

تحلیل و پایش آلودگی نور مصنوعی در ایران با استفاده از داده‌های ماهواره‌ای نور شب (از سال ۱۹۹۶ تا ۲۰۱۳)

علیرضا صالحی پور میلانی^۱: استادیار ژئومرفولوژی، دانشکده علوم زمین، دانشگاه شهید بهشتی، تهران، ایران.

دریافت مقاله: ۱۳۹۸/۰۶/۲۷ پذیرش نهایی: ۱۴۰۰/۰۳/۰۸

چکیده

آلودگی نوری عموماً اشاره به افزایش برنامه‌ریزی نشده در روشنایی مصنوعی و نتیجه آن تغییر در سطوح نور هدایت نشده است. در ایران نیز رشد جمعیت و گسترش سریع شهرنشینی و صنعتی شدن می‌تواند عاملی برای افزایش آلودگی نوری باشد، از این‌رو پایش تغییرات نور شب و تعیین مناطق با آلودگی نوری بسیار زیاد امری ضروری می‌باشد و می‌تواند رهیافت جدیدی را در اختیار برنامه ریزان محیط قرار داده تا با استفاده از آن در جهت مدیریت آلودگی نوری در سطح ملی و استانی اقدام نمایند. ابزارهای مختلفی برای ارزیابی تغییرات میزان نور شب وجود دارد که داده‌های ماهواره‌ای اسکن خطی عملیاتی مربوط به برنامه ماهواره دفاع هواشناسی (DMSP/OLS) از آن جمله است. این داده‌های نه تنها در ارزیابی شدت آلودگی نوری کمک می‌کند، بلکه می‌تواند به عنوان ابزاری برای مدیریت ریسک و پهنه‌بندی ریسک آلودگی نور استفاده قرار گیرد. این مطالعه تلاش می‌کند با پردازش داده‌های DMSP/OLS به تجزیه و تحلیل الگوی فضایی-زمانی نور مصنوعی و آلودگی نور در ایران در حواصل سال‌های ۱۹۹۶ تا ۲۰۱۳ بپردازد و علاوه بر آن کانون‌های بحرانی آلودگی نوری را شناسایی نماید. از داده نور شب در شش دوره زمانی (۲۰۱۳ و ۲۰۱۱، ۲۰۰۶، ۲۰۰۴، ۲۰۰۱، ۱۹۹۶) استفاده شد و تغییرات میزان نور شب و شدت آلودگی نوری در مقیاس کشوری و رابطه بین تغییرات تراکم نسبی جمعیت در هر استان و تأثیر آن بر تغییرات نور شب مورد ارزیابی قرار گرفت. نتایج نشان‌دهنده افزایش میزان نور شب و همچنین تبدیل مناطق با درخشندگی کم به مناطق با درخشندگی بالا در سطح کشور است. علاوه بر آن استان‌های تهران و البرز به‌عنوان استان‌هایی با بالاترین میزان آلودگی نوری در کشور شناسایی گردید و استان‌های خوزستان، اصفهان، بوشهر و فارس در جایگاه‌های بعدی قرار گرفته‌اند. افزایش تراکم نسبی و توزیع نامتوازن جمعیت، مهاجرت‌های جمعیتی و تشدید آن در حواصل سال‌های ۱۳۷۵ تا ۱۳۹۰ از عوامل اصلی گسترش آلودگی نوری در کشور و همچنین تمرکز حداکثر آلودگی نوری در بعضی استان‌ها است.

واژه‌های کلیدی: نور مصنوعی شب، ماهواره DMSP/OLS، آلودگی نوری، ایران.

مقدمه

آلودگی نوری عموماً اشاره به افزایش برنامه‌ریزی نشده در روشنایی مصنوعی و نتیجه آن تغییر در سطوح نور هدایت نشده دارد (Lo, ۲۰۰۲). مطالعات نشان می‌دهد که وجود بیش از حد نور مصنوعی به‌ویژه در ساعات تاریکی شب می‌تواند آلودگی نوری محسوب شود و بر روی محیط‌زیست و انسان تاثیر منفی بگذارد. آلودگی نور دارای پیامدهای جدی برای سلامتی انسان است و باعث ایجاد استرس، فشار چشم، از بین رفتن دید می‌شود (Raap et al, ۲۰۰۵). همچنین بر فعالیت‌های فیزیولوژیک بسیاری از حشرات، پرندگان، پستانداران و خزندگان به علت اختلال میزان نور نور تاثیر بگذارد. حتی یک مقدار کمی از نور مصنوعی می‌تواند عملیات طبیعی آن‌ها را مختل نماید (Pun and So, ۲۰۱۲; Falchi et al, ۲۰۰۱). انجمن بین‌المللی آسمان تاریک (IDA) ^۲ تخمین زده است که بیش از ۱۲ میلیون تن CO₂ در هر سال به دلیل نور شدید شب به اتمسفر تخلیه شده است Longcore and Rich, ۲۰۰۴; Dominoni et al, ۲۰۱۳). توزیع نامتوازن جمعیتی به واسطه افزایش جمعیت و مهاجرت به شهرها و مراکز جمعیتی بزرگ در ایران منجر به رشد مصرف برق در کشور شده است و به گونه ای که میزان مصرف برق در کشور از ۹۷۱۷۱ گیگاوات ساعت به ۱۹۴۱۴۴ گیگاوات ساعت رسیده است (برهمنند زاده و رضایی قهرودی، ۱۳۹۳). به دلیل فقدان سیاست و قوانین لازم در آلودگی نوری، هر شهر بزرگی در ایران معرض تهدید آلودگی نوری قرار دارد. علاوه بر آن، موضوع آلودگی نوری در ایران تاکنون به طور جامعی مطالعه و مستندسازی نشده است. از این رو شناسایی، پایش و پهنه‌بندی مناطق حساس به آلودگی نوری به منظور ارزیابی این مناطق و کاهش آسیب‌هایی که در آینده می‌تواند در این مناطق داشته باشد برای برنامه ریزان در سطح ملی و منطقه‌ای از اهمیت فراوانی برخوردار است. روش‌های میدانی بررسی آلودگی نوری بسیار پرهزینه و دشوار است و امکان مقایسه آن‌ها با داده‌های زمانی مشکل است. در بررسی نور مصنوعی شب و آلودگی نوری، از ابزارهای متعددی استفاده می‌شود که تکنولوژی‌های مشاهده زمین با استفاده از سنسور از دور از آن جمله هستند. استفاده از داده‌های ماهواره‌ای در بررسی نور مصنوعی شب مزایای بسیار زیادی دارد که از آن جمله می‌توان به دید وسیع، فرکانس بالا و سری زمانی طولانی مدت اشاره نمود که به طور خاص تکنولوژی سنسور از دور نور شب امکان دسترسی سریع به تصویر نور شب را به صورت منطقه‌ای و جهانی فراهم می‌آورد (Cinzano et al, ۲۰۰۰). داده‌های ماهواره‌ای اسکن خطی عملیاتی مربوط به برنامه ماهواره دفاع هواشناسی (DMSP/OLS^۳). پایگاه داده بسیار متنوعی از این داده‌ها در اختیار دارد که شامل داده‌های روزانه تا داده نور ثابت^۴ در یک بازه زمانی بود. تاکنون از تصاویر نور شب ماهواره DMSP/OLS استفاده‌های زیادی در جهان و در زمینه پایش سکونت‌گاه‌های انسانی (Elvidge, et al, ۱۹۹۷; Yu et al, ۲۰۰۴)، تخمین جمعیت شهری (Dobson et al, ۲۰۱۴)، تراکم جمعیت (Sutton et al, ۱۹۹۷)، فعالیت‌های اجتماعی-اقتصادی (Sutton et al, ۲۰۰۲)، صرفه‌جویی در انرژی و الکتریسیته (He et al, ۲۰۱۳)، انتشار گاز (Dull, ۲۰۰۲)، اندازه‌گیری تاثیر رشد شهری بر محیط‌زیست (Nizeyimana, ۲۰۰۱)، تهیه نقشه درخشندگی آسمان در شب (Cinzano et al, ۲۰۰۰)، آتش‌سوزی (Fuller and Folk, ۲۰۰۰)، ارزیابی میزان گسیلمندی بر روی اکوسیستم و انسان (Aubrecht, ۲۰۰۸; Pauley, ۲۰۰۴)، ارزیابی خسارات ناشی از بلایای طبیعی (Kohiyama, ۲۰۰۴) و برآورد جمعیت (فرقانی و عباسپور، ۱۳۹۳) انجام گرفته که نشان دهنده اهمیت و کارایی این داده‌ها در امر پایش آلودگی نوری در جهان و همچنین مدیریت مناطق درگیر با آلودگی نور مصنوعی است. از این رو این داده‌های ماهواره‌ای می‌تواند به عنوان ابزار قدرتمندی برای بررسی نور شب در ایران در ایران نیز استفاده شود. بنی (Bennie, ۲۰۱۵) روند

^۲ - The International Dark-Sky Association (IDA)

^۳ - The Defense Meteorological Satellite Program Operational Line Scanner

^۴ - Stable Light

آلودگی نوری را در قاره اروپا مورد بررسی قرارداد و به این نتیجه رسید که بیشتر کشورها در اروپا با افزایش آلودگی نوری مواجه هستند و این در حالی است که کشورهایی همانند اکراین، بلژیک، نور شب روند کاهشی دارد. سری زمانی تصاویر نور شب به منظور تعیین سطوح آلودگی نوری در آتن بررسی شد و نتایج نشان‌دهنده افزایش قابل توجه آلودگی نوری در منطقه مورد مطالعه بود با استفاده از شاخص توسعه نور شب (NLDI^۵) روند تغییرات نور شب را در بین سال‌های ۲۰۰۵ و ۲۰۱۰ در کشور چین مورد بررسی قرار داده است و تاثیر توسعه اقتصادی را در افزایش میزان آلودگی نوری محاسبه نموده است (Kumar et al, ۲۰۱۸). روند تغییرات آلودگی نوری شب را در هند مورد مطالعه قرار داده است و تاثیر توسعه شهر را برافزایش نور شب بررسی نموده است. آکی یاما (Akiyama, ۲۰۱۲) داده DMSP/OLS رابطه بین تغییرات نور شب و فعالیت‌های انسانی در ژاپن را مورد استفاده قرار داده است و به نتیجه رسیده در مناطق شهری افزایش تعداد ساختمان‌ها و در مناطق غیر شهری گسترش بزرگراه‌ها بیشترین تاثیر را برافزایش نور شب داشته است. همانطور که در مجموعه‌ای از مطالعات که در زمینه استفاده از داده ماهواره‌ای DMSP/OLS در سطح جهان مشاهده می‌شود، این داده‌ها کارایی بسیار زیادی در مطالعات آلودگی نور مصنوعی دارد. در این تحقیق سعی شده است با استفاده تلفیقی از شاخصه‌هایی که برای بررسی نور شب داده‌های ماهواره‌ای DMSP/OLS کاربرد دارند، به تحلیلی دقیق‌تر در رابطه با آلودگی نوری در ایران دست‌یافت. هدف این تحقیق ارزیابی و پایش روند تغییرات آلودگی نور مصنوعی در کشور و تعیین استان‌هایی بیشتر با این بحران درگیر هستند، علاوه بر آن تاثیر شاخص تراکم نسبی جمعیت، میزان مهاجرت در استان‌ها و تغییرات آن در حواصل سال‌های ۱۳۷۵ تا ۱۳۹۰ به عنوان یکی از شاخصه‌های مهم تاثیر گذار بر گسترش نور شب در استان‌های کشور مورد بررسی قرار گرفته است.

داده‌ها و روش کار

این مطالعه در مقیاس ملی و استانی انجام گرفته است. در مقیاس ملی منطقه مورد مطالعه قلمرو سرزمینی ایران با مساحت پهنه‌های خشکی ۱۶۴۵۰۰۰۰ کیلومتر می‌باشد و در محدوده ۲۵ درجه و سه دقیقه الی ۳۹ درجه و ۴۷ دقیقه عرض شمالی و ۴۴ درجه و پنج دقیقه الی ۶۳ درجه و ۱۸ دقیقه طول شرقی واقع شده است و در مقیاس استانی نیز تمامی ۳۱ استان کشور را در بر می‌گیرد. داده‌های رقومی کالیبره شده ماهواره DMSP / OLS با قدرت تفکیک مکانی ۸۵۰ متر از سال ۱۹۹۶ تا ۲۰۱۳ از شش ماهواره (F1۰، F1۲، F1۳، F1۴، F1۵ و F1۶) استخراج گردید. در نرم افزار ARC/GIS تصاویر مورد استفاده در این تحقیق در با توجه به مرز کشوری و استانی برش خورد. درخشندگی در این تصاویر DMSP / OLS بر مبنای اعداد رقومی (DN) هر پیکسل بین صفر تا ۶۳ است، از این‌رو به منظور تحلیل بهتر تصاویر، میزان درخشندگی شب تصاویر در این مطالعه در ۶ کلاس طبقه‌بندی شد. کلاس‌هایی که اعداد رقومی (DN) آن کمتر از ۱ است به عنوان مناطق فاقد درخشندگی، ۱۲/۴-۱ منطقه با درخشندگی بسیار کم، ۱۲/۲۴-۴/۸ منطقه با درخشندگی کم، ۲۴/۸-۳۷/۲ منطقه با درخشندگی متوسط، ۳۷/۲-۴۹/۶ منطقه با درخشندگی زیاد و ۴۹/۶-۶۳ منطقه با درخشندگی بسیار زیاد. برای تعیین میزان آلودگی نور و تغییرات آن در حواصل سال‌های ۱۹۹۶ تا ۲۰۱۳ در کشور، تغییرات مساحت و درصد مساحت اعداد رقومی (DN) تصاویر DMSP / OLS در تمامی طبقات درخشندگی مورد بررسی قرار گرفت. طبقه با درخشندگی بسیار زیاد به عنوان شاخص آلودگی نوری تعیین گردید و میزان تغییرات مساحت و درصد مساحت این طبقه در کشور در حواصل سال‌های ۱۹۹۶ تا ۲۰۱۳ و در بازه‌های زمانی ۱۹۹۱ تا ۲۰۰۱، ۲۰۰۱ تا ۲۰۰۴، ۲۰۰۴ تا ۲۰۰۴

^۵ - Night Light Development Index

تا ۲۰۰۶، ۲۰۰۶ تا ۲۰۱۱، ۲۰۱۱ تا ۲۰۱۳ و ۲۰۱۳ تا ۱۹۹۷ محاسبه گردید. در محیط نرم افزار Arc/GIS محدوده هر استان در تصاویر ماهواره‌ای نور شب کلیپ گردید و مساحت طبقات درخشندگی و تغییرات آن در تمامی دوره‌های مورد مطالعه تعیین گردید. استان‌ها با توجه به مساحت و درصد مساحت نور شب با درخشندگی بساز زیاد رتبه‌بندی گردیدند و استان‌هایی که بیشترین مساحت و درصد مساحت نور شب را در این طبقه داشتند به عنوان استان‌ها با آلودگی نوری بسیار زیاد طبقه‌بندی گردیدند. در ادامه به منظور بررسی تاثیر عوامل انسانی در تغییرات میزان نور مصنوعی شب و گسترش آلودگی نوری در استان‌های کشور در سال‌های ۱۳۸۰، ۱۳۷۵ و ۱۳۹۰، از داده‌های جمعیتی سرشماری نفوس و مسکن مرکز آمار ایران استفاده گردید. به منظور بررسی دلایل تفاوت در میزان آلودگی نوری در استان‌های کشور از داده‌های آماری تراکم نسبی جمعیت و همچنین مهاجرت هر استان مستخرج از داده‌های مرکز آمار ایران استفاده شد و ارتباط بین تغییرات جمعیتی و تغییر نور شب با استفاده از ضرایب رگرسیون خطی مورد تحلیل قرار گرفت.

شرح و تفسیر نتایج

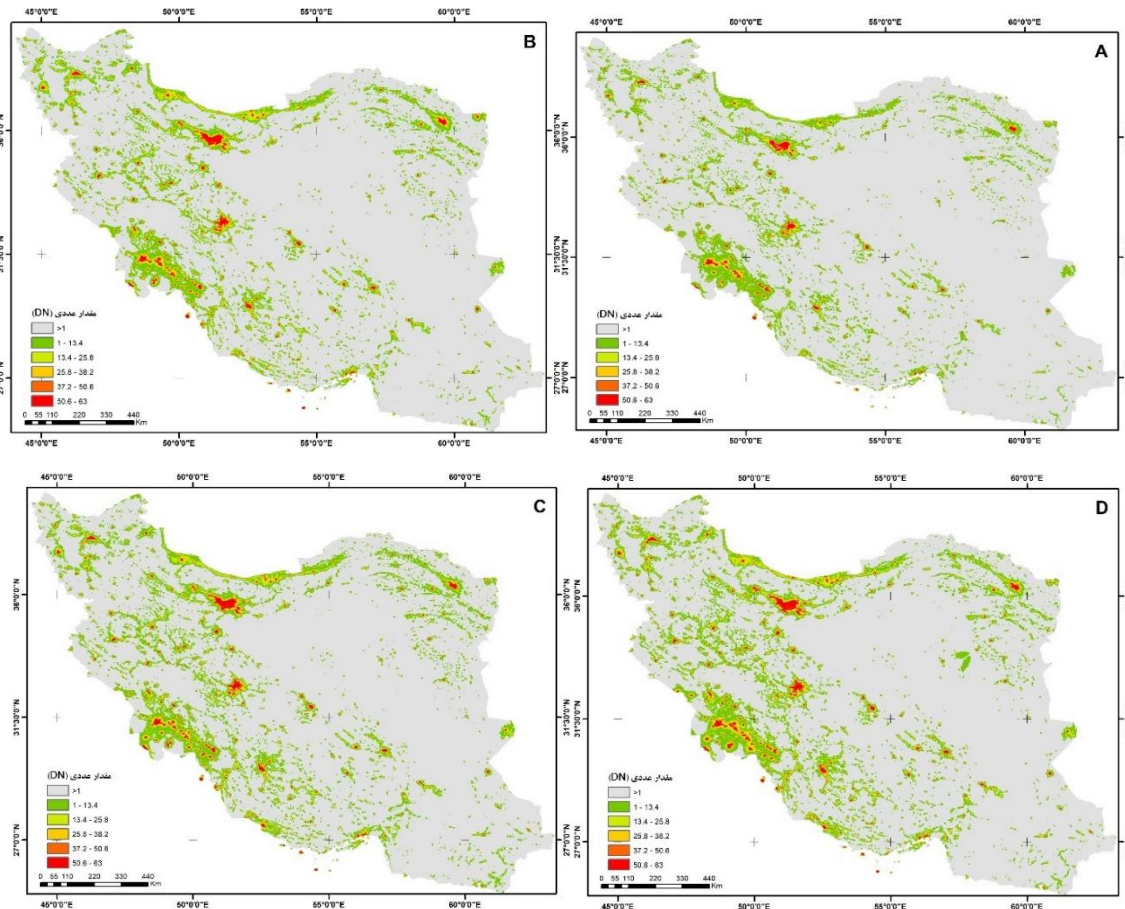
• تغییرات نور شب در مقیاس ملی

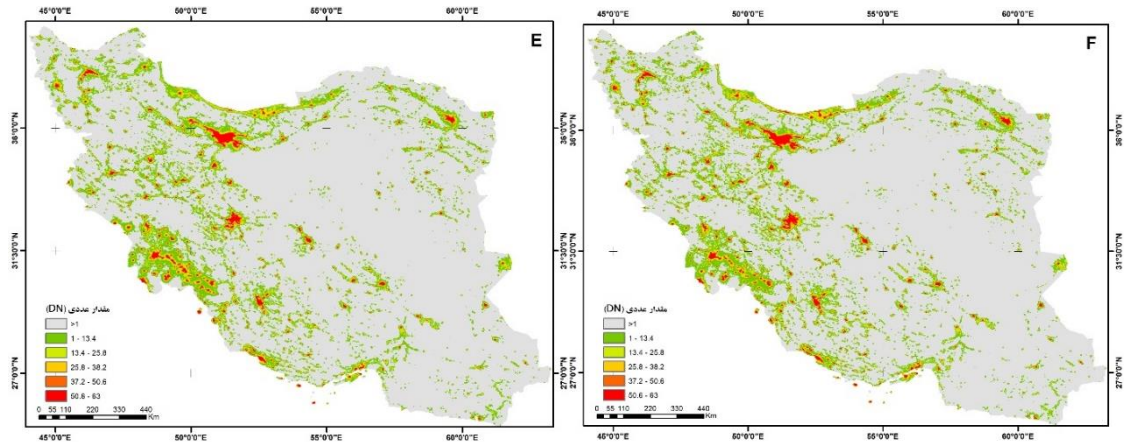
در این مطالعه ابتدا باهدف روند یابی تغییرات نور شب در حدفاصل سال‌های ۱۹۹۶ تا ۲۰۱۳ در مقیاس ملی، مساحت و درصد مساحت نور شب و همچنین تغییرات آن در طبقات درخشندگی محاسبه گردید. همانطور که در جدول (۱) مشاهده می‌شود، در سال ۱۹۹۶، ۱۴۴۲۶۱۴ کیلومتر مربع (۸۷.۵٪) از مساحت کشور در محدوده نور شب با DN کمتر از ۱ قرار گرفته است و جزو مناطق فاقد درخشندگی طبقه‌بندی گردیده اند. این مناطق می‌تواند شامل مناطق بیابانی، کوهستان‌ها و پهنه‌های آبی دریاچه‌های داخلی است که عاری از مراکز جمعیتی مهم هستند. در حدفاصل سال‌های ۱۹۹۶ تا ۲۰۱۳، مساحت و درصد مساحت مناطق فاقد درخشندگی روند کاهشی به خود گرفته و از ۸۷/۵ درصد مساحت کشور در سال ۱۹۹۶ به ۸۵ درصد (۱۴۰۰۶۸۶ کیلومتر مربع) در سال ۲۰۰۱، ۸۳ درصد (۱۳۴۸۲۶۴ کیلومتر مربع) در سال ۲۰۰۴، ۸۱/۸ درصد (۱۳۴۸۲۶۴ کیلومتر مربع) در سال ۲۰۰۶، ۸۱/۶ درصد (۱۳۴۶۲۵۴ کیلومتر مربع) در سال ۲۰۱۱ و ۸۱/۵ درصد (۱۳۴۴۷۰۰ کیلومتر مربع) در سال ۲۰۱۳ کاهش یافته است. این امر نشان دهنده این است که در حدفاصل سال‌های ۱۹۹۶ تا ۲۰۱۳، ۶/۸ درصد (۹۷۹۱۳ کیلومتر مربع) از مساحت مناطق فاقد نور شب کاسته شده است و به تبع تبدیل به مناطق با درخشندگی بسیار کم تا بسیار زیاد می‌شوند که نشان دهنده گسترش نور شب در کشور و افزایش میزان آلودگی نوری است. در این سال (۱۹۹۶) تنها ۱۲/۵ درصد از مساحت کشور جزو مناطق با درخشندگی کم تا بسیار زیاد طبقه‌بندی گردیده اند. بر اساس محاسبات انجام گرفته از ۱۴۴۲۶۱۶ کیلومتر مربع مساحت این طبقه، ۴۱۶۷۸ کیلومتر مربع (۴۲/۶ درصد) آن به منطقه با درخشندگی بسیار کم، ۲۴۸۷۶ کیلومتر مربع (۲۵/۴ درصد) به منطقه با درخشندگی کم، ۱۲۱۰۶ کیلومتر مربع (۱۲/۴ درصد) به منطقه با درخشندگی متوسط، ۷۶۹۳ کیلومتر مربع (۷/۹ درصد) به منطقه با درخشندگی بالا و ۱۱۵۵۸ کیلومتر مربع (۱۱/۸ درصد) به منطقه با درخشندگی بسیار بالا تبدیل شده است.

نتایج نشان می‌دهد که در سال ۱۹۹۶، مساحت منطقه با درخشندگی بسیار کم ۱۶۱۷۲۴ کیلومتر مربع (۹/۸٪)، منطقه با درخشندگی کم ۲۲۳۱۴ کیلومتر مربع (۱/۴٪)، منطقه با درخشندگی متوسط ۸۴۹۴۳ کیلومتر مربع (۰/۵٪)، منطقه با درخشندگی زیاد ۵۴۸۷ کیلومتر مربع (۰/۳٪) و منطقه با درخشندگی بسیار زیاد ۷۳۷۰ کیلومتر مربع (۰/۴٪) است. اما محاسبات نشان می‌دهد، مساحت و درصد مساحت طبقات درخشندگی به تدریج و باگذشت زمان دستخوش تغییراتی می‌شود. همانطور که

در جدول (۱) مشاهده می‌شود، در حدفاصل سال‌های ۱۹۹۶ تا ۲۰۱۳، میزان نور مصنوعی روند افزایشی دارد و مساحت مناطق طبقه‌بندی‌شده نور شب (بسیار کم تا بسیار زیاد) در سال ۲۰۱۳ نسبت به سال ۱۹۹۶ به ترتیب ۴۱۶۴۷۸ کیلومتر مربع (۰/۲۵/۸) در منطقه با درخشندگی بسیار کم، ۲۴۸۷۶ کیلومتر مربع (۰/۱۱۱/۸) منطقه با درخشندگی کم، ۱۲۱۰۶ کیلومتر مربع (۰/۱۴۲/۵) منطقه با درخشندگی متوسط و ۷۶۹۳ کیلومتر مربع (۰/۱۴۰/۲) منطقه با درخشندگی زیاد افزایش یافته است. ولی نکته بسیار مهم افزایش درصد مساحت با درخشندگی بسیار زیاد است که در حدفاصل سال‌های ۱۹۹۷ تا ۲۰۱۳، روندی افزایشی به میزان ۱۵۶/۸ درصد (۱۱۵۵/۸ کیلومتر مربع) داشته است. افزایش مساحت و درصد مساحت درخشندگی بسیار زیاد (که میتوان به نوعی به عنوان مناطق تولید نور مصنوعی بسیار بالا به آن اشاره نمود) نشان دهنده روند افزایشی شدید آلودگی نوری کشور است (شکل، ۱).

درصد تغییرات تغییرات ۱۹۹۷-۲۰۱۳	میزان تغییرات ۲۰۱۱ به ۲۰۱۳	درصد ملاحظات در سال ۲۰۱۳	میزان تغییرات ۲۰۰۶ به ۲۰۱۱	درصد ملاحظات در سال ۲۰۱۱	میزان تغییرات ۲۰۰۴ به ۲۰۰۶	درصد ملاحظات در سال ۲۰۰۶	میزان تغییرات ۲۰۰۱ به ۲۰۰۴	درصد ملاحظات در سال ۲۰۰۴	میزان تغییرات ۱۹۹۷-۲۰۰۱	درصد ملاحظات در سال ۲۰۰۱	ملاحظات در سال ۱۹۹۷
-۶.۸	۹۷۹۱۳	۱۵.۵	-	۱۳۴۴۷۰۰	۲۰.۱۰	۸۱.۶	۱۳۴۴۶۰۰	۲۰.۰۶	۲۶۹۰۹۵۴	۸۷.۵	۱۴۴۴۶۱۶
۲۵.۸	۶۱۶۷۸	۱۲.۴	-۶۱۰۱۷۲	۲۰.۴۰۲	-۹۶.۹	۱۲.۶	۲۰.۴۰۲	۷۰.۳	۲۵۲۱۸	۱۲.۷	۱۶۱۷۲۴
۱۱۱.۵	۲۴۸۷۶	۲.۹	-۹۳۵۶۶	۶۷۱۹۰	۳۵۴۳	۲.۸	۶۶۳۷۶	۶۴۵۱	۳۶۲۶۲	۲.۲	۲۲۲۴۵
۱۴۴.۵	۱۲۱۰۶	۱.۳	-۳۹۸۳۳	۲۰.۵۹۹	۱۹.۵۹	۱.۲	۱۹۳۸۴	۳۵۸۱	۱۳۹۰۷	۰.۸	۸۹۴۳
۱۴.۲	۷۶۴۳	۰.۸	-۲۵۴۴۷	۱۳۱۸۰	۱۵.۴۷	۰.۷	۱۲۴۴۷	۲۱۷۸	۸۵۲۲	۰.۵	۵۴۸۷
۱۵۶.۸	۱۱۵۵۸	۱.۲	-۳۵۸۷۲	۱۸۹۲۷	۴۳۵۵	۱.۰	۱۶۹۲۰	۹۱۰	۱۱۷۰۵	۰.۶	۷۳۷۰





شکل ۱. پراکنش نور شب طبقه‌بندی شده در ایران A: ۱۹۹۶، B: ۲۰۰۱، C: ۲۰۰۴، D: ۲۰۰۶، E: ۲۰۱۱، F: ۲۰۱۳

• تغییرات میزان نور شب در مقیاس استانی

الف: تغییرات نور شب با درخشندگی بسیار بالا

همانطور که اشاره گردید طبقه نور با درخشندگی بسیار بالا شاخصی برای آلودگی نوری محسوب می‌گردد، از این رو از این شاخص به عنوان مبنایی برای بررسی آلودگی نوری در استان‌های کشور استفاده گردید و استان‌ها با توجه به مساحت و درصد مساحت طبقه با درخشندگی بسیار زیاد در سال ۲۰۱۳ رتبه‌بندی گردیدند. همچنین تغییرات این طبقه در طی سال‌های ۱۹۹۶ تا ۲۰۱۳ مورد نیز مورد بررسی قرار گرفت تا روند تغییرات آلودگی نوری در این دوره زمانی در استان‌های کشور به دست بیاید. بررسی‌های نشان می‌دهد، در سال ۲۰۱۳ سه استانی که بیشترین مساحت طبقه نور شب با درخشندگی بسیار زیاد به خود اختصاص داده است به ترتیب عبارتند از ۱- تهران با ۲۶۲۱ کیلومتر مربع، ۲- خوزستان با ۲۲۱۴ کیلومتر مربع (شکل E، ۲)، ۳- اصفهان با ۱۸۹۱ کیلومتر مربع. علاوه بر آن کمترین مساحت طبقه با درخشندگی بسیار زیاد متعلق به سه استان خراسان شمالی با ۹۵ کیلومتر مربع (رتبه ۳۱)، خراسان جنوبی با ۱۱۸ کیلومتر مربع (رتبه ۳۰) و استان اردبیل با ۱۲۷ کیلومتر مربع (رتبه ۲۹) است و سایر استان‌ها رتبه‌های مختص به خود را کسب نموده‌اند (جدول ۲). تحلیل تولید نور مصنوعی مناطق با درخشندگی بسیار زیاد زمانی از دقت بیشتری برخوردار خواهد بود که رابطه‌ای بین وسعت هر استان و مساحت و درصد مساحت نور شب با درخشندگی‌ها در طبقات مختلف به خصوص با درخشندگی بسیار زیاد در آن محاسبه و بررسی گردد، زیرا امکان دارد باوجود مساحت زیاد منطقه با درخشندگی بسیار بالا، به دلیل وسعت بسیار زیاد استان، درصد آلودگی نوری با نور با درخشندگی بالا در آن استان نسبت به مساحت کل استان بسیار کم باشد. با در نظر گرفتن این شاخصه، رتبه‌بندی استان‌های کشور در آلودگی نوری تغییراتی می‌یابد. از این رو با توجه به درصد مساحت منطقه با درخشندگی بسیار بالا، سه استانی که در رتبه اول تا سوم قرار دارند به ترتیب، عبارتند از ۱- استان تهران با ۱۹/۱۶ درصد، استان البرز، ۱۲/۸ درصد و با فاصله بسیار زیادتر از این دو استان، استان بوشهر با ۳/۸۳ درصد در رتبه سوم که نشان می‌دهد که درصد بسیار زیادی از مساحت این استان‌ها به دلیل تمرکز جمعیتی بسیار زیاد و استقرار تأسیسات عمومی و صنعتی نسبت به سایر استان‌ها با آلودگی نوری شدید مواجه هستند. علاوه بر آن کمترین درصد مساحت مناطق با درخشندگی بالا متعلق به ترتیب متعلق به استان‌ها ۱- خراسان جنوبی با ۰/۱۴ درصد (رتبه ۳۱)، ۲- سیستان و بلوچستان با ۰/۱۲ درصد (رتبه ۳۰) و ۳- سمنان (رتبه ۲۹) است و سایر استان‌ها در رتبه‌های بعدی قرار دارند (جدول ۲، شکل ۱)، که علت آن را می‌توان وسعت بسیار زیاد و تمرکز جمعیتی بسیار کم آن باشد.

پایش روند تغییرات نور شب به خصوص نور شب با درخشندگی بسیار زیاد، به تفکیک استان در حدفصل سال‌های ۱۹۹۶ تا ۲۰۱۳ می‌تواند در تحلیل بهتر روند آلودگی نوری کشور و تعیین استان‌هایی که سرعت افزایش آلودگی نوری در آن‌ها بسیار زیاد است کمک نماید. همانطور که در جدول (۲) مشاهده می‌شود، مساحت طبقه با درخشندگی بسیار بالا در حدفصل سال‌های ۱۹۹۶ تا ۲۰۱۳ در تمامی استان‌ها روند افزایشی داشته است، محاسبات نشان می‌دهد که روند تغییرات نور شب که در کل کشور روندی افزایشی است در تمامی استان‌های کشور یکسان نیست. در حدفصل سال‌های ۱۹۹۶ تا ۲۰۱۳ بیشترین میزان افزایش مساحت طبقه با درخشندگی بسیار بالا به ترتیب متعلق به استان‌های ذیل است:

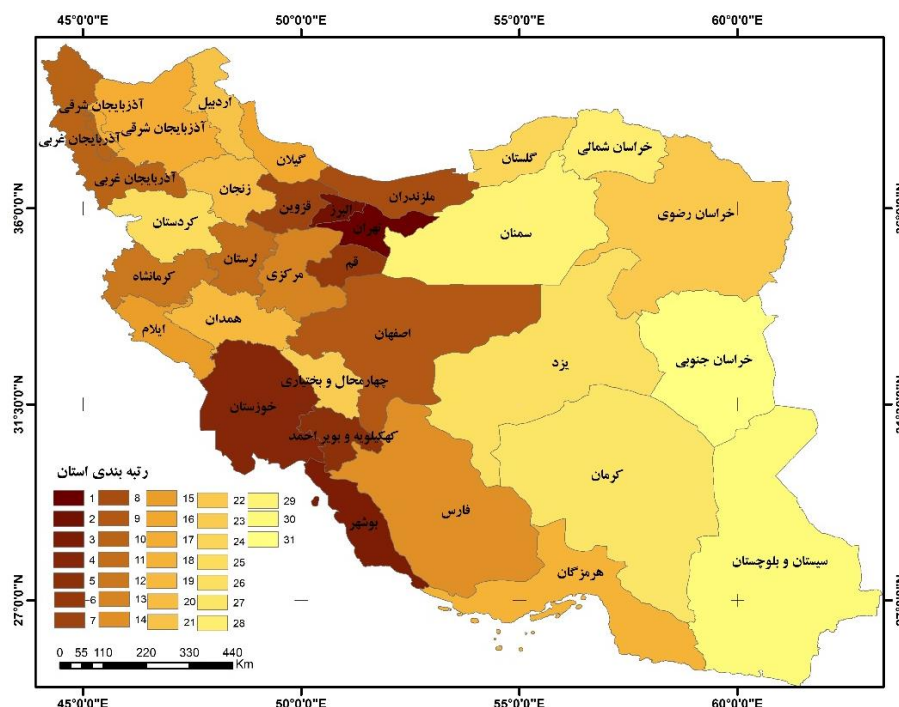
تهران با ۱۴۱۱ کیلومتر مربع افزایش نسبت به سال ۱۹۹۶ (شکل، A و B)، ۲ - اصفهان ۱۱۶۱ کیلومتر مربع و ۳ - استان فارس ۱۰۹۳ کیلومتر مربع (شکل، H و G). این نتایج نشان می‌دهد که این سه استان روند افزایش تولید نور مصنوعی از شدت بسیار زیادتری نسبت به سایر استان‌ها تجربه نموده‌اند.

در مقابل سه استان کهگیلویه و بویراحمد با ۳۱ کیلومتر مربع افزایش (رتبه ۳۱)، خراسان شمالی با ۶۱ کیلومتر مربع افزایش (رتبه ۳۰) و استان اردبیل با ۸۴ کیلومتر مربع (رتبه ۲۹) به ترتیب کمترین افزایش نور شب را در طبقه درخشندگی بالا در حدفصل سال‌های ۱۹۹۶ تا ۲۰۱۳ به خود اختصاص داده‌اند که نشان می‌دهد روند افزایش آلودگی نوری در این استان‌ها بسیار کمتر است. اما با بررسی درصد افزایش مساحت طبقه با درخشندگی بالا در استان‌های مختلف در حدفصل سال‌های ۱۹۹۶ تا ۲۰۱۳ نتایج متفاوت‌تری را ارائه می‌کند و می‌تواند به عنوان مبنای تحلیلی بهتری برای روند یابی افزایش آلودگی نوری در کشور قلمداد گردد. در حدفصل سال‌های ۱۹۹۶ تا ۲۰۱۳ به ترتیب استان خراسان جنوبی با ۵۲۹/۹ درصد افزایش مساحت طبقه با درخشندگی بسیار زیاد در رتبه اول قرار گرفته است. در این استان وسعت طبقه با درخشندگی بسیار بالا در سال ۱۹۹۶ تنها ۱۹ کیلومتر مربع بوده است و این در حالی است که این مساحت در سال ۲۰۱۳ به ۹۹ کیلومتر افزایش یافته است که در نوع خود بسیار قابل توجه می‌باشد. استان‌های قزوین با ۴۳۷/۲ درصد و زنجان با ۳۹۳/۶ درصد افزایش درصد مساحت طبقه با درخشندگی بالا در رتبه‌های بعدی قرار دارد. علاوه بر آن کمترین میزان افزایش درصد منطقه با درخشندگی بالا به ترتیب متعلق به استان‌های کهگیلویه و بویراحمد به میزان ۱۶/۸ درصد (رتبه ۳۱)، خوزستان با ۴۵/۹ درصد (رتبه ۳۰) و یزد با ۹۹/۳ درصد (رتبه ۲۹) است. نتایج به دست آمده داده‌های نور شب با درخشندگی بسیار زیاد و تغییرات آن در حدفصل سال‌های ۱۹۹۶ تا ۲۰۱۳ نشان می‌دهد که استان‌های تهران و البرز، خوزستان، اصفهان و فارس و بوشهر در بازه زمانی مطالعه بیشترین میزان آلودگی نوری نسبت به سایر استان‌ها را به خود اختصاص داده‌اند. دو استان تهران و البرز از وضعیت بحرانی‌تری نسبت به سایر استان‌ها برخوردار هستند و درصد مساحت بسیار زیادی از این استان‌ها (۶۴/۸ درصد از مساحت استان تهران و ۶۴/۴ استان البرز) در معرض نور مصنوعی بسیار کم تا بسیار زیاد قرار دارد.

جدول ۲. رتبه‌بندی استان‌های کشور بر اساس مساحت و درصد مساحت نور شب در طبقه با درخشندگی بسیار زیاد و تغییرات آن در

حدفصل سال‌های ۱۹۹۶ تا ۲۰۱۳

رتبه در کشور	افزایش درصد مساحت نسبت به سال ۱۹۹۷	رتبه در کشور	میزان افزایش مساحت نسبت به سال ۱۹۹۶ کیلومتر مربع	رتبه استان در کشور	درصد مساحت در سال ۲۰۱۳	رتبه استان در کشور	مساحت در سال ۲۰۱۳ (کیلومتر مربع)	
۲۰	۱۹۸.۴۲	۲۹	۸۴	۲۱	۰.۸۶	۲۹	۱۲۷	اردبیل
۲۴	۱۵۸.۹۵	۲	۱۱۶۱	۹	۱.۷۷	۲	۱۸۹۱	اصفهان
۲۷	۱۲۳.۵۸	۱۱	۳۲۷	۲	۱۲.۸۷	۱۰	۶۶۰	ایلام
۱۱	۲۷۴.۰۲	۲۱	۱۶۶	۱۵	۱.۱۳	۲۳	۲۲۶	آذربایجان شرقی
۱۷	۲۱۷.۴۱	۸	۵۵۳	۱۰	۱.۶۹	۷	۸۰۸	آذربایجان غربی
۱۸	۲۰۴.۶۰	۱۳	۲۷۶	۱۷	۱.۱۰	۱۳	۴۱۱	بوشهر
۱۴	۲۳۰.۵۱	۵	۶۸۹	۳	۳.۸۳	۶	۹۸۹	تهران
۲۸	۱۱۶.۵۲	۱	۱۴۱۱	۱	۱۹.۱۶	۱	۲۶۲۱	چهارمحال و بختیاری
۵	۲۴۴.۱۱	۲۷	۱۰۲	۲۳	۰.۸۱	۲۸	۱۳۲	خراسان جنوبی
۱	۵۲۹.۹۰	۲۸	۹۹	۳۱	۰.۱۴	۳۰	۱۱۸	خراسان رضوی
۲۶	۱۳۴.۹۷	۶	۶۰۴	۲۲	۰.۸۳	۵	۱۰۵۱	خراسان شمالی
۲۲	۱۸۳.۸۴	۳۰	۶۱	۲۸	۰.۲۴	۳۱	۹۵	خوزستان
۳۰	۴۵.۹۳	۴	۶۹۷	۴	۳.۴۶	۲	۲۲۱۴	زنجان
۳	۲۹۳.۶۵	۲۲	۱۵۲	۲۰	۰.۸۸	۲۴	۱۹۱	سمنان
۸	۲۹۸.۰۴	۲۰	۱۷۸	۲۹	۰.۲۴	۲۲	۲۲۸	سیستان و بلوچستان
۱۵	۲۳۰.۴۸	۱۴	۲۶۶	۳۰	۰.۲۱	۱۴	۳۸۱	فارس
۶	۳۴۲.۹۹	۳	۱۰۹۳	۱۴	۱.۱۵	۴	۱۴۱۱	قزوین
۲	۴۳۷.۲۰	۱۵	۲۴۵	۷	۱.۹۴	۱۸	۳۰۱	قم
۲۵	۱۳۷.۶۸	۲۳	۱۴۲	۶	۲.۱۲	۲۱	۲۴۵	کردستان
۲۳	۱۸۳.۸۲	۲۶	۱۱۲	۲۵	۰.۵۹	۲۵	۱۷۳	کرمان
۱۶	۲۲۱.۲۵	۹	۵۲۹	۲۷	۰.۴۳	۹	۷۶۹	کرمانشاه
۱۳	۲۴۵.۲۸	۱۶	۲۳۹	۱۲	۱.۳۴	۱۷	۲۳۶	کهگیلویه و بویر احمد
۳۱	۱۶.۸۱	۳۱	۵۲	۵	۲.۳۳	۱۵	۳۶۲	گلستان
۷	۳۲۶.۶۵	۲۴	۱۲۶	۲۴	۰.۷۸	۲۷	۱۶۴	گیلان
۱۹	۲۰۳.۴۰	۲۵	۱۱۵	۱۶	۱.۱۲	۲۶	۱۷۲	لرستان
۱۲	۲۵۸.۳۴	۱۹	۱۹۰	۱۱	۱.۳۶	۲۰	۲۶۳	مازندران
۹	۲۸۷.۸۷	۱۰	۳۵۴	۸	۱.۹۲	۱۲	۴۷۶	مرکزی
۲۱	۱۹۱.۷۲	۱۷	۲۲۴	۱۳	۱.۱۷	۱۶	۳۴۲	هرمزگان
۱۰	۲۸۰.۹۶	۷	۵۹۵	۱۸	۱.۰۹	۸	۸۰۷	همدان
۴	۳۷۸.۰۷	۱۸	۲۲۲	۱۹	۰.۹۹	۱۹	۲۸۰	یزد
۲۹	۹۹.۲۴	۱۲	۳۰۴	۲۶	۰.۴۷	۱۱	۶۱۰	



شکل ۲. رتبه‌بندی استان‌ها در درصد مساحت نور شب با درخشندگی بسیار زیاد در سال ۲۰۱۳

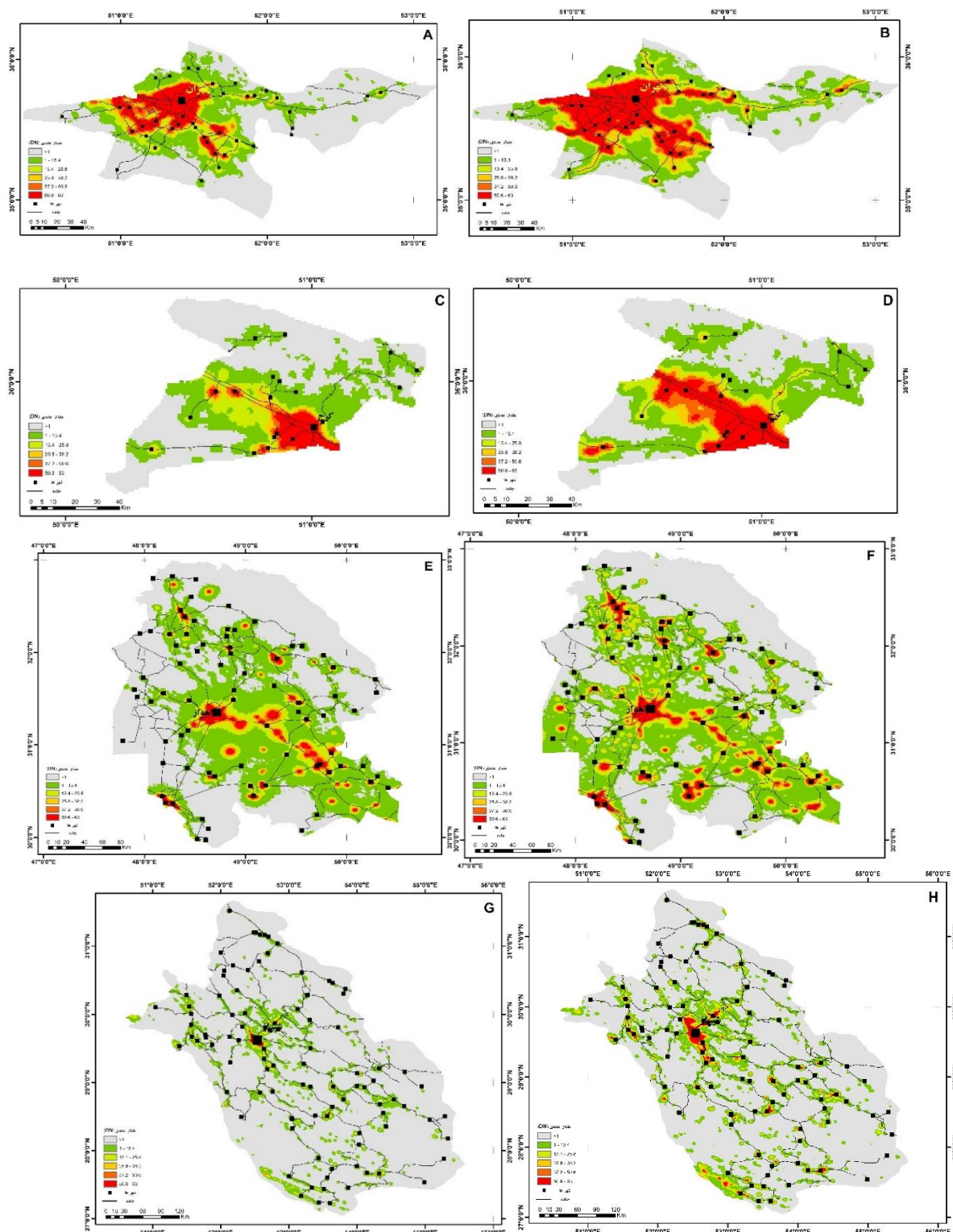
ب: تغییرات نور شب در مناطق فاقد درخشندگی

عدم وجود نور ناشی از فعالیت‌های انسانی در هر منطقه‌ای نشان دهنده عاری بودن آن منطقه از نور مصنوعی آلودگی نوری است و مساحت زیاد استان و منطقه‌ای که داده‌های ثبت‌شده نور شب ماهواره DMSP/OLS در آن فاقد درخشندگی باشد را می‌توان به عنوان مزیت سرزمینی از لحاظ زیست محیطی قلمداد نمود و کاهش آن می‌تواند نشان دهنده تغییرات محیطی و هشدار بر گسترش نور مصنوعی و افزایش آلودگی نوری در یک منطقه دانست. در بین استان‌های کشور بیشترین مساحت منطقه فاقد درخشندگی نور شب ماهواره DMSP/OLS در سال ۲۰۱۳ متعلق به استان سیستان و بلوچستان است که مساحتی در حدود ۱۶۸۰۰۲ کیلومتر را دربر می‌گیرد و بعد از آن استان‌های کرمان با ۱۶۱۸۰۰ کیلومتر و یزد با ۱۲۱۴۹۱ کیلومتر مربع در رتبه‌های بعدی قرار دارد. این استان‌ها از لحاظ وسعت جزو وسیع‌ترین استان‌های کشور به شمار می‌روند از این‌رو وسعت زیاد منطقه فاقد درخشندگی دور از ذهن نیست. علاوه بر آن شرایط جغرافیایی این استان‌ها از لحاظ اقلیمی، زمین‌شناختی، کمبود منابع آبی و منابع حیاتی مورد نیاز برای استقرار انسان، در بسیاری از مناطق این استان‌ها، شرایط استقرار سکونت گاه‌های انسانی را کاهش می‌دهد و به تبع آن وسعت مناطقی که در آن نورهای مصنوعی وجود دارد بسیار محدود است. مساحت بسیار زیاد نور با درخشندگی بسیار زیاد استان‌های تهران و البرز منجر شده است که کمترین مساحت منطقه فاقد درخشندگی را داشته باشند. استان البرز با ۱۹۲۸ کیلومتر مربع (رتبه ۳۱) کمترین مساحت منطقه فاقد درخشندگی را در سال ۲۰۱۳ به خود اختصاص داده است و تهران با ۴۸۲۰ کیلومتر مربع (رتبه ۳۰) و قم با ۸۲۹۵ کیلومتر مربع (رتبه ۲۹) در رتبه‌های بعدی قرار دارند. هرچند مساحت کم استان‌های البرز و تهران را میتوان دلیل بر مساحت کم منطقه فاقد درخشندگی دانست ولی شاخصه‌های دیگر نشان دهنده تغییرات بسیار شدید و افزایش نور مصنوعی در این استان‌ها است. از کل مساحت استان‌های تهران و البرز به ترتیب تنها ۳۵/۲ درصد و ۳۷/۶ درصد مساحت آن‌ها در محدوده منطقه فاقد درخشندگی قرار دارد و در حدود از ۶۵ درصد استان تهران و

۶۲/۴ درصد از استان البرز را مناطق با درخشندگی کم تا بسیار زیاد در بر گرفته است که این امر نشان دهنده غلبه منطقه دارای نور مصنوعی در شب نسبت به منطقه فاقد نور مصنوعی در این استان ها است. استان بوشهر نیز با ۵۸/۶ درصد منطقه فاقد درخشندگی در رتبه ۲۹ کشور قرار گرفته است.

در بررسی اولیه و مقایسه تغییرات وسعت منطقه فاقد درخشندگی نور شب در ماهواره DMSP/OLS در حداث سال های ۱۹۹۶ تا ۲۰۱۳ مشخص گردید که وسعت منطقه فاقد درخشندگی در تمامی استان های روندی کاهشی داشته است. بیشترین میزان کاهش در استان فارس مشاهده می شود که در حداث سال های ۱۹۹۶ تا ۲۰۱۳ در حدود ۱۰۴۳۴ کیلومتر مربع از مساحت منطقه فاقد درخشندگی را از دست داده است و از این مقدار کاهش، ۴۸۴۲ کیلومتر به منطقه با درخشندگی بسیار کم، ۲۵۱۶ کیلومتر به منطقه با درخشندگی کم، ۱۱۹۹ کیلومتر مربع به منطقه با درخشندگی متوسط، ۷۸۴ کیلومتر به منطقه با درخشندگی بالا و ۱۰۹۲ کیلومتر به منطقه با درخشندگی بالا تبدیل شده است. در رتبه های بعدی کاهش مساحت منطقه فاقد درخشندگی در حداث سال های ۱۹۹۶ تا ۲۰۱۶ استان های هرمزگان با ۶۶۳۲ کیلومتر مربع (۲۹۹۳ کیلومتر مربع به منطقه با درخشندگی بسیار کم، ۱۷۸۸ کیلومتر مربع به منطقه با درخشندگی کم، ۷۷۳ کیلومتر مربع به منطقه با درخشندگی متوسط، ۴۸۲ کیلومتر مربع به منطقه با درخشندگی بالا و ۵۴۵ کیلومتر مربع به منطقه با درخشندگی بالا تبدیل شده است) در رتبه دوم و کرمان با ۶۲۳۶ کیلومتر مربع (۲۹۴۹ کیلومتر مربع به منطقه با درخشندگی بسیار کم، ۱۶۵۶ کیلومتر مربع به منطقه با درخشندگی کم، ۷۱۰ کیلومتر مربع به منطقه با درخشندگی متوسط، ۳۹۰ کیلومتر مربع به منطقه با درخشندگی بالا و ۵۲۹ کیلومتر مربع به منطقه با درخشندگی بالا تبدیل شده است) در رتبه سوم و سایر استان ها در رتبه های بعدی قرار دارد.

از لحاظ درصد کاهش مساحت منطقه فاقد درخشندگی در کشور از سال ۱۹۹۶ تا سال ۲۰۱۳، استان البرز با ۳۶/۷ درصد کاهش (رتبه ۱)، تهران با ۳۴/۱ درصد و با فاصله بسیار یاد استان لرستان با ۱۸/۸ درصد رتبه های بعدی قرار دارد. این روند کاهشی در استان های البرز و تهران نشان دهنده این است که در این دو استان که مساحت بسیار کمی نسبت به سایر استان ها دارند، احتمالاً در حداث سال های ۱۹۹۶ تا ۲۰۱۳ روند افزایش جمعیت، مهاجرت و توسعه شهرنشینی و مراکز جمعیتی از شدت بسیار زیادتری برخوردار بوده است که این امر به تدریج منجر به کاهش وسعت مناطقی شده است که در گذشته هیچ گونه نور مصنوعی نداشته اند و این مناطق تبدیل به مناطقی با درخشندگی کم تا بسیار زیاد شده است. در استان البرز این کاهش منطقه فاقد درخشندگی در حدود ۳۶/۷ درصد و معادل ۹۷۶ کیلومتر مربع می باشد که از این میزان، ۳۱۴ کیلومتر مربع (۳۳ درصد) به منطقه با درخشندگی بسیار کم، ۱۰۴ کیلومتر مربع (۱۱ درصد) به منطقه با درخشندگی کم، ۷۶ کیلومتر مربع (۸ درصد) به منطقه با درخشندگی متوسط، ۱۵۶ کیلومتر مربع (۱۶ درصد) به منطقه با درخشندگی بالا و ۳۲۷ کیلومتر مربع (۳۵ درصد) به منطقه با درخشندگی بالا تبدیل شده است. این آمار برای تهران نیز قابل توجه است از ۳۴/۱ درصدی (۲۴۹۳ کیلومتر مربع) که از مساحت منطقه فاقد درخشندگی کم شده است، ۱۷۰ کیلومتر مربع (۷ درصد) به منطقه با درخشندگی بسیار کم، ۳۴۴ کیلومتر مربع (۱۴ درصد) به منطقه با درخشندگی کم، ۳۲۲ کیلومتر مربع (۱۳ درصد) به منطقه با درخشندگی متوسط، ۱۵۶ کیلومتر مربع (۱۰ درصد) به منطقه با درخشندگی بالا تبدیل شده است قابل توجه آنکه ۱۴۱۰ کیلومتر مربع (۵۷ درصد) به منطقه با درخشندگی بالا اختصاص دارد. این تغییرات نشان دهنده روند نگران کننده افزایش آلودگی نوری در استان های کشور بالاخص استان های تهران و البرز می باشد.



شکل ۳. تغییرات نور شب در بین سال‌های ۱۹۹۶ تا ۲۰۱۳: A: تهران ۱۹۹۷، B: تهران ۲۰۱۳، C: البرز ۱۹۹۷، D: البرز ۲۰۱۳، E: خوزستان ۱۹۹۷، F: خوزستان ۲۰۱۳، G: فارس ۱۹۹۷، H: فارس ۲۰۱۳

• رابطه بین تحولات جمعیتی و افزایش میزان آلودگی نوری کشور

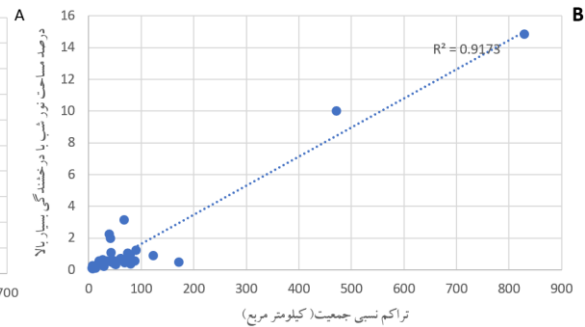
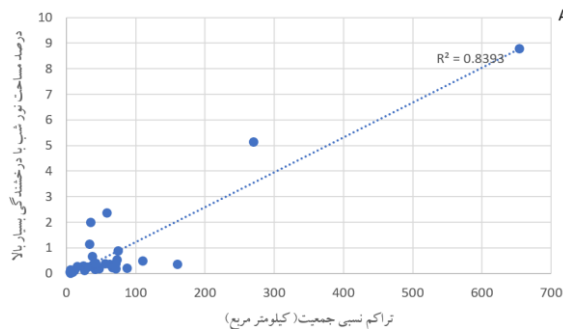
همانطور که اطلاعات استخراج شده از داده‌های ماهواره‌ای نور شب DMS/OLS نشان می‌دهد، افزایش نور شب در طی سال‌های گذشته در ایران و تمامی استان‌ها روی داده است و مساحت طبقه با درخشندگی بسیار کم، کم، متوسط، زیاد و بسیار زیاد افزایش یافته است؛ اما این روند افزایش نور شب در حفاصل سال‌های ۱۹۹۶ تا ۲۰۱۳ در همه استان‌های کشور به یک میزان نبوده است. یکی از مهم‌ترین عوامل گسترش آلودگی نوری در کشور را می‌توان تحولات جمعیتی در کشور دانست. جمعیت ایران توزیعی نامتناسب و نامتعادل دارد که ناشی از عوامل متنوع طبیعی، اقتصادی، اجتماعی، فرهنگی، تاریخی و سیاسی است. ناحیه جغرافیائی شمال و شمال غرب، متراکم‌ترین نواحی ایران است. در مقابل، نواحی جنوب شرق و شرق، جمعیت پراکنده‌ای دارند. از نظر تراکم حسابی، تهران پرتراکم‌ترین و سمنان کم تراکم‌تری استان‌های ایران هستند. علاوه بر آن شهرنشینی در ایران، رشدی شتابان داشته و در فاصله سالهای ۱۳۳۵ تا ۱۳۸۵ نسبت شهرنشینی به بیش از دو برابر رسیده است. تعداد شهرها نیز در این فاصله بیش از پنج برابر شده اند. شهرهای بزرگ سهم عمده‌ای از جمعیت شهری را به خود اختصاص داده و بیش از دو سوم جمعیت شهری ایران در شهرهای صد هزار نفری و بیشتر جای گرفته اند. سهم پنج کلان شهر یک میلیونی و بیشتر حدود یک‌ششم و ۱۳ شهر پانصد هزار نفری و بیشتر نزدیک به یک‌دوم جمعیت شهری است (مهاجرانی، ۱۳۸۹) و این تراکم بسیار بالا در نقاط شهری و همچنین روستایی و روند رو به افزایش آن، می‌تواند منجر به گسترش انواع آلودگی‌های زیست محیطی از جمله آلودگی نوری در کشور گردد.

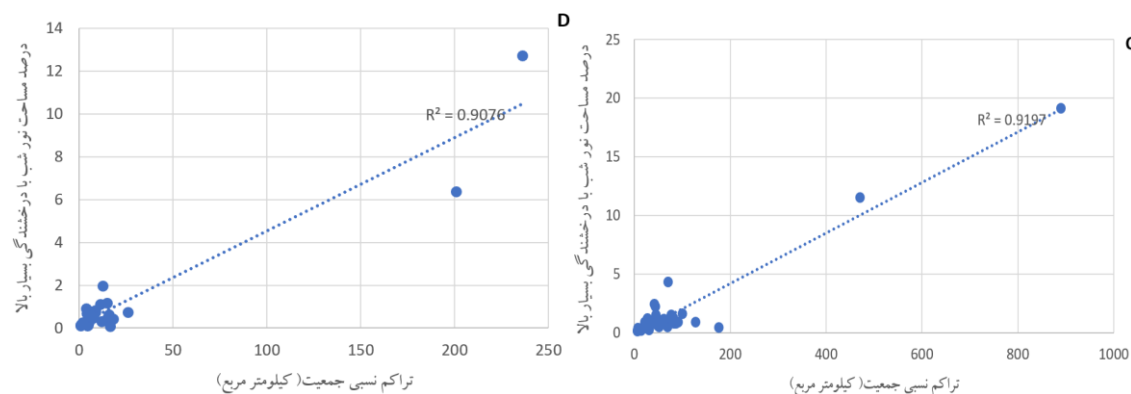
با توجه به آمار مرکز آمار ایران (طرانیان، ۱۳۹۳) تراکم نسبی جمعیت (نفر در کیلومتر مربع) در ایران از ۳۷ نفر در سال ۱۳۷۵ به ۴۳ نفر در سال ۱۳۸۵ و ۴۶ نفر در سال ۱۳۹۰ رسیده است و این امر نشان‌دهنده افزایش تعداد جمعیت در واحد سطح در کشور است که نتیجه آن افزایش میزان بهره‌برداری از منابع انرژی به خصوص برق و در نهایت افزایش آلودگی نوری در سطح کشور خواهد بود. همانطور که در جدول (۱) مشاهده می‌شود، در سال ۱۳۷۵ درصد مناطق با درخشندگی بالا در کشور معادل ۷۳۴۰ کیلومتر مربع (۰/۴ درصد از مساحت کشور) بوده است ولی به تدریج این رقم به ۱۲۶۱۵ کیلومتر مربع (۰/۸ درصد) در سال ۱۳۸۵ و ۱۶۹۷۰ کیلومتر مربع (۱ درصد) ۱۳۹۰ افزایش یافته است که نشان از رشد ۲۳۰ درصدی مساحت منطقه با درخشندگی بالا در کشور است. ولی همانطور که اشاره شد این افزایش در همه استان‌های به یک میزان نیست. یکی از مهم‌ترین شاخصه‌های جمعیتی که می‌توان از آن در تحلیل تفاوت افزایش آلودگی نوری در بین استان‌های کشور استفاده نمود، تراکم نسبی جمعیت و روند تغییرات آن در دوره مورد مطالعه است. به منظور بررسی نقش و رابطه بین تغییرات تراکم جمعیت و میزان نور مصنوعی در کشور، از شاخص تراکم نسبی جمعیت کشور و استان‌ها در سرشماری نفوس و مسکن سال‌های ۱۳۸۵، ۱۳۷۵ و ۱۳۹۰ و تغییرات آن در طول این دوره‌های زمانی و همچنین مساحت نور شب با درخشندگی بسیار بالا در استانهای کشور استفاده گردید. همانطور که در جدول (۳) مشاهده می‌شود، بیشترین تراکم نسبی جمعیت کشور در سال ۱۳۷۵ به ترتیب در استان‌های تهران (۶۵۴ نفر در کیلومتر مربع)، البرز (۲۷۰ نفر در کیلومتر مربع) مشاهده می‌شود. این تراکم نسبی بالای جمعیتی در این دو استان باعث افزایش میزان استفاده از نور مصنوعی شده است و به تبع آن بالا بودن آلودگی نوری شده است، به دلیل تراکم نسبی بالای جمعیتی در استان تهران بیشترین درصد مساحت نور شب با درخشندگی بسیار بالا را با ۸/۸ درصد در سال ۱۳۷۵ به خود اختصاص دهد و در مجموع ۴۶/۵ درصد از استان در محدوده نور با درخشندگی‌های بسیار کم، کم، متوسط، زیاد و بسیار زیاد قرار گرفته است و بقیه مساحت استان فاقد درخشندگی در نور شب است که از این لحاظ کمترین درصد نور شب را در سطح کشور به خود اختصاص داده است. استان البرز نیز در سال ۱۳۷۵ رتبه دوم تراکم نسبی جمعیت کشور را به خود اختصاص داده است و هم‌زمان بعد از استان

تهران رتبه دوم درصد مساحت نور با درخشندگی بسیار بالا را با ۵/۱۶ به خود اختصاص داده است. در سال ۱۳۷۵ کمترین میزان تراکم نسبی جمعیت را به ترتیب استان های سمنان با ۶ نفر در کیلو متر مربع و خراسان جنوبی با ۶ نفر در کیلومتر مربع به خود اختصاص داده است و این امر باعث شده است که تنها ۰/۳ درصد از مساحت استان سمنان و ۰/۲۱ درصد از مساحت استان خراسان جنوبی در منطقه با درخشندگی بسیار بالا نور شب قرار گیرد و آلودگی نوری بسیار کمی در سطح این دو استان وجود داشته است و این امر تاثیر تراکم نسبی جمعیت برافزایش میزان نور مصنوعی را در بین استان های کشور نشان میدهد. نتایج نشان میدهد آهنگ افزایش آلودگی نوری در کشور با افزایش تراکم نسبی در کشور همخوانی دارد. در حداثال سال های ۱۳۷۵ تا ۱۳۹۰، تراکم نسبی جمعیت در استان تهران با افزایش ۲۳۶ نفر در کیلومتر مربعی همراه بوده است و از ۶۵۴ نفر در کیلومتر مربع در سال ۱۳۷۵ به ۸۹۰ نفر در سال ۱۳۹۰ رسیده است و این آمار برای استان البرز با افزایش ۲۰۱ نفری بوده است که تراکم نسبی جمعیت را از ۲۷۰ نفر در کیلومتر مربع به ۴۸۰ نفر در کیلومتر مربع افزایش یافته است. نتیجه افزایش تراکم نسبی جمعیت این استان های نسبت به سایر استان ها بر روی درصد مساحت نور شب با درخشندگی بسیار زیاد نیز تاثیر گذارده است و باعث شده است که درصد مساحت طبقه با درخشندگی بسیار زیاد در حداثال سال های ۱۳۷۵ تا ۱۳۹۰ در تهران به میزان ۱۲/۷ درصد و در استان البرز ۶/۷ درصد افزایش یابد. تحلیل های آماری مبتنی بر رابطه بین افزایش میزان تراکم جمعیت با افزایش درصد مساحت منطقه نور شب با درخشندگی بالا نیز همبستگی حدود ۰/۹۱ را نشان می دهد (شکل D). همانطور که در شکل (A ۴) مشاهده می شود، بین تراکم نسبی جمعیت و درصد مساحت نور شب با درخشندگی بسیار بالا در سال ۱۳۷۵ همبستگی ۰/۸۴ برقرار است که نشان دهنده ارتباط بسیار قوی بین این دو پارامتر است و با افزایش تراکم نسبی آلودگی نوری نیز افزایش می یابد. ارتباط بین تراکم نسبی جمعیت استان ها و درصد مساحت نور شب با درخشندگی بسیار زیاد برای سال های ۱۳۸۵ و ۱۳۹۰ نیز محاسبه شد و همبستگی ۰/۹۱ را برای سال های ۱۳۸۵ و ۱۳۹۰ نیز نشان میدهد (شکل B و C ۴) این امر نشان میدهد توزیع نامتوازن جمعیتی در کشور و تراکم نسبی بالای جمعیتی در بسیاری از استان های کشور از جمله مواردی است که می تواند منجر به افزایش میزان آلودگی های محیطی و آن گردد.

جدول ۳. تراکم نسبی جمعیت و درصد مساحت نور شب با درخشندگی بالا در حداثال سال های ۱۳۷۵ تا ۱۳۹۰

افزایش درصد مساحت تور شب درختندگی بالار ۱۳۷۵-۱۳۹۰	افزایش تراکم نسبی جمعیت ۱۳۷۵-۱۳۹۰	درصد مساحت تور شب درختندگی بالار ۱۳۹۰ سال	تراکم نسبی جمعیت در سال ۱۳۹۰	درصد مساحت تور شب درختندگی بالار ۱۳۸۵ سال	تراکم نسبی جمعیت در سال ۱۳۸۵	درصد مساحت تور شب درختندگی بالار ۱۳۷۵ سال	تراکم نسبی جمعیت در سال ۱۳۷۵	اردبیل
-۰.۲۶	۳.۵	-۰.۵۰	۷۰	-۰.۴۴	۶۹	-۰.۲۴	۶۶	
-۰.۸۱	۸.۶	-۱.۴۹	۴۶	-۱.۰۹	۴۲	-۰.۶۸	۳۷	اصفهان
۶.۳۷	۲۰.۱	۱۱.۵۳	۴۷۱	۱۰.۰۳	۴۷۱	۵.۱۶	۲۷۰	البرز
-۰.۹	۳.۷	-۱.۲۱	۲۸	-۰.۶۴	۲۷	-۰.۳۰	۲۴	ایلام
-۰.۷۳	۸.۶	-۱.۲۷	۸۲	-۰.۹۳	۷۹	-۰.۵۳	۷۳	آذربایجان شرقی
-۰.۴۷	۱۵.۳	-۰.۸۱	۸۲	-۰.۶۱	۷۷	-۰.۳۴	۶۷	آذربایجان غربی
۱.۰	۱۱.۵	-۲.۲۵	۴۵	۲.۲۵	۳۹	۱.۱۶	۳۳	بوشهر
۱۲.۷۲	۲۳۶.۲	-۱۹.۱۶	۸۹۰	۱۴.۸۴	۸۲۹	۸/۸	۶۵۴	تهران
-۰.۵۷	۷.۶	-۰.۷۶	۵۵	-۰.۳۲	۵۲	-۰.۱۸	۴۷	چهارمحال و بختیاری
-۰.۰۹	۱	-۰.۱۲	۷	-۰.۰۷	۷	-۰.۰۲	۶	خراسان جنوبی
-۰.۲۹	۱۲	-۰.۶۵	۵۰	-۰.۵۵	۴۴	-۰.۳۵	۳۸	خراسان رضوی
-۰.۱	۴.۵	-۰.۲۲	۳۱	-۰.۲۱	۲۹	-۰.۱۲	۲۶	خراسان شمالی
۱.۹۴	۱۲.۷	-۴.۳۲	۷۱	۳.۱۴	۶۷	۲.۳۷	۵۸	خوزستان
-۰.۴۶	۶	-۰.۶۵	۴۷	-۰.۴۸	۴۴	-۰.۱۸	۴۱	زنجان
-۰.۱۳	۱	-۰.۲۰	۶	-۰.۱۲	۶	-۰.۰۶	۵	سمنان
-۰.۱۲	۴.۹	-۰.۱۹	۱۴	-۰.۱۳	۱۳	-۰.۰۶	۹	سیستان و بلوچستان
-۰.۷۴	۶	-۱.۰۰	۳۷۳۸	-۰.۵۸	۳۵	-۰.۲۶	۳۱	فارس
۱.۱۶۷	۱۴.۹	-۱.۵۳	۷۷	۱.۰۶	۷۴	-۰.۳۶	۶۲	قزوین
-۰.۷۳	۲۶	-۱.۶۳	۱۰۰	-۱.۲۶	۹۰	-۰.۸۹	۷۴	قم
-۰.۲۶	۵.۳	-۰.۴۸	۵۱	-۰.۳۷	۴۹	-۰.۲۱	۴۶	کردستان
-۰.۲۴	۵	-۰.۳۸	۱۶	-۰.۲۹	۱۵	-۰.۱۳	۱۱	کرمان
-۰.۷۸	۵	-۱.۱۷	۷۶	-۰.۶۹	۷۵	-۰.۳۹	۷۱	کرمانشاه
-۰.۴۳	۷	-۲.۴۳	۴۲	۱.۹۹	۴۱	۲.۰۰	۳۵	کهگیلویه و بویراحمد
-۰.۵۹	۱۵.۹	-۰.۷۸	۸۷	-۰.۳۶	۸۰	-۰.۱۸	۷۱	گلستان
-۰.۰۸	۱۶.۷	-۰.۴۵	۱۷۷	-۰.۵۱	۱۷۱	-۰.۳۷	۱۶۰	گیلان
-۰.۷۶	۶	-۱.۱۴	۶۲	-۰.۷۰	۶۱	-۰.۳۸	۵۶	لرستان
-۰.۴۱	۱۸.۱	-۰.۹۰	۱۲۸	-۰.۹۱	۱۲۳	-۰.۴۹	۱۱۰	مازندران
-۰.۵۶	۶.۵	-۰.۹۷	۴۹	-۰.۵۹	۴۶	-۰.۴۰	۴۲	مرکزی
-۰.۵۹	۶.۷	-۰.۸۸	۲۲	-۰.۵۸	۲۰	-۰.۲۹	۱۵	هرمزگان
-۰.۶۸	۴	-۰.۸۹	۹۱	-۰.۵۸	۸۸	-۰.۲۱	۸۷	همدان
-۰.۲۵	۲	-۰.۴۰	۸	-۰.۲۷	۸	-۰.۱۵	۶	استان یزد



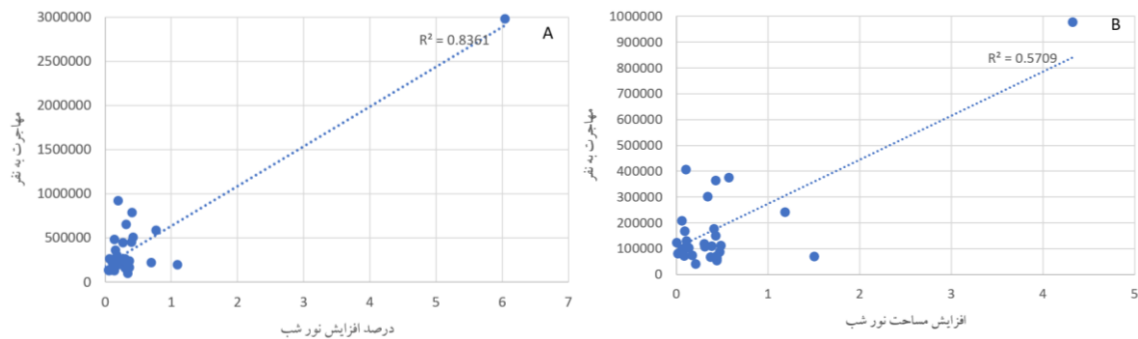


شکل ۴. ارتباط بین تراکم نسبی جمعیت و درصد مساحت نور شب با درخشندگی بالا در A: سال ۱۳۷۵، B: سال ۱۳۸۵، C: سال ۱۳۹۰، و D: افزایش تراکم نسبی و افزایش درصد مساحت نور شب با درخشندگی بالا در بین استان های کشور

آمار منتشرشده توسط مرکز آمار ایران در رابطه با نرخ مهاجرت در کشور نشان میدهد که در حدفاصل سال های ۱۹۷۵ تا ۱۳۸۵، استان تهران با حدود سه میلیون نفر مهاجر بیشترین میزان مهاجرپذیری را در بین استان های کشور به خود اختصاص داده است و این روند در حدفاصل سال های ۱۳۸۵ تا ۱۳۹۰ نیز ادامه داشته است. در همین دوره زمانی بیشترین درصد افزایش مساحت نور شب در حدفاصل سال های ۱۳۷۵ تا ۱۳۸۵ با (۶/۴ درصد) و حدفاصل سال های ۱۳۸۵ تا ۱۳۹۰ با ۴/۳ درصد افزایش به این استان تعلق دارد (جدول ۴). این امر نشان میدهد که در روند تغییرات جمعیتی در استان ها کشور مهاجرت نقش مهمی داشته است و این امر منجر به گسترش سکونتگاههای انسانی و افزایش میزان مصرف برق و گسترش مساحت نور شب در استان های مهاجرپذیر بوده است. همبستگی مثبت قوی ۰/۸۴ بین میزان مهاجرت به استان ها در حدفاصل سال های ۱۳۷۵ تا ۱۳۹۵ و همچنین درصد افزایش مساحت نور شب با درخشندگی بسیار بالا در این دوره زمانی وجود دارد و این همبستگی در حدفاصل سال های ۱۳۸۵ تا ۱۳۹۰ نیز مثبت است که این امر ارتباط بین روند مهاجرتی با در افزایش آلودگی نوری در استان ها مختلف را به وضوح نشان می دهد که افزایش میزان مهاجرت یکی از عوامل اصلی در گسترش آلودگی نوری در بسیاری از استان ها گردیده است.

جدول ۴. مهاجرت به استان ها و درصد مساحت نور شب با درخشندگی بالا در حدفاصل سال های ۱۳۷۵ تا ۱۳۹۰

تغییر درصد مساحت نور شب با درخشندگی بسیار پالا ۱۳۷۵-۱۳۸۵	تغییر درصد مساحت نور شب با درخشندگی بسیار پالا ۱۳۷۵-۱۳۸۵	تغییر درصد مساحت نور شب با درخشندگی بسیار پالا ۱۳۷۵-۱۳۸۵	تغییر درصد مساحت نور شب با درخشندگی بسیار پالا ۱۳۷۵-۱۳۸۵	تغییر درصد مساحت نور شب با درخشندگی بسیار پالا ۱۳۷۵-۱۳۸۵	استان	میزان مهاجرت به نفر ۱۳۷۵-۱۳۸۵	تغییر درصد مساحت نور شب با درخشندگی بسیار پالا ۱۳۷۵-۱۳۸۵	میزان مهاجرت به نفر ۱۳۸۵-۱۳۹۰	تغییر درصد مساحت نور شب با درخشندگی بسیار پالا ۱۳۸۵-۱۳۹۰
۰.۴۲	۳۶۴۲۹۶	۰.۳۲	۶۵۴۰۷۸	۰.۰۶	فارس	۲۰۹۱۹۸	۰.۲	۱۹۹۸۲۲	اردبیل
۰.۴۷	۸۹۱۶۸	۰.۷	۲۲۴۶۰۱	۰.۴	قزوین	۱۷۷۵۳۹	۰.۴۱	۷۸۸۷۲۵	اصفهان
۰.۳۷	۶۸۲۰۲	۰.۳۷	۱۶۴۵۷۹	۱.۵	قم	۷۰۹۰۶	۴.۸۷		البرز
۰.۱۱	۱۳۱۵۶۸	۰.۱۶	۲۵۹۲۰۴	۰.۵۷	کردستان	۳۷۷۰۹۷	۰.۳۴	۹۸۸۳۷	ایلام
۰.۰۹	۱۶۸۵۵۱	۰.۱۶	۲۶۵۲۴۷	۰.۳۴	کرمان	۳۰۳۸۵۰	۰.۴	۴۵۳۲۱۶	آذربایجان شرقی
۰.۴۸	۱۱۳۶۱۲	۰.۳	۲۶۴۱۴۲	۰.۲	کرمانشاه	۴۲۷۵۹	۰.۲۷	۴۴۶۴۳۷	آذربایجان غربی
۰.۴۴	۶۵۱۷۵	-۰.۰۱	۱۴۱۳۱۴	۰	کهگیلویه	۱۲۴۴۵۸	۱.۰۹	۱۹۹۲۰۰	یوشهر
۰.۴۲	۱۵۱۱۷۸	۰.۱۸	۲۰۰۸۸۵	۴.۲۲	گلستان	۹۷۸۸۱۱	۶.۰۴	۲۹۸۳۸۸۹	تهران
-۰.۰۶	۲۳۷۱۸۵	۰.۱۴	۴۸۵۹۸۹	۰.۴۴	گیلان	۵۴۱۹۶	۰.۱۴	۱۳۱۱۴۸	چهار محال
۰.۴۴	۷۲۰۶۲	۰.۳۲	۲۱۳۲۴۲	۰.۰۵	لرستان	۸۴۶۹۲	۰.۰۵	۱۳۵۱۱۰	خراسان جنوبی
-۰.۰۱	۲۳۶۳۸۲	۰.۴۲	۵۱۰۸۲۲	۰.۱	مازندران	۴۰۷۶۸۰	۰.۲	۹۲۴۶۷۴	خراسان رضوی
۰.۳۸	۱۱۰۴۶۵	۰.۱۹	۲۵۸۲۱۹	۰.۰۱	مرکزی	۸۱۷۵۴	۰.۰۹	۱۳۴۸۱۸	خراسان شمالی
۰.۳	۱۲۰۹۷۶	۰.۲۹	۲۳۸۹۵۳	۱.۱۸	هرمزگان	۲۴۲۱۸۱	۰.۷۷	۵۸۸۵۴۴	خوزستان
۰.۳۱	۱۰۹۲۰۲	۰.۳۷	۲۳۸۱۶۳	۰.۱۷	همدان	۷۵۵۳۶	۰.۳	۱۶۱۶۷۵	زنجان
۰.۱۳	۱۰۳۳۳۶	۰.۱۲	۱۸۹۷۷۴	۰.۰۸	یزد	۷۲۰۹۸	۰.۰۶	۱۲۸۱۲۳	سمنان
				۰.۰۶		۱۰۰۴۵۳	۰.۰۷	۲۶۴۶۸۶	سیستان و بلوچستان



شکل ۵. همبستگی مهاجرت به نفر و درصد افزایش نور شب A: سال های ۱۳۷۵ تا ۱۳۸۵ و سال های ۱۳۸۵ تا ۱۳۹۰

نتیجه‌گیری

آلودگی نوری در روزگار کنونی تهدیدی فزاینده است و زیستگاه‌های انسانی و حیات وحش را به خطر انداخته است. مقدار نور مصنوعی سالانه به‌طور پیوسته و یکنواخت در سراسر دنیا در حال افزایش است. کشور ایران هم با توجه به رشد جمعیت و حرکت کشور به سمت صنعتی شدن، با افزایش استخراج و مصرف حامل‌های اولیه انرژی به ویژه برق همراه بوده است و نتیجه آن ایجاد و گسترش آلودگی نوری است. از این‌رو پایش کشور از لحاظ میزان آلودگی نور و بررسی نقاط و استان‌های بحرانی در کشور می‌تواند به برنامه ریزان محیط در زمینه مدیریت آلودگی نوری کمک کند. در این تحقیق از داده‌های نور شب ماهواره DMSP/OLS استفاده گردید. نتایج حاصل از این تحقیق نشان دهنده کارایی بسیار بالای این داده‌ها در امر مطالعات تغییرات نور شب می‌باشد و امکان طبقه‌بندی نورهای شب در سطوح مختلف را فراهم آورده و با توجه به بازه زمانی سالانه تصویربرداری این ماهواره، امکان پایش تغییرات نور شب را در کشور امکان‌پذیر می‌سازد. نتایج این تحقیق نشان می‌دهد میزان نور شب در سطح کشور از سال ۱۹۹۶ تا سال ۲۰۱۳ پیوسته در حال افزایش بوده است و درصد مساحت کشور با درخشندگی بسیار کم ۲۵/۸ افزایش یافته است و این درصد برای، منطقه با درخشندگی کم (۱۱۱/۸٪)، در منطقه با درخشندگی متوسط ۱۴۲/۵ درصد، در منطقه با درخشندگی زیاد (۱۴۰/۲ درصد) و در منطقه با درخشندگی بسیار زیاد ۱۵۶/۸ درصد افزایش یافته است. این افزایش می‌تواند هشدار باشد برای گسترش میزان آلودگی نوری در کشور. در سال ۲۰۱۳ از بین استان‌های کشور، دو استان تهران و البرز بیشترین میزان افزایش نورهای مصنوعی از لحاظ مساحت و درصد مساحت منطقه با درخشندگی نور شب بسیار زیاد را به خود اختصاص داده است و استان‌های خوزستان، بوشهر، فارس و اصفهان از دیگر استان‌هایی است که در رتبه‌های بعدی قرار دارند. در طول دوره زمانی مورد مطالعه روند افزایش نور شب در استان‌های کشور ادامه یافته است و مجدداً استان‌های تهران و البرز و همچنین خراسان جنوبی (از لحاظ افزایش درصد مساحت) بالا ترین رتبه‌ها را به خود اختصاص داده اند. تراکم نسبی نامتوازن جمعیت در برخی استان‌های کشور به خصوص تهران و البرز یکی از عوامل مهم در افزایش نور شب با درخشندگی بسیار بالا و به تبع آن آلودگی نور در این استان‌ها است. توزیع نامتوازن جمعیتی به واسطه افزایش مهاجرت به شهرها و مراکز جمعیتی در کشور و به تبع آن تمرکز فعالیت‌های تجاری و صنعتی در برخی استان‌ها و کانون‌های جمعیتی از جمله مراکز استان‌ها و محدوده‌های صنعتی، روند افزایش نور مصنوعی و به تبع آن آلودگی نوری در کشور را افزایش داده است. گسترش میزان آلودگی نوری و ادامه این روند در آینده می‌تواند تأثیرات مخرب بسیاری را برای زندگی انسان و محیط‌زیست در کشور به وجود آورد. از این‌رو انجام مطالعات جامع‌تر در زمینه آلودگی نوری در سطح کشور و همچنین برنامه‌ریزی و سیاست‌گذاری در امر کاهش نورهای مصنوعی به خصوص استان‌هایی که در معرض آلودگی نوری قرار دارند، ضروری به شمار می‌آید. کاهش آلودگی نوری در کشور می‌تواند با استفاده از تهیه راهنماها، دستورالعمل‌های لازم، تبیین استانداردها، ضوابط و توصیه‌های به منظور قانونمند نمودن مقادیر نورپردازی‌ها و سپس نظارت بر اجرای قوانین امکان‌پذیر گردد.

منابع

- برهمند زاده، دانیال و رضایی قهرودی، زهرا. ۱۳۹۳. بررسی روند تغییرات برق در بخش‌های مختلف. آمار، ۶: ۲۹-۳۳.
- طرائیان، زهرا. ۱۳۹۳. ماده ۶۸ قانون برنامه‌ی پنجم توسعه و نقش مرکز آمار ایران در عملیاتی کردن آن. آمار، ۲(۵): ۱۰-۳.
- فرداد، مهدی و یوسفی، مریم. ۱۳۹۰. ارزیابی آلودگی نوری، بررسی و پهنه‌بندی اثرات زیست محیطی آن با کاربرد تکنیک‌های سنجش‌ازدور و GIS. پنجمین همایش ملی و نمایشگاه تخصصی مهندسی محیط‌زیست.

فرقانی، محمد و عباسپور، رحیم علی. ۱۳۹۳. کاوش و مدل سازی ارتباط تغییرات مکانی- زمانی تصاویر ماهواره ای DMSP/OLS و داده های سرشماری در محیط GIS. بیست و یکمین همایش ملی ژئوماتیک.

مهاجرانی، علی اصغر. ۱۳۸۹. ناهماهنگی در توزیع مکانی جمعیت ایران. جمعیت، ۷۱: ۶۳-۴۶.

Akiyama, Y. ۲۰۱۲. Analysis of light intensity data by the DMSP/OLS satellite data for monitoring human activity in japan, ISPRS Annals of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences, Volume I-۲, ۲۰۱۲ XXII ISPRS Congress.

Aubrecht, C.; C.D. Elvidge, T. Longcore, C. Rich, J. Safran, A.E. Strong, C.M. Eakin, K.E. Baugh, B.T. Tuttle and A.T. Howard. ۲۰۰۸. A global inventory of coral reef stressors based on satellite observed nighttime lights. *Geocarto Int*, ۲۳: ۴۶۷-۴۷۹.

Baugh, K.; C.D. Elvidge, T. Ghosh and D. Ziskin. ۲۰۱۰. Development of a ۲۰۰۹ stable lights product using DMSP-OLS data, *Proc. Asia Pacific Adv, Net*, ۳۰: ۱۱۴-۱۳۰.

Bennie, J.; J. P. Duffy and T. W. Davies. 2015. Global trends in exposure to light pollution in natural terrestrial ecosystems, *Remote Sens*, ۷, (۳): ۲۷۱۵-۲۷۳۰.

Chalkias, C.; M. Petrakis, B. Psiloglou and M. Lianou. ۲۰۰۶. Modelling of light pollution in suburban areas using remotely sensed imagery and GIS, *J. Environ. Manag*, ۷۹: ۵۷-۶۳.

Chen, X and W.D. Nordhaus. ۲۰۱۱. Using luminosity as a proxy for economic statistics. *Proc. Natl. Acad. Sci. U. S. A*, ۱۰۸: ۸۵۸۹-۸۵۹۴.

Cho, K.; R. Ito, H. Shimoda and T. Sakata. ۱۹۹۹. Technical note and cover fishing fleet lights and sea surface temperature distribution observed by DMSP/OLS sensor, *Int. J. Remote Sens*, ۲۰: ۳-۹.

Cinzano, P.; F. Falchi and C.D. Elvidge. ۲۰۰۱. The first World Atlas of the artificial sky brightness, *Mon. Not. R. Astron. Soc.* ۳۲۸: ۶۸۹-۷۰۷.

Cinzano, P.; F. Falchi, C.D. Elvidge and K.E. Baugh. ۲۰۰۰. The artificial night sky brightness mapped from DMSP satellite operational linescan system measurements, *Mon. Not. R. Astron. Soc.* ۳۱۸: ۶۴۱-۶۵۷.

T.A. Croft. ۱۹۷۳. Burning waste gas in oil fields. *Nature*, ۲۴۵: ۳۷۵-۳۷۶.

J.E. Dobson, E.A. Bright, P.R. Coleman, R.C. Durfee and B.A. Worley. ۲۰۰۰. A global population database for estimating populations at risk, *Photogramm. Eng. Remote Sens*, ۶۶: ۸۴۹-۸۵۷.

Doll, C.N.; H. Muller and J.P. Elvidge. ۲۰۰۰. Night-time imagery as a tool for global mapping of socioeconomic parameters and greenhouse gas emissions, *Ambio*, ۲۹: ۱۵۷-۱۶۲.

Dominoni, D.M.; M. Quetting and J. Partecke. ۲۰۱۳. Long-term effect of chronic light pollution on seasonal functions of European blackbirds (*Turdus merula*), *PLoS One*. ۸ (۱۲), e۸۵۰۶۹.

Elvidge, C.; Baugh, K. Hobson, V. Kihn, E. Kroehl, H. Davis and E. Cocero, D. ۱۹۹۷. Satellite inventory of human settlements using nocturnal radiation emissions: A contribution for the global tool chest. *Glob. Chang. Biol*, ۳: ۳۸۷-۳۹۵.

Elvidge, C.D. ۲۰۰۵. Preliminary results from nighttime lights detection, *Int. Arch. of Photogram. Rem. Sens. and Spatial Inform. Sci*, ۳۶: ۸-۱۸۷.

Falchi, F.; P.Cinzano, C.D. Elvidge, D.M. Keith and A. Haim, . ۲۰۱۱. Limiting the impact of light pollution on human health, environment and stellar visibility, *J. Environ. Manag*, ۹۲: ۲۷۱۴-۲۷۲۲.

Fuller, D.O and M. Fulk. ۲۰۰۰. Comparison of noaa-avhrr and DMSP-OLS for operational fire monitoring in kalimantan, Indonesia, *Int. J. Remote Sens*, ۲۱: ۱۸۱-۱۸۷.

Han, P.; Huang, J. Li, L. Wang, Y. Hu, J. Wang and W. Huang. ۲۰۱۴. Monitoring trends in light pollution in China based on nighttime satellite imagery, *Remote Sens*, ۶: ۵۵۴۱-۵۵۵۸.

He, C.; Q. Ma, Z. Liu and Q. Zhang. ۲۰۱۳. Modeling the spatiotemporal dynamics of electric power consumption in mainland China using saturation-corrected DMSP/OLS nighttime stable light data, *Int. J. Digit. Earth*, (۷), ۱۲: ۹۹۳-۱۰۱۴.

Kohiyama, M.; H. Hayashi, N. Maki, M. Higashida, H.W. Kroehl, C.D. Elvidge and V.R. Hobson. ۲۰۰۴. Early damaged area estimation system using DMSP-OLS night-time imagery, *Int. J. Remote Sens*, ۲۵: ۲۰۱۵-۲۰۳۶.

Kumar, Pavan.; Sajjad. Haroon, Joshi. Pawan Kumar, Christopher D. Elvidge, Sufia. Rehman, B.S. Chaudhary, Bismay Ranjan. Tripathy, Jyoti. Singh and Gajendra. Pipal. ۲۰۱۸. Modeling the luminous intensity of Beijing, China using DMSP-OLS night-time lights series data for estimating population density, *Physics and Chem. Earth*. <https://doi.org/۱۰.۱۰۱۶/j.pce.۲۰۱۸.۰۶.۰۰۲>. (in press).

Longcore, T and C. Rich. ۲۰۰۴. Ecological light pollution. *Front, Ecol. Env*, ۲: ۱۹۱-۱۹۸.

- Lo, C.P. ۲۰۰۲. Urban indicators of China from radiance-calibrated digital Dmsp-Ols nighttime images, *Ann. Assoc. Am. Geogr.*, ۹۲ (۲): ۲۲۵-۲۴۰.
- Nizeyimana, E. L.; G. W. Petersen, M. L. Imhoff, H. R. Sinclair, Jr., S. W. Waltman, D. S. Reed-Margetan, E. R. Levine, and J. M. Russo. ۲۰۰۱. Assessing the impact of land conversion to urban use on soils with different productivity levels in the USA. *Soil Science Society of America Journal*, ۶۵: ۳۹۱-۴۰۲.
- Pun, C.S.J and So, C.W. ۲۰۱۲. Night-sky brightness monitoring in Hong Kong—a city-wide light pollution assessment, *Environ. Monit. Assess*, ۱۸۴: ۲۵۳۷-۲۵۵۷.
- Raap, T.; R. Pinxten and Eens, M. ۲۰۱۵. Light pollution disrupts sleep in free-living animals, *Sci. Rep.*, ۵: ۱۳۵۵۷.
- Reed-Margetan, D.S.; E.R. Levine and J.M. Russo. ۲۰۰۱. Assessing the impact of land conversion to urban use on soils with different productivity levels in the USA, *Soil Sci. Soc. Am. J.*, ۶۵: ۳۹۱-۴۰۲.
- Pauley, S.M. ۲۰۰۴. Lighting for the human circadian clock: Recent research indicates that lighting has become a public health issue. *Med. Hypotheses*, ۶۳: ۵۸۸-۵۹۶.
- Sutton, P.; D. Roberts, C. Elvidge and H. Melj. ۱۹۹۷. A comparison of nighttime satellite imagery and population density for the continental united states, *Photogramm. Eng. Remote Sens*, ۶۳: ۱۳۰۳-۱۳۱۳.
- Sutton, P.C and R. Costanza. ۲۰۰۲. Global estimates of market and non-market values derived from night time satellite imagery, land cover, and ecosystem service valuation, *Ecol. Econ*, ۴۱: ۵۰۹-۵۲۷.
- Shi, K.; Y. Chen, B. Yu, T. Xu, C. Yang, L. Li, C. Huang, Z. Chen, R. Liu and J. Wu, ۲۰۱۶. Detecting spatiotemporal dynamics of global electric power consumption using DMSO/OLS nighttime stable light data, *Appl. Energy*, ۱۸۴: ۴۵۰-۴۶۳.
- Yu, B.; S. Shu, H. Liu, W. Song, J. Wu, L. Wang and Z. Chen. ۲۰۱۴. Object-based spatial cluster analysis of urban landscape pattern using nighttime light satellite images: A case study of China, *Int. J. Geogr. Inf. Sci.*, (۲۸)۱۱: ۲۳۲۸-۲۳۵۵.
- Zhang, Q.L and K.C. Seto. ۲۰۱۱. Mapping urbanization dynamics at regional and global scales using multi-temporal DMSP/OLS nighttime light data, *Remote Sens. Environ.*, ۱۱۵: ۲۳۲۰-۲۳۲۹.