., Joshi, N., Kumar, U. & Rao, K.V., 2013, **Modelling Urban Revolution in Greater Bangalore, India**, 30th Annual In-House Symposium on Space Science and Technology, ISRO-IISc Space Technology Cell, Indian Institute of Science, Bangalore, PP. 7-8.
- Shen, Z., Zhu, X., Cao, X. & Chen, J., 2019, **Measurement of Blooming Effect of DMSP-OLS Nighttime Light Data Based on NPP-VIIRS Data**, *Annals of GIS*, 25, PP. 153-165, <https://doi.org/10.1080/19475683.2019.1570336>.
- 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 Sensing*, 6, PP. 1705-1724, <https://doi.org/10.3390/rs6021705>.
- Shi, K., Yu, B., Hu, Y., Huang, C., Chen, Y., Huang, Y., Chen, Z. & Wu, J., 2015, **Modeling and Mapping Total Freight Traffic in China Using NPP-VIIRS Nighttime Light Composite Data**, *GIScience*

- & Remote Sensing, 52, PP. 274-289, <https://doi.org/10.1080/15481603.2015.1022420>.
- Shi, K., Chen, Y., Yu, B., Xu, T., Yang, C., Li, L., Huang, C., Chen, Z., Liu, R. & Wu, J., 2016, **Detecting Spatiotemporal Dynamics of Global Electric Power Consumption Using DMSP-OLS Nighttime Stable Light Data**, Applied Energy, 184, PP. 450-463, <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2016.10.032>.
- Small, C., Pozzi, F. & Elvidge, C.D., 2005, **Spatial Analysis of Global Urban Extent from DMSP-OLS Night Lights**, Remote Sensing of Environment, 96, PP. 277-291, <https://doi.org/10.1016/j.rse.2005.02.002>.
- Tan, M., 2015, **Urban Growth and Rural Transition in China Based on DMSP/OLS Nighttime Light Data**, Sustainability, 7, PP. 8768-8781, <https://doi.org/10.3390/su7078768>.
- Tan, M., 2016, **Use of an Inside Buffer Method to Extract the Extent of Urban Areas from DMSP/OLS Nighttime Light Data in North China**, Giscience & Remote Sensing, 53, PP. 444-458, <https://doi.org/10.1080/15481603.2016.1148832>.
- Townsend, A.C. & Bruce, D.A., 2010, **The Use of Night-Time Lights Satellite Imagery as a Measure of Australia's Regional Electricity Consumption and Population Distribution**, International Journal of Remote Sensing, 31, PP. 4459-4480, <https://doi.org/10.1080/01431160903261005>.
- Wang, Y. & Shen, Z., 2021, **Comparing Luojia 1-01 and VIIRS Nighttime Light Data in Detecting Urban Spatial Structure Using a Threshold-Based Kernel Density Estimation**, Remote Sensing, 13, P. 1574, <https://doi.org/10.3390/rs13081574>.
- Wang, Z., Yao, F. & Li, W., 2017, **Saturation Correction for Nighttime Lights Data Based on the Relative NDVI**, Remote Sensing, 9, P. 759, <https://doi.org/10.3390/rs9070759>.
- Wang, C., Chen, Z., Yang, C., Li, Q., Wu, Q., Wu, J., Zhang, G. & Yu, B., 2020, **Analyzing Parcel-Level Relationships between Luojia1-01 Nighttime Light Intensity and Artificial Surface Features across Shanghai, China: A Comparison with NPP-VIIRS Data**, International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation, 85, P. 101989, <https://doi.org/10.1016/j.jag.2019.101989>.
- Wang, L., Zhang, H., Xu, H., Zhu, A., Fan, H. & Wang, Y., 2021, **Extraction of City Roads Using Luojia1-01 Nighttime Light Data**, Applied Sciences, 11, P. 10113, <https://doi.org/10.3390/app112110113>.
- Wu, J., He, S., Peng, J., Li, W. & Zhong, X., 2013, **Intercalibration of DMSP-OLS Night-Time Light Data by the Invariant Region Method**, International Journal of Remote Sensing, 34, PP. 7356-7368, <https://doi.org/10.1080/01431161.2013.820365>.
- Wu, R., Yang, D., Dong, J., Zhang, L. & Xia, F., 2018a, **Regional Inequality in China Based on NPP-VIIRS Night-Time Light Imagery**, Remote Sensing, 10, P. 240, <https://doi.org/10.3390/rs10020240>.
- Wu, W., Zhao, H. & Jiang, S., 2018b, **A Zipf's Law-Based Method for Mapping Urban Areas Using NPP-VIIRS Nighttime Light Data**, Remote Sensing, 10, P. 130, <https://doi.org/10.3390/rs10010130>.
- Xie, Y., Weng, Q. & Fu, P., 2019, **Temporal Variations of Artificial Nighttime Lights and Their Implications for Urbanization in the Conterminous United States, 2013-2017**, Remote Sensing of Environment, 225, PP. 174-160, <https://doi.org/10.1016/j.rse.2019.03.008>.
- Xin, X., Liu, B., Di, K., Zhu, Z., Zhao, Z., Liu, J., Yue, Z. & Zhang, G., 2017, **Monitoring Urban Expansion Using Time Series of Night-Time Light Data: A Case Study in Wuhan, China**, International Journal of Remote Sensing, 38, PP. 6110-6128, <https://doi.org/10.1080/01431161.2017.1312623>.
- Xue, X., Yu, Z., Zhu, S., Zheng, Q., Weston, M., Wang, K., Gan, M. & Xu, H., 2018, **Delineating Urban Boundaries Using Landsat8 Multispectral Data and VIIRS**

- Nighttime Light Data**, Remote Sensing, 10, P. 799, <https://doi.org/10.3390/rs10050799>.
- Yang, Z., Chen, Y., Zheng, Z. & Wu, Z., 2022, **Identifying China's Polycentric Cities and Evaluating the Urban Centre Development Level Using Luojia-1 A Night-Time Light Data**, Annals of GIS, 28(2), PP. 185-195. <https://doi.org/10.1080/19475683.2022.2026472>.
- Yin, Z., Li, X., Tong, F., Li, Z. & Jendryke, M., 2020, **Mapping Urban Expansion Using Night-Time Light Images from Luojia1-01 and International Space Station**. International Journal of Remote Sensing, 41, PP. 2603-2623, <https://doi.org/10.1080/01431161.2019.1693661>.
- Yuan, X., Jia, L., Menenti, M., Zhou, J. & Chen, Q., 2019, **Filtering the NPP-VIIRS Nighttime Light Data for Improved Detection of Settlements in Africa**, Remote Sensing, 11, P. 3002, <https://doi.org/10.3390/rs11243002>.
- Zhang, X. & Li, P., 2018, **A Temperature and Vegetation Adjusted NTL Urban Index for Urban Area mapping and analysis**, ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing, 135, PP. 93-111, <https://doi.org/10.1016/j.isprsjprs.2017.11.016>.
- Zhang, Q., Schaaf, C. & Seto, K.C., 2013, **The Vegetation Adjusted NTL Urban Index: A New Approach to Reduce Saturation and Increase Variation in Nighttime Luminosity**, Remote Sensing of Environment, 129, PP. 32-41, <https://doi.org/10.1016/j.rse.2012.10.022>.
- Zhang, Q., Pandey, B. & Seto, K.C., 2016, **A Robust Method to Generate a Consistent Time Series from DMSP/OLS Nighttime Light Data**, IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing, 54, PP. 5821-5831, <https://doi.org/10.1109/TGRS.2016.2572724>.
- Zhang, G., Guo, X., Li, D. & Jiang, B., 2019, **Evaluating the Potential of LJ1-01 Nighttime Light Data for Modeling Socio-Economic Parameters**, Sensors, 19, P. 1465, <https://doi.org/10.3390/s19061465>.
- Zhang, C., Pei, Y., Li, J., Qin, Q. & Yue, J., 2020, **Application of Luojia1-01 Nighttime Images for Detecting the Light Changes for the 2019 Spring Festival in Western Cities, China**, Remote Sensing, 12, P. 1416, <https://doi.org/10.3390/rs12091416>.
- Zhao, N., Zhou, Y. & Samson, E.L., 2014, **Correcting Incompatible DN Values and Geometric Errors in Nighttime Lights Time-Series Images**, IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing, 53, PP. 2039-2049, <https://doi.org/10.1109/TGRS.2014.2352598>.
- 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 Sensing, 9, P. 673, <https://doi.org/10.3390/rs9070673>.
- Zhao, M., Zhou, Y., Li, X., Cao, W., He, C., Yu, B., Li, X., Elvidge, C.D., Cheng, W. & Zhou, C., 2019, **Applications of Satellite Remote Sensing of Nighttime Light Observations: Advances, Challenges, and Perspectives**, Remote Sensing, 11, P. 1971, <https://doi.org/10.3390/rs11171971>.
- Zheng, Z., Chen, Y., Wu, Z., Ye, X., Guo, G. & Qian, Q., 2019a, **The Desaturation Method of DMSP/OLS Nighttime Light Data Based on Vector Data: Taking the Rapidly Urbanized China as an Example**, International Journal of Geographical Information Science, 33, PP. 431-453, <https://doi.org/10.1080/13658816.2018.1538516>.
- Zheng, Z., Yang, Z., Chen, Y., Wu, Z. & Marinello, F., 2019b, **The Interannual Calibration and Global Nighttime Light Fluctuation Assessment Based on Pixel-Level Linear Regression Analysis**, Remote Sensing, 11, P. 2185, <https://doi.org/10.3390/rs11182185>.
- Zheng, Q., Weng, Q. & Wang, K., 2020, **Correcting the Pixel Blooming Effect (PiBE) of DMSP-OLS Nighttime Light Imagery**, Remote Sensing of Environment, 240, P. 111707, <https://doi.org/10.1016/j.rse.2020.111707>.
- Zheng, Y., Tang, L. & Wang, H., 2021a, **An Improved Approach for Monitoring**

- Urban Built-Up Areas by Combining NPP-VIIRS Nighttime Light, NDVI, NDWI, and NDBI**, Journal of Cleaner Production, 328, P. 129488,
<https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2021.129488>.
- Zheng, Y., Zhou, Q., He, Y., Wang, C., Wang, X. & Wang, H., 2021b, **An Optimized Approach for Extracting Urban Land Based on Log-Transformed DMSP-OLS Nighttime Light, NDVI, and NDWI**, Remote Sensing, 13, P. 766,
<https://doi.org/10.3390/rs13040766>.
- Zhuo, L., Zheng, J., Zhang, X., Li, J. & Liu, L., 2015, **An Improved Method of Night-Time Light Saturation Reduction Based on EVI**, International Journal of Remote Sensing, 36, PP. 4114-4130, <https://doi.org/10.1080/01431161.2015.1073861>.
- Zhuo, L., Zhang, C., Zhu, X., Huang, T., Hu, Y. & Tao, H., 2021, **iSEAM: Improving the Blooming Effect Adjustment for DMSP-OLS Nighttime Light Images by Considering Spatial Heterogeneity of Blooming Distance**, IEEE Journal of Selected Topics in Applied Earth Observations and Remote Sensing, <https://doi.org/10.1109/JSTARS.2021.3065399>.
- Ziskin, D., Baugh, K., Hsu, F.C., Ghosh, T. & Elvidge, C., 2010, **Methods Used for the 2006 Radiance Lights**, Proceedings of the Asia-Pacific Advanced Network, 30, PP. 131-142, <http://dx.doi.org/10.7125/APAN.30.18>.