



فصلنامه علوم محیطی، دوره هجدهم، شماره ۳، پاییز ۱۳۹۹

۱۸۴-۲۰۵

تأثیر فضاهای سبز شهر بوشهر بر دمای سطح زمین و رطوبت محیط پیرامونی

فاضل امیری* و طیبه طباطبایی

گروه منابع طبیعی و محیط زیست، دانشکده فنی و مهندسی، واحد بوشهر، دانشگاه آزاد اسلامی، بوشهر، ایران

تاریخ دریافت: ۱۳۹۸/۰۵/۰۲ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۸/۱۱/۳۰

امیری، ف. و ط. طباطبایی. ۱۳۹۹. تأثیر فضاهای سبز شهر بوشهر بر دمای سطح زمین و رطوبت محیط پیرامونی. فصلنامه علوم محیطی. ۱۸(۳): ۲۰۵-۱۸۴.

سابقه و هدف: افزایش سطوح غیر نفوذ به دلیل شهرنشینی، اثرهای نامطلوب بسیاری بر سیستم‌های اکولوژیک شهری، از جمله خطرهای محیط زیستی ناشی از گرمای محیط شهری ایجاد کرده است. تعیین رابطه بین ترکیب کاربری و پوشش زمین‌ها و دمای سطح زمین (LST) می‌تواند تأثیر قابل ملاحظه‌ای بر کاهش دما در محیط‌های شهر داشته باشد. در سال‌های اخیر، گسترش شهر بوشهر موجب افزایش سطوح غیر قابل نفوذ، تغییر فضای سبز و تغییر قابل توجه محیط زیست شهری شده است. بنابراین، بررسی تأثیر فضاهای سبز بر محیط پیرامونی در برنامه‌ریزی شهر بوشهر ضروری است.

مواد و روش‌ها: به منظور آشکارسازی اثرهای فضای سبز در محیط‌های حرارتی شهری، در این تحقیق از تکنولوژی سنجش از دور برای استخراج فضاهای سبز، دمای سطح زمین و پوشش زمین از تصاویر لندست OLI (مرداد ۱۳۹۷) بدون پوشش ابری از آرشیو داده‌های لندست (USGS) ^۱ استفاده شد. مشاهده‌های میدانی در ماه مرداد سال ۱۳۹۷ انجام شد و تغییرات دما و رطوبت نسبی در محیط پیرامونی ۱۳ محدوده فضای سبز شهر بوشهر اندازه‌گیری و ثبت شد. برای تجزیه و تحلیل داده‌های حاصل از اندازه‌گیری میدانی، مدل رگرسیون خطی چند متغیره بین دما و رطوبت نسبی با سه متغیر جهت، فاصله و اندازه فضاهای سبز تعیین شده و آثار متقابل بین متغیرها بررسی شد. با اجرای مدل رگرسیون چند متغیره، رابطه بین داده‌های دما و رطوبت نسبی مربوط به هر نقطه محاسبه شد. آزمون توکی بین میانگین‌های تغییرهای دمایی و رطوبت نسبی مربوط به هر یک از سه متغیر در سطح اطمینان ۹۵٪ انجام شد.

نتایج و بحث: نتایج ضریب تبیین R^2 محاسبه شده از مدل رگرسیون خطی بین سنجه نرمال شده تفاوت پوشش گیاهی (NDVI) ^۳ با دمای سطح زمین برابر با ۰/۷۲ نشان دهنده وابستگی بالا بین تغییرهای دما با تغییرات NDVI است. نتایج حاصل از تحلیل تغییرهای دما با تغییر NDVI نشان داد که تغییرات NDVI که در واقع سنجه فراوانی گیاه است از عامل‌های بسیار مهم در کاهش دما و یا در بهبود و افزایش مهم‌ترین کارکرد اکولوژیکی فضای سبز شهری است. نتایج حاصل از داده‌های ثبت شده در فاصله‌ها و جهت‌های متفاوت از فضاهای

* Corresponding Author: *Email Address*. Famiri@iaubushehr.ac.ir
<http://doi.org.10.29252/envs.18.3.184>

سبز، نشان دهنده کاهش تدریجی دما و افزایش رطوبت نسبی با کاهش فاصله از محدوده‌های منتخب بوده است. بر این اساس، میزان تأثیر فضاهای سبز بر دما و رطوبت نسبی، تا فاصله ۶۰ متر معنی‌دار به دست آمد ($p \leq 0.05$). همچنین، جهت جغرافیایی غربی دارای کمترین میزان دما و بیشترین رطوبت نسبی و جهت جغرافیایی شرقی دارای بیشترین میزان دما و کمترین رطوبت نسبی بوده است. میزان R^2 به دست آمده از مدل خطی بین دما و رطوبت نسبی با روابط متقابل بین سه متغیر (جهت، فاصله و اندازه فضاهای سبز) نیز به ترتیب برابر با ۰/۸۸ و ۰/۹۵ بوده است.

نتیجه‌گیری: نتایج به دست آمده نشان داد که فضای سبز شهری نقش مهمی در بهبود محیط حرارتی شهری دارد. با استفاده از تکنولوژی سنجش از دور و مقایسه محیط حرارتی، می‌توان گفت موقعیت و فاصله مکانی از فضاهای سبز شهری بر الگوی حرارتی در محیط شهری تأثیر می‌گذارد. ما می‌توانیم قوانین ویژه‌ای را برای توزیع فضاهای شهری و دامنه‌های خنک کننده در فصل‌های گرم در محیط پیرامونی فضاهای سبز شهری داشته باشیم.

واژه‌های کلیدی: فضاهای سبز شهری، دمای سطح زمین، پوشش زمین، تصویر لندست، بوشهر.

مقدمه

اقلیم شهرها، حتی در مورد فضاهای سبز با مقیاس کوچک، همانند پارک‌های واحد همسایگی نیز دارای اهمیت است (Keeley et al., 2019; Spangenberg et al., 2019).

وجود درختان و چمن و دیگر پوشش‌های گیاهی در فضاهای سبز، موجب کاهش دما نسبت به دیگر منطقه‌های شهری اطراف آن می‌شود و این عامل شناخته شده‌ای جهت جلوگیری از افزایش دمای هوای محیط اطراف آن است (Yang et al., 2017). فضاهای سبز نیز به طور معمول، دمای هوای کمتری نسبت به منطقه‌های اطراف خود دارند. هوای سردتر بیشتر از فضاهای سبز به منطقه‌های اطراف آن حرکت می‌کند. این میزان خنک‌کنندگی بر منطقه‌های اطراف با افزایش اندازه فضای سبز و درصد پوشش فضای سبز با درختان تغییر می‌کند (Zölch et al., 2016). بنابراین، با تأثیرگذاری بر دمای هوا، فضای سبز شهری به طور غیرمستقیم بر کیفیت هوا، سلامتی انسان و میزان استفاده از انرژی در ساختمان‌ها مؤثر است (Ren et al., 2017).

شناخت و بررسی کارکردهای فضای سبز بیان‌گر تأثیر قابل توجه آن‌ها بر کاهش دما و افزایش رطوبت نسبی محیط

دمای محیط شهری، نتیجه تلفیقی از آب و هوا، محیط جغرافیایی و عامل‌های انسانی است که بیشتر نشان دهنده ویژگی‌های آب و هوایی محلی است که با دمای جو متفاوت است. دمای محیط شهری نه تنها در اطراف محیط آن تغییر می‌کند، بلکه داخل آن نیز با توجه به وجود کاربری‌های زمین‌های متفاوت تحت تأثیر قرار می‌گیرد. بنابراین، در تحقیق‌های اخیر توجه بیشتری به شناخت این تغییرها، در محیط زیست شهری شده است (Şimşek et al., 2019). فضای سبز شهری نه تنها سبب بهبود مناظر شهری می‌شوند، بلکه نقش مهمی در تنظیم اکوسیستم شهری، کنترل دمای شهری و هماهنگ سازی تغییرهای اقلیمی دارد (Meng et al., 2019). گیاهان دمای هوا در محیط اطراف خود را کاهش می‌دهند تا محیط زیست شهری را از طریق سایه، تبخیر و غیره بهبود بخشند و موجب تعدیل دما، افزایش رطوبت نسبی، تلطیف هوا و جذب گرد و غبار شوند (Gorse et al., 2019). اهمیت این موضوع به اندازه‌ای است که تعدادی از محققان به مطالعه استفاده از گیاهان به عنوان یکی از عامل‌های کنترل‌کننده خرد اقلیم در محیط شهری پرداخته‌اند (Yahia et al., 2018). آثار گیاهان بر

دیگر رابطه بین تغییرهای پوشش زمین و آثار اقلیمی آن مورد مطالعه قرار گرفت. نتایج این مطالعه نشان داد که تغییرهای پوشش زمین‌های شهری به‌طور قابل توجهی با کاهش نسبت پوشش گیاهی و افزایش دمای سطوح ارتباط دارد (Owen *et al.*, 1998).

Murphy *et al.* (2005) از داده‌های جمع‌آوری شده دما در سطح شهر پورتوریکو، برای برآورد میزان ارتباط پوشش گیاهی و درجه حرارت استفاده شد. (Sun *et al.* 2017) به بررسی استفاده فضای سبز شهری جهت بهبود دمای محیط پیرامونی در محیط شهری پرداختند. نتایج نشان داد که تا ۹۰ متر فاصله از مرز محدوده فضای سبز مورد بررسی، دما تا حدود ۲ درجه سانتی‌گراد کاهش می‌یابد.

به‌تازگی اندازه‌گیری دمای سطح زمین (LST) به‌عنوان جایگزینی برای اندازه‌گیری دمای هوا پیشنهاد شده است (Cheng *et al.*, 2008; Cavan *et al.*, 2014). در این ارتباط، تکنیک‌های سنجش ماهواره‌ای برای سنجش از دور بسیار مفید هستند (Zhou *et al.*, 2019) و در حال حاضر برای اندازه‌گیری‌های دمای سطح زمین در محیط‌های شهری رایج است (Li *et al.*, 2013). داده‌های سنجش از راه دور برای مطالعات در سطح محلی (Cao *et al.*, 2010) براساس رابطه بین دمای سطح زمین LST و فراوانی فضای سبز مورد استفاده قرار گرفته است (Eludoyin *et al.*, 2019). Kaplan *et al.* (2018) از داده‌های لندست ۸ برای تحلیل اثرهای دما پارک‌های شهری بر منطقه‌های مجاور در اسکویی، مقدونیه استفاده کردند. (Cao *et al.* 2010). Chandra *et al.* (2018)، Taleai and Yameqani (2018)، Yang *et al.* (2019)، Eludoyin *et al.* (2019) و Rani *et al.* (2019) اثرهای پوشش گیاهی و فضاهای سبز را بر دمای سطح شهری با استفاده از انواع داده‌های ماهواره‌ای تجزیه و تحلیل کردند.

با توجه به اهمیت و کارکرد اکولوژیکی پوشش‌های سبز درون شهری، در این پژوهش نقش فضای سبز بر تغییرهای محیط پیرامونی آن مورد بررسی قرار گرفته است. با

پیرامونی در شهرهاست. امروزه تحقیق‌های بسیاری به اهمیت فضای سبز شهری اشاره و از نتایج آن در طراحی و مدیریت شهری استفاده نمودند. برای نمونه Guo *et al.* (2019) به بررسی تأثیر چشم انداز و کاربری زمین‌ها و الگوی تأثیرها بر دمای سطح زمین در شهر پکن چین پرداختند و به این نتیجه رسیدند که با کنترل جمعیت و کاهش تقاضا برای زمین‌ها به میزان ۷/۶۹٪، دمای سطح زمین ۱/۱ درجه سانتی‌گراد کاهش می‌یابد. توزیع کاربری‌ها با در نظر گرفتن چشم انداز و برنامه‌ریزی شهری انجام شود. امروزه شناخت و بررسی قابلیت و کارکردهای فضای سبز در زمینه‌های اکولوژیکی، اجتماعی و اقتصادی، اهمیت وجود آن در محیط شهری برای تنظیم درجه حرارت از جمله اولویت‌های مهم در برنامه‌ریزی و مدیریت شهری قرار گرفته است (Vargas-Hernández *et al.*, 2019). به این ترتیب، افزایش یا حفظ فضاهای سبز در شهرها به‌عنوان یک استراتژی برای تنظیم درجه حرارت پیشنهاد شده است (Norton *et al.*, 2015; Xu *et al.*, 2017). Di *et al.* (2016) نقش فضاهای سبز شهری در کاهش سطح دمای زمین در بوبو دیوالسو، بورکینافاسو را بررسی کردند. نتایج این تحقیق نشان داد که در طول ۲۰ سال میزان شهرنشینی و افزایش درجه حرارت در طول زمان و فضا افزایش یافته است. اما، دمای سطح زمین در محیط پیرامونی فضای سبز در مناطق شهری کمتر از مناطق فاصله دار از فضاهای سبز می‌باشد. Cavan *et al.* (2014) نقش مورفولوژی‌های^۴ مختلف شهری در تنظیم دمای سطح زمین در ادیس آبابا، اتیوپی و دارالسلام تانزانیا را مورد بررسی قرار داد و دریافته است که منطقه‌های مسکونی دارای فضاهای سبز بزرگ در هر دو شهر، دارای درجه حرارت پایینتر هستند (Ca *et al.* 1998). با اندازه‌گیری آثار پارک بر اقلیم شهری و بر نواحی اطراف آن (در جهت‌های متفاوت) نشان داده شد که دمای پارک حدود ۲ درجه کمتر از نواحی اطراف آن بوده است. همچنین، در مطالعه‌ای

رادیومتری و تصحیح اتمسفری، مقدار رقومی هر پیکسل به مقدار تابش و بازتاب سطح تبدیل شد. این عملیات در ENVI انجام شد (Syariz et al., 2019). منطقه‌های دارای پوشش سبز با استفاده از سنجه نرمال شده تفاوت پوشش گیاهی (NDVI) استخراج شد (Huete et al., 2002).

$$NDVI = \frac{NIR-RED}{NIR+RED} \quad (1)$$

در این رابطه؛ NIR باند مادون قرمز نزدیک و RED باند مادون قرمز است. آستانه (۰/۲۵۵) پس از تفسیر بصری از منطقه مطالعه تعیین شد. با پردازش تصویر و اعمال طبقه بندی نظارت نشده طبقات دیگر کاربری‌ها تعیین و با در نظر گرفتن نقاط کنترل زمینی در هر کلاس کاربری، با استفاده از بارز سازی تصویر و تفسیر بصری، نقشه سایر کاربری‌ها تهیه گردید. در نهایت نقشه پوشش زمین در هشت کلاس کاربری شامل؛ کشاورزی، بایر، فضای سبز، مرتع، زمین‌های شور، شن‌زارها، مسکونی و زمین مرطوب استخراج شد (شکل ۳). اعتبار استخراج نقشه پوشش زمین با استفاده از تصاویر Google Earth™ تأیید شد (Liu et al., 2017). در ۵۲ نقطه تصادفی صحت نقشه‌ها ارزیابی گردید. نتایج اعتبار سنجی ضریب کاپا نقشه پوشش زمین برابر با ۰/۸۱ بود.

دمای سطح زمین (LST)

دمای سطح زمین با استفاده از روش تصحیح اتمسفری اصلاح شد (Weng et al., 2004). سپس، از معادله اصلاح تابش در کتابچه راهنمای کاربران داده لندست (NASA, 2008) بر روی باند حرارتی مادون قرمز (باند ۱۰ سنجنده OLI)، اعمال شد. تصحیح تابش، تصحیح اتمسفری، استخراج گسیل‌مندی، و تبدیل LST در فرآیند اصلاح LST مورد استفاده قرار گرفت. الگوریتم معکوس LST عبارت است از:

$$LST = \frac{T_B}{1+(\lambda \times T_B / \rho) \ln \epsilon} \quad (2)$$

اندازه‌گیری میدانی سعی شده است تا میزان تغییرهای دما و رطوبت نسبی در فاصله‌ها و جهت‌های متفاوت از فضاهای سبز انتخاب شده، محاسبه شود. هدف از انجام این پژوهش، بررسی و تحلیل آثار کیفی فضای سبز به صورت کمی است، تا بتوان با استدلالی کمی و آماری، بر اهمیت وجود فضای سبز در شهر و میزان تأثیر آن بر شهر تأکید بیشتری نمود.

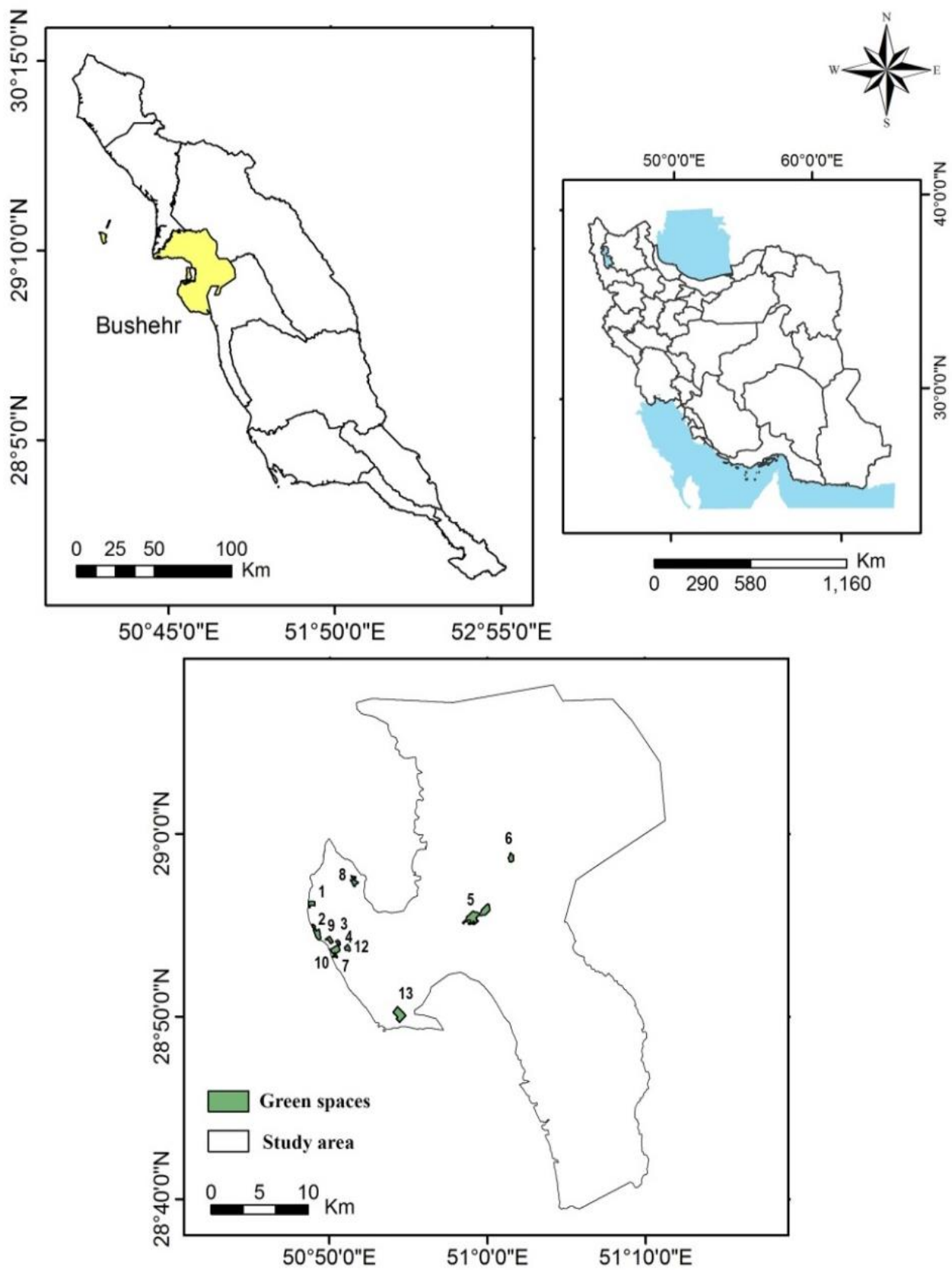
مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه

شهر بوشهر در ساحل شمالی خلیج فارس، با ابعاد ۲۰ در ۸ کیلومتر با مساحت ۱۰۱۱/۵ کیلومترمربع با متوسط حداقل دما ۱۸/۱ درجه سانتیگراد و متوسط حداکثر دما ۳۳ درجه سانتیگراد، میزان رطوبت نسبی بین ۷۵ - ۵۸ در صد و متوسط بارندگی سالیانه ۲۷۲ میلی‌متر در موقعیت جغرافیایی ۵۰°۵۰' تا ۵۱°۱۰' طول شرقی و ۲۸°۴۰' تا ۲۹°۰۰' عرض شمالی واقع شده است (شکل ۱). سرانه فضای سبز شهر بوشهر از نصف میانگین کشوری هم کمتر است. سرانه فضای سبز برای هر شهروند در شهر بوشهر برابر با ۷/۸ مترمربع است. این در حالی است که براساس مطالعات و بررسی‌های وزارت مسکن و شهرسازی، سرانه متعارف و قابل قبول فضاهای سبز شهری در شهرهای ایران بین ۷ تا ۱۲ مترمربع برای هر نفر است که در مقایسه با سنجه تعیین شده از سوی سازمان ملل متحد (۲۰ تا ۲۵ مترمربع برای هر نفر)، سازمان حفاظت محیط زیست (۳۰ تا ۵۰ مترمربع) و سازمان پارک‌ها و فضای سبز تهران (۲۵ تا ۵۰ مترمربع)، رقم کمتری است.

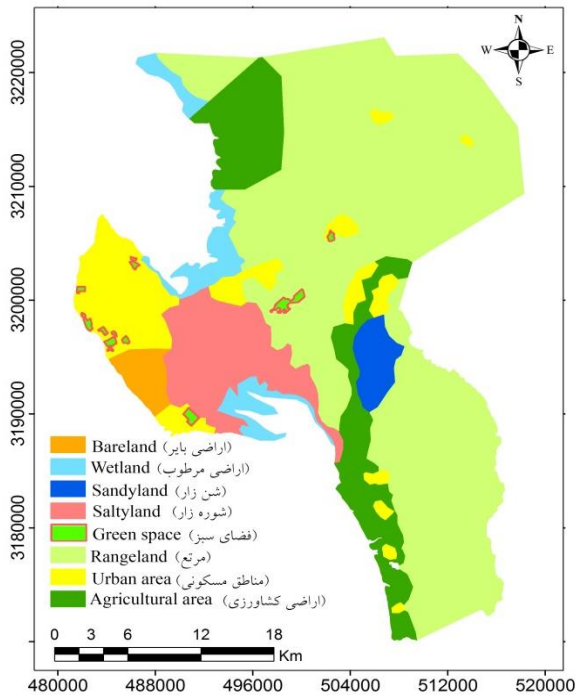
داده‌های سنجنده از دور و استخراج پوشش زمین

برای تهیه نقشه پوشش زمین (LC) ^۵ از تصویر لندست ۸ OLI (۲۰۱۸)، بدون پوشش ابری از آرشیو داده‌های لندست (USGS) (شکل ۲) استفاده شد. داده‌های سنجنده از دور (RS) ^۶ طی مرحله‌های زیر پردازش شد. ابتدا تصحیح هندسی تصویر با استفاده از روش چندجمله‌ای براساس ۵۲ نقطه کنترل زمین انجام شد (RMSE < 0.3). بعد از تصحیح



شکل ۱- توزیع فضاهای سبز در منطقه مورد مطالعه

Fig. 1- The distribution of green spaces in the study area



شکل ۳- نقشه پوشش زمین‌های حاصل از ادغام طبقه بندی نظارت شده و تفسیر بصری

Fig. 3- Land cover map resulting from the integration of supervised classification and visual interpretation

در این رابطه؛ L_{λ} مقدار رادیانس بر حسب وات بر مترمربع بر استرادیان بر میکرومتر ($Wm^{-2}sr^{-1}\mu m^{-1}$)، DN ارزش رقومی در پیکسل مورد نظر است. مقادیر gain شیب و offset عرض از مبدأ می‌باشد که از اطلاعات متادیتا قابل استخراج است.

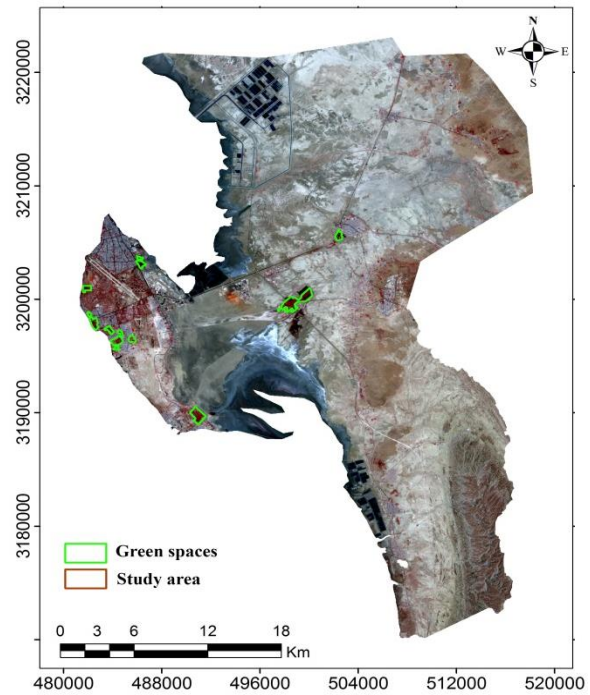
$$\varepsilon = 0.004P_v + 0.986 \quad (5)$$

در این رابطه؛ ε توان تشعشعی، P_v درصد پوشش گیاهی است که از رابطه ۶ تعیین می‌شود.

$$P_v = \left(\frac{NDVI - NDVI_{min}}{NDVI_{max} - NDVI_{min}} \right)^2 \quad (6)$$

در این رابطه؛ NDVI سنجه نرمال شده تفاوت پوشش گیاهی (رابطه ۱)، $NDVI_{min}$ و $NDVI_{max}$ به ترتیب کمترین و بیشترین NDVI مشاهده شده است (Guo et al., 2019).

(al., 2019)



شکل ۲- ترکیب رنگ کاذب تصویر لندست انتخاب شده با ترکیب باندهای ۳، ۵، ۴

Fig. 2- False color composite of the selected Landsat images with band combinations of 3, 5, 4

در این رابطه؛ LST دمای سطح زمین، T_B دمای مؤثر ماهواره و یا دمای روشنایی سنجنده، λ طول موج رادیانس ساطع شده ($10/\lambda \mu m$ برای طول موج باند ۱۰ لندست ۸)، $\rho = (h \times c) / \delta = 1/438 \times 10^{-2} \text{ mK}$ بولتزمن ($1/38 \times 10^{-23} \text{ Jk}^{-1}$)، h ثابت پلانک و ($1/38 \times 10^{-23} \text{ Jk}^{-1}$)، c سرعت نور ($2/998 \times 10^8 \text{ ms}^{-1}$)، ε توان تشعشعی است (Peng et al., 2018). در این رابطه، دمای روشنایی سنجنده T_B از رابطه (۳) تعیین گردید.

$$T_B = \frac{k_2}{\ln\left(\frac{k_1}{L_T} + 1\right)} \quad (3)$$

در این رابطه؛ k_1 و k_2 ضریب تصحیح است. $Wm^{-2}sr^{-1}\mu m^{-1}$ و $k_1 = 774/89 \text{ Wm}^{-2}sr^{-1}\mu m^{-1}$ مقدار شدت تابش L_{λ} برای تصویر OLI. $k_2 = 1321/0.8$ حرارتی است که با استفاده از رابطه (۴) محاسبه شد.

$$L_{\lambda} = \text{gains} \times \text{DN} + \text{offset} \quad (4)$$

داده‌های میدانی

رگرسیون چند متغیره، رابطه بین داده‌های دما و رطوبت نسبی مربوط به هر نقطه محاسبه شد. در نهایت، آزمون توکی بین میانگین‌های تغییرات دمایی و رطوبت نسبی مربوط به هر یک از سه متغیر در سطح اطمینان برابر با ۹۵٪ انجام شد.

نتایج و بحث

سنجه نرمال شده تفاوت پوشش گیاهی (NDVI)

و تغییرهای دمای سطح زمین (LST)

نقشه سنجه نرمال شده تفاوت پوشش گیاهی در شکل ۴ و تغییرهای دمای سطح زمین در شکل ۵ نشان داده شده است. اعتبار استخراج نقشه تغییرهای دمای سطح زمین با استفاده از تصاویر Google Earth™ تأیید شد (Liu et al., 2017). در ۵۲ نقطه تصادفی صحت این نقشه ارزیابی گردید. نتایج اعتبار سنجی ضریب کاپا نقشه دمای سطح زمین ۰/۷۶ بود. تغییرهای دما در سطح شهر بوشهر بین ۳۰ تا ۵۳ درجه سانتی‌گراد بود (شکل ۵).

مقایسه داده‌های حاصل از اندازه‌گیری میدانی

دما و تحلیل نقشه دمای سطح زمین (LST)

برای مقایسه بین داده‌های به‌دست آمده مربوط به دما از طریق اندازه‌گیری میدانی و همچنین نقشه دمای سطح زمین، با استفاده از برقراری رابطه رگرسیون و میزان وابستگی داده‌ها، بررسی گردد. براساس رابطه (۷) میزان R^2 و به‌دست آمده به‌ترتیب برابر با ۰/۸۷ و ۰/۷۵ است که نشان از وابستگی قوی بین دو روش اندازه‌گیری دما است (شکل ۶).

$$Y = 0.61X + 14.48 \quad (7)$$

مقایسه تغییرهای دما با NDVI فضاهای سبز

برای بررسی میزان تغییرهای دما با پوشش گیاهی، ارتباط بین دما و NDVI تعیین شد. نتایج نشان داد که با افزایش NDVI که مربوط به سنجه فراوانی گیاه است، دمای مربوط

پس از تهیه نقشه موقعیت فضاهای سبز از نقشه پوشش زمین (LC) و بازدیدهای میدانی، ۱۳ مکان که شامل پارک‌ها و باغ‌ها بوده‌اند، انتخاب شدند (شکل ۱). مساحت فضاهای سبز انتخاب شده در محدوده ۸/۵ تا ۱۸۳/۱ هکتار بوده است. دما در ۱۳ فضای سبز شهری در چهار جهت اصلی (شمال، شرق، جنوب و غرب)، در چهار فاصله (۰، ۳۰، ۶۰ و ۹۰ متر) و در ۱۳ محدوده فضای سبز در شهر بوشهر از نقشه LST استخراج گردید. برای تعیین صحت نقشه‌های پوشش زمین و دمای سطح زمین در ۵۲ نقطه به‌صورت میدانی دما با استفاده از رطوبت سنج - دماسنج Hygro-Thermometer و نوع پوشش برداشت گردید. جمع‌آوری داده‌های مربوط به رطوبت نسبی هوا در مرداد سال ۱۳۹۷ و به‌طور همزمان در ۱۳ محدوده فضای سبز مشخص شده توسط ۱۳ نفر انجام شد. زمان شروع ثبت داده‌ها متناسب با زمان محلی عبور ماهواره‌ها در صبح تعیین شد. جهت اندازه‌گیری رطوبت نسبی از رطوبت سنج دیجیتال Hygro-Thermometer استفاده شد. با توجه به مطالعات مشابه انجام شده (Sun et al., 2017)، ارتفاع رطوبت سنج در حدود ۱/۵ متر از سطح زمین نگه داشته شد. زمان توقف در هر نقطه در حدود ۵ دقیقه تا به تعادل رسیدن میزان رطوبت نسبی بوده است. همچنین، به‌منظور هماهنگ شدن ثبت داده‌های تمامی فضاهای سبز، تمام اندازه‌گیری‌ها از نقطه‌ی صفر جهت شمال آغاز و جهت حرکت افراد، ساعت‌گرد در نظر گرفته شد. بدین ترتیب پس از ثبت داده‌ها در جهت شمال، رطوبت نسبی در دیگر نقطه‌ها به سمت جهت شرق، جنوب و سپس غرب اندازه‌گیری شدند.

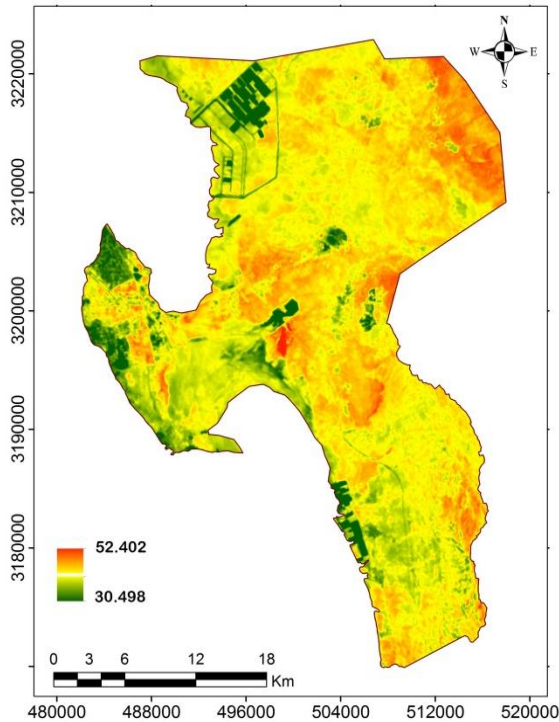
تجزیه و تحلیل داده‌های مکانی

برای تجزیه و تحلیل داده‌های حاصل از اندازه‌گیری میدانی، مدل رگرسیون خطی چند متغیره بین دما و رطوبت نسبی با سه متغیر جهت، فاصله و فضاهای سبز تعیین شده و آثار متقابل بین متغیرها بررسی شد. افزون بر این، با اجرای مدل

و 0.72 که نشان از وابستگی قوی بین این دو عامل است. رابطه (۸) مربوط به مدل رگرسیونی بین دما و NDVI است.

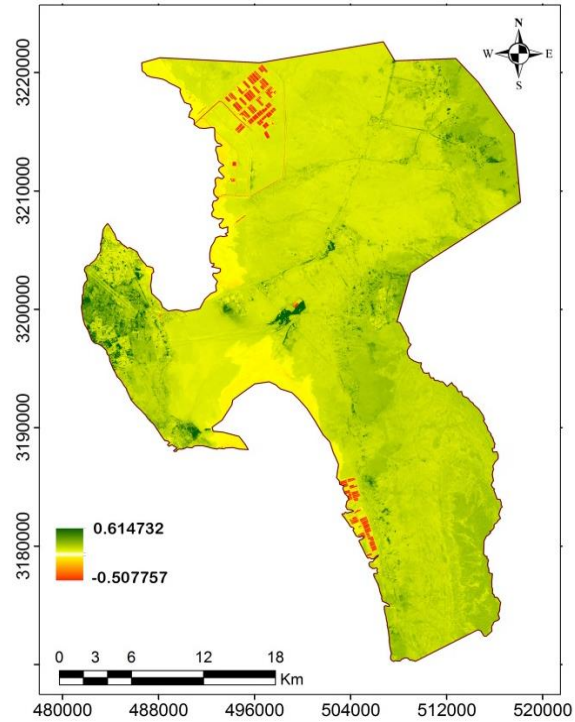
$$Y = 43/7 - 25/9 \cdot X \quad (8)$$

به فضاهای سبز کاهش یافته است (شکل ۷). دمای مورد بررسی در این شکل مربوط به تغییرهای دمای داخل فضاهای سبز است. مقادیر R^2 و R به ترتیب برابر با 0.85



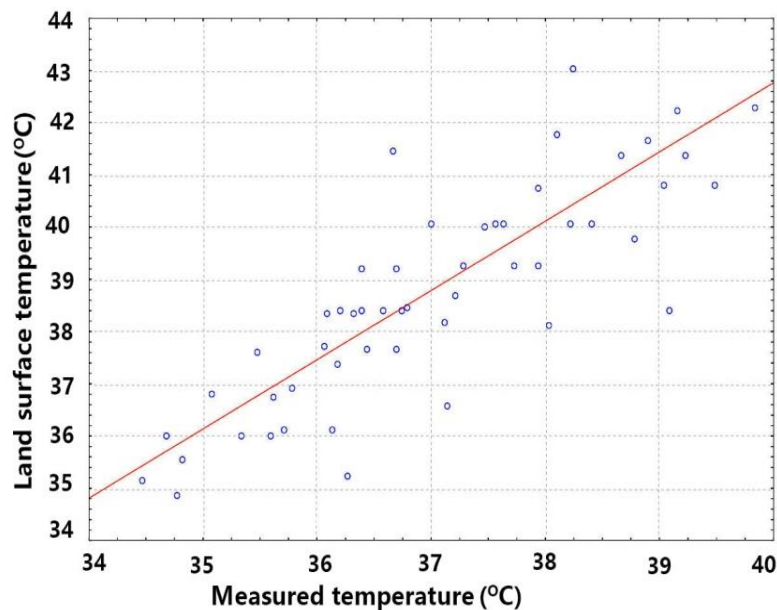
شکل ۵- نقشه دمای سطح زمین (LST)

Fig. 5- Land surface temperature (LST) image



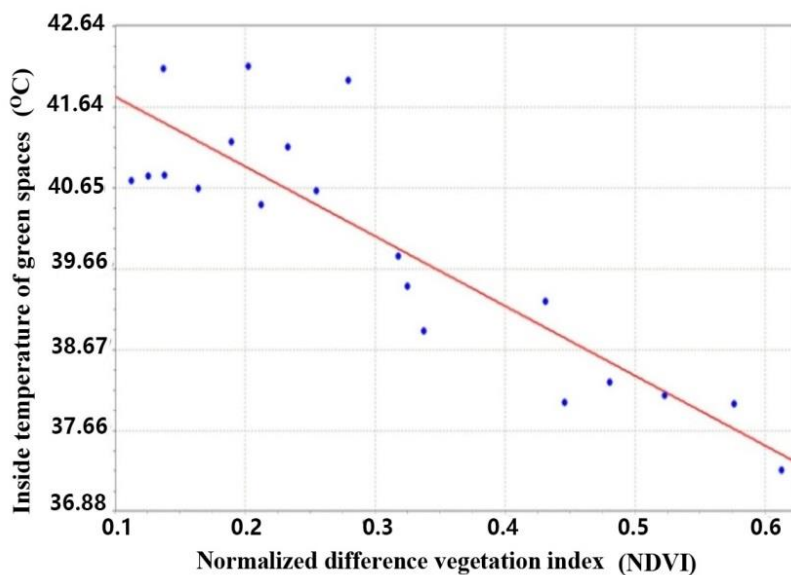
شکل ۴- نقشه سنجه نرمال شده تفاوت پوشش گیاهی

Fig. 4- Normalized difference vegetation index (NDVI) map



شکل ۶- رگرسیون خطی بین دمای اندازه‌گیری شده و تحلیل نقشه دمای سطح زمین

Fig. 6- Linear regression between measured temperature and LST analysis



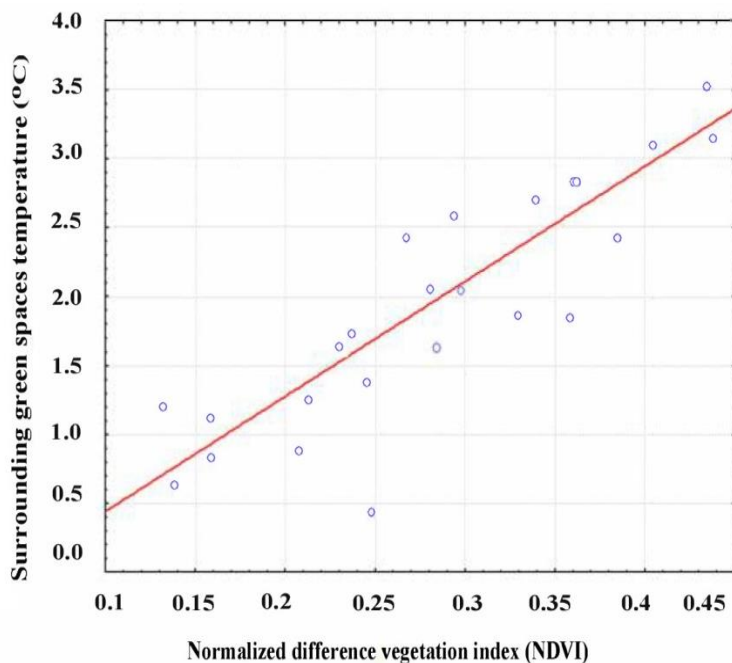
شکل ۷-رگرسیون خطی بین دمای داخل فضاهای سبز و NDVI

Fig. 7- Linear regression between the temperature inside green spaces and NDVI

حاصل شده نشان‌دهنده وابستگی قوی بین تغییرهای دما با NDVI به‌عنوان سنجه فراوانی گیاهان است و بر این اساس، گیاهان قادر به کاهش دما در داخل و همچنین خارج از محدوده‌ی فضاهای سبز هستند.

$$Y = -0.7 + 26.75X \quad (9)$$

با محاسبه دمای سطح زمین در بافر ۹۰ متر، در اطراف محیط هر یک از فضاهای سبز، میزان تغییرهای دما با تغییر میزان NDVI مورد بررسی قرار گرفت (شکل ۸). نتایج نشان داد که تغییرهای دما در اطراف فضاهای سبز، وابسته به فراوانی گیاهان است. براساس رگرسیون انجام شده، میزان R² و به‌ترتیب برابر با ۰/۸۱ و ۰/۶۵ است (رابطه ۹). مقادیر



شکل ۸-رگرسیون خطی بین دمای محیط اطراف فضاهای سبز و NDVI

Fig. 8- Linear regression between the surrounding temperature of green spaces and NDVI

جدول ۱- تجزیه و تحلیل واریانس داده‌های دما

Table 1. Variance analysis of temperature data

P	F	میانگین مربعات Mean squares	مجموع مربعات Sum of squares	درجه آزادی df	متغیرها Variables
0.000	9.66	45.08	135.24	3	فاصله Distance
0.609	0.61	2.86	8.56	3	جهت Direction
0.000	11.05	29.10	349.13	12	اندازه فضاهای سبز Size of green spaces
0.98	0.069	0.32	2.88	9	فاصله × جهت Direction × Distance
0.035	1.56	4.10	147.37	36	فاصله × اندازه فضاهای سبز Size of green spaces × Distance
0.000	4.63	9.83	353.86	36	جهت × اندازه فضاهای سبز Size of green spaces × Direction
		0.24	8.34	71	خطا Error
			343.11	181	کل Total

$p \leq 0.5$ نشان دهنده تأثیر متغیر مستقل بر متغیر وابسته است

$p \leq 0.5$ indicates the effect of the independent variable on the dependent variable

روابط متقابل بین متغیرها برابر با $0/882$ هستند. همچنین، نتایج حاصل از تجزیه و تحلیل داده‌های رطوبت نسبی، نشان می‌دهد که اثر مستقل متغیرهای فاصله و جهت بر رطوبت معنی‌دار نیست. اثر متقابل جهت با فضاهای سبز بر متغیر وابسته رطوبت معنی‌دار می‌باشد. میزان R^2 به دست آمده از مدل خطی بین دما با روابط متقابل بین متغیرها برابر با $0/957$ هستند (جدول ۲).

میزان وابستگی بین دما و رطوبت نسبی متأثر از فضاهای سبز از مدل رگرسیونی نشان دهنده همبستگی قوی بین دما و رطوبت نسبی است و تغییرهای این دو عامل تابع یکدیگر هستند. به عبارت دیگر، می‌توان به ازای محاسبه کاهش دما، میزان افزایش رطوبت نسبی را در نقاط متفاوت برآورد کرد ($R^2=0.72$). شکل ۹، میزان همبستگی بین دما

ارتباط بین متغیرهای مورد بررسی با داده‌های دما و رطوبت

نتایج حاصل از مدل رگرسیون خطی چند متغیره بین متغیرهای مورد بررسی با تحلیل داده‌های دما در جدول (۱) نشان داده شده است. بر این اساس، نتایج نشان می‌دهند که اثر مستقل متغیر فاصله و فضاهای سبز و همچنین اثر متقابل جهت با فاصله و فضاهای سبز بر روی متغیر وابسته و یا دما معنی‌دار است. با توجه به میزان p حاصل شده، هر دو متغیر مستقل (فاصله و فضاهای سبز) وارد شده در مدل نیز دارای مقدار F معنی‌دار هستند. بنابراین، هر دو متغیر مستقل وارد شده در مدل، از توان لازم برای پیش‌بینی تغییرهای متغیر وابسته برخوردار هستند. میزان R^2 به دست آمده از مدل خطی بین دما با

و رطوبت نسبی را نشان می‌دهد. مدل رگرسیونی محاسبه

$$Y = 88/541 - 0/1997X$$

(۱۰)

شده به صورت رابطه (۱۰) است:

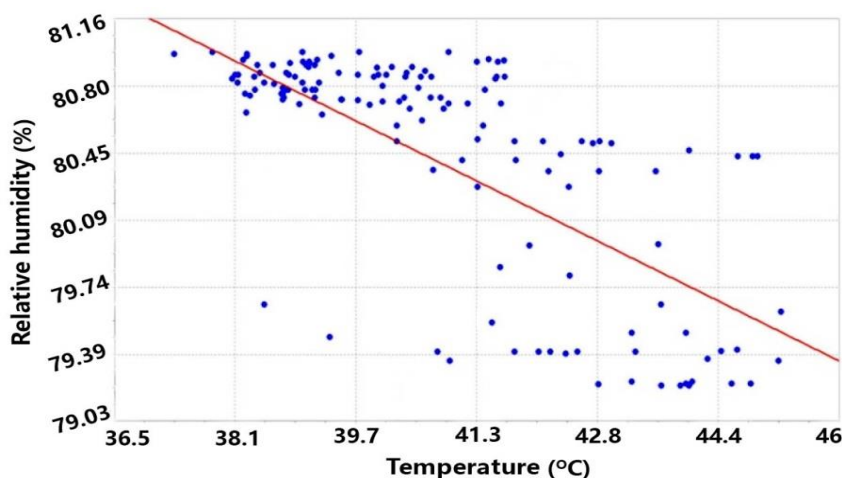
جدول ۲- تجزیه و تحلیل واریانس داده‌های رطوبت نسبی

Table 2. Variance analysis of relative humidity data

P	F	میانگین مربعات Mean squares	مجموع مربعات Sum of squares	درجه آزادی df	متغیرها Variables
0.996	0.002	0.004	0.011	3	فاصله Distance
0.967	0.087	0.19	0.57	3	جهت Direction
0.000	425.90	34.70	416.32	12	اندازه فضاهای سبز Size of green spaces
1.00	0.001	0.002	0.019	9	فاصله × جهت Direction × Distance
1.00	0.103	0.001	0.034	36	فاصله × اندازه فضاهای سبز Size of green spaces × Distance
0.000	26.45	0.022	0.776	36	جهت × اندازه فضاهای سبز Size of green spaces × Direction
		0.8	56.78	71	خطا Error
			125.13	181	کل Total

$p \leq 0.5$ نشان دهنده تأثیر متغیر مستقل بر متغیر وابسته است

$p \leq 0.5$ indicates the effect of the independent variable on the dependent variable



شکل ۹- رگرسیون خطی بین دما و رطوبت نسبی

Fig. 9- Linear regression between temperature and relative humidity

جدول ۳- مقایسه اختلاف معنی دار تغییرهای میانگین دما و رطوبت نسبی در فاصله‌های مورد بررسی
Table 3. Comparison of significant differences between mean temperature and relative humidity at the studied intervals

رطوبت نسبی (درصد)		دما (درجه سانتی گراد)		فواصل (متر)
Relative humidity (%)		Temperature (°C)		
اختلاف معنی دار	*p adj	اختلاف معنی دار	*p adj	Distances (m)
Significant difference		Significant difference		
*	0.026	*	0.017	0-30
*	0.0032	*	0.000	0-60
ns	0.18	ns	0.066	0-90
ns	0.0097	ns	0.0061	30-60
ns	0.976	ns	0.126	30-90
ns	0.979	ns	0.773	60-90

*مقادیر $p \text{ adj} < 0.05$ نشان دهنده وجود اختلاف معنی دار است.

* The values of $p \text{ adj} < 0.05$ indicate a significant difference

^{ns} نشان دهنده عدم وجود اختلاف معنی دار است ($p > 0.05$).

^{ns} shows no significant difference ($p > 0.05$)

دمایی کم (۰/۲۴ درجه سانتی‌گراد) بین فاصله ۶۰ تا ۹۰ متر است (شکل ۱۰).

میزان تغییرهای رطوبت نسبی هوا در فاصله‌های متفاوت نشان می‌دهد که مرز محدوده‌های فضاهای سبز دارای بیشترین میزان میانگین رطوبت نسبی هستند و با افزایش فاصله از آن‌ها، از رطوبت نسبی هوا کاسته می‌شود. میزان اختلاف رطوبت نسبی در محدوده ۹۰ متر، به‌طور کلی برابر با ۰/۲ درصد ثبت گردیده است. تفاوت دمایی بین فاصله‌های ۰ تا ۶۰ متر برابر با ۰/۲۴ درصد بوده است (شکل ۱۱).

تغییرهای دما و رطوبت نسبی در چهار جهت اصلی از فضاهای سبز

مقایسه میانگین دما و رطوبت نسبی چهار جهت اصلی نشان می‌دهد که جهت شمالی با جهت‌های جنوبی و شرقی و همچنین جهت شرقی با جهت‌های غربی و شمالی، دارای اختلاف معنی‌دار در سطح ۹۵ درصد در رابطه با میزان دما و رطوبت نسبی ثبت شده هستند (جدول ۴).

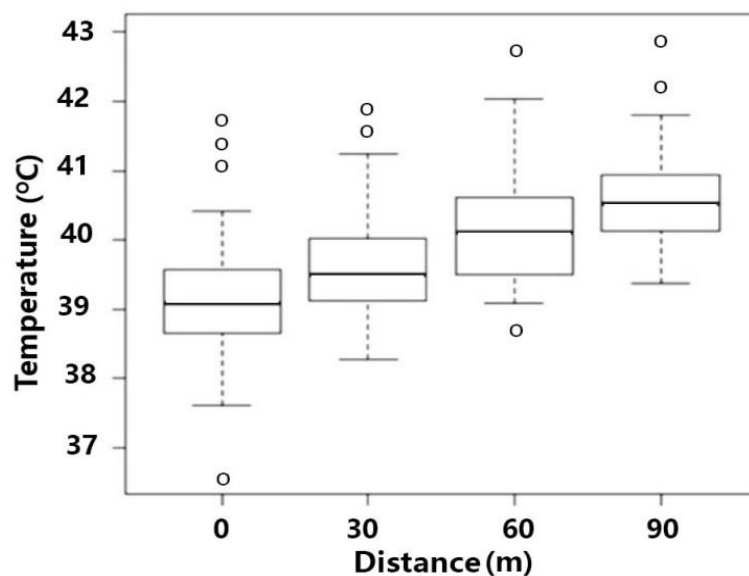
تغییرهای دما و رطوبت نسبی در فاصله‌های متفاوت از فضاهای سبز

نتایج حاصل از آزمون توکی بین میانگین‌های تغییرهای دمایی مربوط به فاصله‌های مختلف نشان می‌دهد که میانگین دما و رطوبت نسبی در فاصله بین ۳۰ تا ۶۰ متر اختلاف معنی‌داری وجود دارد. در واقع میزان کاهش دما و افزایش رطوبت نسبی در این محدوده محسوس می‌باشد و می‌توان میزان فاصله تأثیر گذار بر تغییرهای دما و رطوبت نسبی از فضاهای سبز را تا فاصله ۶۰ متر دانست (جدول ۳).

محدوده تغییرهای دما در چهار فاصله‌ی مورد بررسی نشان می‌دهد که میانگین تغییرهای دمایی در فاصله صفر که در واقع مرز فضاهای مورد بررسی است، کمترین میزان را دارد و میزان تغییرها و میانگین دما با افزایش فاصله از فضاهای سبز افزایش یافته است. به‌طور کلی، میزان اختلاف دما بین فاصله ۰ و ۹۰ متر، برابر با ۱/۳۲ درجه سانتی‌گراد است. این در حالی است که میزان اختلاف دما بین فاصله ۰ تا ۶۰ متر در حدود ۱/۰۸ درجه سانتی‌گراد است که مقایسه بین دو میزان اختلاف دما بیانگر تفاوت

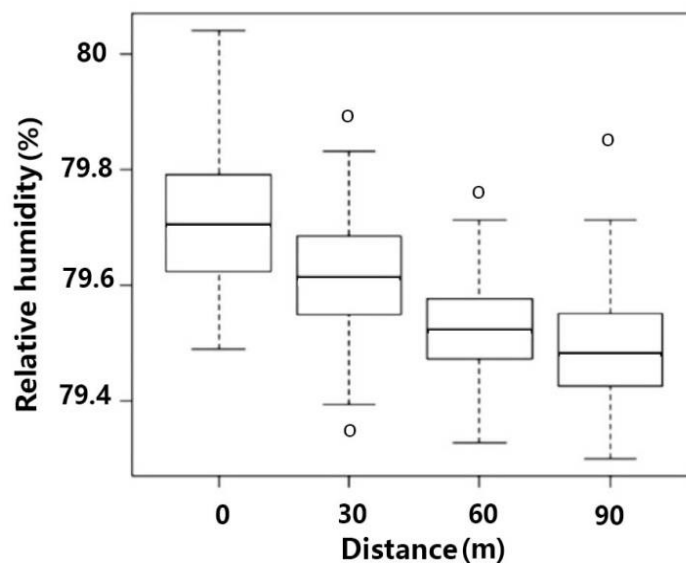
محدوده تغییرهای رطوبت نسبی در جهت‌های اصلی نشان می‌دهد که با توجه به رابطه معکوس دما و رطوبت نسبی جهت غربی بیشترین میانگین (۸۰/۱ درصد) و جهت شرقی کمترین میانگین رطوبت نسبی (۷۹/۲۶ درصد) را داراست (شکل ۱۳).

با تحلیل توصیفی داده‌های دما و رطوبت در جهت‌های اصلی مشخص شد که جهت غربی کمترین میانگین دما (۳۸/۶۲ درجه سانتی‌گراد) و جهت شرقی بیشترین میانگین دما (۴۲/۵۰ درجه سانتی‌گراد) را داراست (شکل ۱۲).



شکل ۱۰- پراکنش تغییرهای دما در فاصله‌های متفاوت

Fig. 10- Distribution of temperature variations at different distances



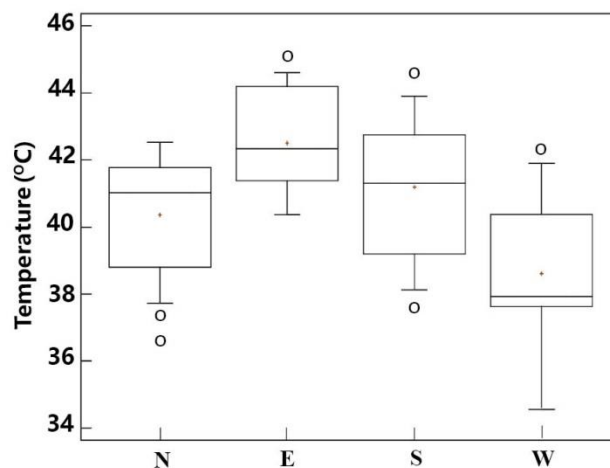
شکل ۱۱- پراکنش تغییرهای رطوبت نسبی در فاصله‌های متفاوت

Fig. 11- Distribution of relative humidity at different distances

جدول ۴- مقایسه اختلاف معنی‌دار تغییرهای میانگین دما و رطوبت نسبی در جهت‌های اصلی جغرافیایی

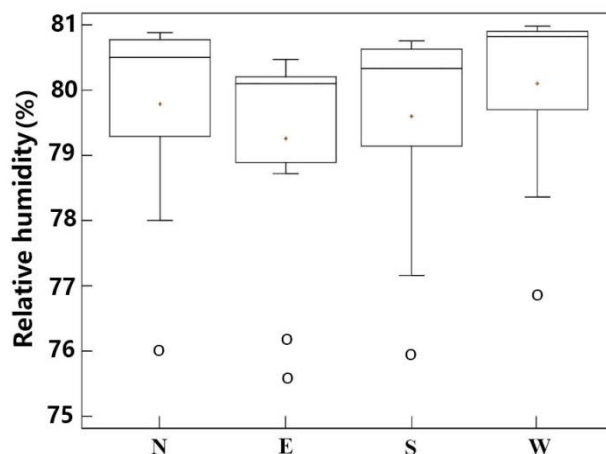
Table 4. Comparison of the significant differences between mean temperature and relative humidity in the main geographic directions

رطوبت نسبی (درصد)		دما (°C)		جهت‌های جغرافیایی Geographic directions
اختلاف معنی‌دار	*p adj	اختلاف معنی‌دار	* p adj	
Significant difference		Significant difference		
*	0.042	*	0.0151	شمال - شرق North-East
ns	0.0569	ns	0.0627	شرق - جنوب East-South
*	0.0347	*	0.0012	شرق - غرب East-West
*	0.005	*	0.00131	شمال - جنوب North-South
ns	0.076	ns	0.0809	شمال - غرب North-West
*	0.00423	*	0.0073	جنوب - غرب South-West

* مقادیر $p \text{ adj} < 0.05$ نشان دهنده وجود اختلاف معنی‌دار است.* The values of $p \text{ adj} < 0.05$ indicate a significant differencens نشان دهنده عدم وجود اختلاف معنی‌دار است ($p > 0.05$).ns shows no significant difference ($p > 0.05$)

شکل ۱۲- پراکنش تغییرهای دما در جهت‌های اصلی جغرافیایی

Fig. 12- Distribution of temperature variations in the main geographic directions



شکل ۱۳- پراکنش تغییرهای رطوبت نسبی در جهت‌های اصلی جغرافیایی

Fig. 13- Distribution of relative humidity variations in the main geographic directions

نتیجه‌گیری

هدف از این مطالعه، بررسی یکی از مهمترین کارکردهای فضای سبز شهری و به عبارتی دیگر، مطالعه میزان کاهش دما و افزایش رطوبت نسبی هوا توسط فضاهای سبز بوده است. همچنین به منظور تعیین اثر فضای سبز شهری بر دما و رطوبت محیط پیرامونی، این مقاله دامنه تأثیر فضای سبز بر دما و رطوبت منطقه در جهت‌های مختلف جغرافیایی و حداکثر تغییر دما را مشخص می‌کند.

نتایج حاصل از این مطالعه که با استفاده از داده‌های دما که از دو طریق نقشه دمای سطح زمین از تصاویر لندست و اندازه‌گیری میدانی دما و رطوبت نسبی در فاصله‌های متفاوت و جهت‌های اصلی از ۱۳ فضای سبز شهر بوشهر و همچنین تحلیل تصاویر لندست OLI و تهیه نقشه دمای سطح زمین و پوشش زمین در محیط پیرامونی فضاهای سبز شهر بوشهر به دست آمده است، بیانگر نقش تأثیرگذار فضاهای سبز در کاهش دمای محیط شهری است (Hami *et al.*, 2019). با استفاده از تکنولوژی سنجش از دور و مقایسه محیط حرارتی، می‌توان گفت موقعیت و فاصله مکانی از فضاهای سبز شهری بر الگوی حرارتی در محیط شهری تأثیر می‌گذارد (Meng *et al.*, 2019). در دهه‌های گذشته، دمای زمین سطح زمین با استفاده از باندهای حرارتی مادون قرمز و سنسورهای حرارتی ماهواره‌هایی از

جمله Landsat، AVHRR، NOAA AVHRR، MODIS و TM/ETM+ (Thanh *et al.*, 2018). در این تحقیق با استفاده از تصاویر لندست OLI، دمای سطح زمین محاسبه گردید. تصحیح‌های گسیل‌مندی سطوح در جهت تهیه نقشه دمای سطح زمین، امکان تمایز حرارتی بین پدیده‌های متفاوت بر اساس مقدار توده گیاهی موجود را فراهم نمود. در نهایت تصویر دمای سطح زمین، جهت مقایسه با NDVI تهیه گردید. این روش در مطالعات Jenerette *et al.* (2016)، Tran *et al.* (2017)، Deng *et al.* (2018) و Rani *et al.* (2018) به کار برده شده است.

نتایج حاصل از تحلیل تغییرات دما با تغییر سنجه NDVI نشان داد که افزایش مقدار سنجه NDVI (که در واقع فراوانی پوشش گیاه است)، باعث کاهش دما و یا بهبود و افزایش مهمترین کارکرد اکولوژیکی فضای سبز شهری که همان تعدیل دما در محیط‌های شهری است، می‌شود. در واقع با توجه به شناخت کارکردهای فضای سبز و گیاهان در محیط شهری، سعی شده است که در ارتباط با سنجش دما، سنجه گیاهی NDVI مورد استفاده قرار گیرد و همچنین می‌توان کاربری‌هایی که بیشترین مصرف انرژی را دارند، شناسایی نمود. در واقع سنجه‌های گیاهی نه تنها

در شنا سایی جزایر حرارتی در سطح شهر و کاربری‌های مولد دمای بیشتر مؤثر هستند، بلکه در تأکید استفاده از گیاهان در محیط شهری نیز می‌توانند دارای اهمیت باشند. با تعیین رابطه NDVI با دمای سطح زمین، امکان مقایسه بین کاربری‌های شهری و همچنین فضاهای سبز شهری فراهم خواهد شد (Rani *et al.*, 2018). Hart and Sailor (2009) گیاهان را به‌عنوان مهمترین عامل تأثیرگذار بر دمای محیط شهری معرفی کردند. ضریب تبیین R^2 محاسبه شده از مدل رگرسیون خطی بین NDVI با دما برابر با ۰/۷۲ نشان دهنده وابستگی بالا بین تغییرهای دما با تغییرات NDVI است. در واقع با مقایسه بین ویژگی‌های مورد بررسی، می‌توان نقش ویژگی‌های بیوفیزیکی را برجسته‌تر از ویژگی‌های فیزیکی در تغییرهای محیط پیرامونی فضاهای سبز شهری دانست. این نتیجه با نتایج حاصل از مطالعات Kabisch *et al.* (2016) و Peng *et al.* (2016) مطابقت دارد. نتایج مقایسه NDVI با دما با نتایج مطالعه Peng *et al.* (2016) مطابقت دارد. آن‌ها در مطالعه خود، تغییرهای NDVI با دمای سطح زمین در کاربری‌های شهری را بررسی نمودند و میزان R^2 حاصل شده در مطالعه آن‌ها برابر با ۰/۷۵ بوده است.

نتایج حاصل از اجرای مدل رگرسیون خطی چند متغیره بین متغیرهای مورد بررسی، نشان‌دهنده همبستگی بالا و توافق مناسب مدل با تغییرهای فاصله در برآورد تغییرات دما و همچنین اثر متقابل جهت در برآورد تغییرات نسبی با متغیرهاست. به عبارت دیگر، تغییر در فاصله در اطراف فضای سبز می‌تواند در میزان اثرگذاری بر دما و تغییر در جهت در اطراف فضای سبز می‌تواند در میزان اثرگذاری بر رطوبت نسبی تأثیر نماید. مقایسه نتایج حاصل شده با نتایج مربوط به مطالعه انجام شده که پس از اندازه‌گیری میدانی، همبستگی بین پوشش گیاهی با میانگین دما (R^2) را در حدود ۰/۷۶ محاسبه نمودند، می‌تواند بیان‌گر ارتباط

و نقش مؤثر گیاهان در تعدیل دمای محیط شهری باشد (Sun *et al.*, 2017). نتایج این تحقیق نشان داد که با افزایش فاصله ۶۰ متری از فضای سبز، دمای سطح زمین ۱/۰۸ درجه سانتیگراد افزایش یافت. با افزایش فاصله از فضاهای سبز سطح و استفاده گسترده از مواد غیر قابل نفوذ سبب شده است که تغییرهای ترمودینامیکی، سطح زمین شهری را تغییر داده و منجر به افزایش دمای سطح زمین در منطقه‌هایی از شهر بوشهر که از فضای سبز فاصله دارند شده است. همچنین، به دلیل کاهش تدریجی دما و افزایش رطوبت نسبی با افزایش فاصله از فضاهای سبز می‌توان آن‌ها را به‌عنوان جزیره خنکی معرفی نمود، چرا که هوای خنک ناشی از این جزیره قادر خواهد بود بر تعدیل دمای پیرامونی خود مؤثر باشد.

جهت غربی در تمامی فضاهای سبز دارای کمترین میزان دما و بیشترین میزان رطوبت نسبی بوده است و جهت شرقی به‌طور محسوسی دمای بیشتر و رطوبت نسبی کمتری نسبت به دیگر جهت‌های جغرافیایی داشته است. که دلیل آن تأثیر بادهای غربی است که از سطح دریا به سمت شهر می‌آید، است. این نتیجه، با نتایج حاصل از بررسی‌های انجام شده توسط Wang *et al.* (2018) که نشان دادند بیشترین تأثیرهای فضای سبز شهری بر جهت‌های غربی و شرقی است، مطابقت دارد. همچنین، بررسی بین تغییرهای دما و تغییرهای رطوبت نسبی نشان می‌دهد که براساس میزان R^2 محاسبه شده (۰/۷۲)، تغییرهای این دو عامل تابع یکدیگر هستند. به عبارت دیگر، می‌توان به‌ازای محاسبه کاهش دما، میزان افزایش رطوبت نسبی را در نقاط متفاوت برآورد کرد. کاهش دما افزون بر مطبوع نمودن هوای محیط شهری، می‌تواند سبب کاهش مصرف انرژی گردد. در نتیجه نه تنها با گسترش بیشتر فضای سبز در سطح شهر می‌توان طبیعت را به محیط شهری بازگرداند، بلکه می‌توان با تعدیل اقلیم و کاهش دما، سبب بهبود کیفیت زندگی و کاهش مصرف انرژی گردید. بنابراین

جمله ساختارهای حمل و نقل و ساختمان‌ها، می‌تواند سبب افزایش کارکردهای فضاهای سبز شهری گردد.

پی‌نوشت‌ها

¹ Land Surface Temperature (LST)

² U.S. Geographical Survey (USGS)

³ Normalized Difference Vegetation Index (NDVI)

⁴ Morphology

⁵ Land Cover (LC)

⁶ Remote Sensing (RS)

گسترش بیشتر و طراحی صحیح فضاهای سبز می‌تواند در کاهش مصرف انرژی نیز مؤثر باشد. این در حالی است که هزینه توسعه و گسترش فضای سبز با ذخیره هزینه صرف انرژی می‌تواند جبران گردد. اگر چه بسیاری از مزیت‌های فضای سبز قابل برآورد نیست و نمی‌توان ارزش مشخصی بر آن گذاشت. بنابراین لحاظ کردن توسعه انواع فضاهای سبز در برنامه‌ریزی و مدیریت شهری همگام با موقعیت‌یابی و برنامه‌ریزی برای دیگر عنصرهای شهری از

منابع

Ca, V.T., Asaeda, T. and Abu, E.M., 1998. Reductions in air conditioning energy caused by a nearby park. *Energy and Buildings*. 29(1), 83-92.

Cao, X., Onishi, A., Chen, J. and Imura, H., 2010. Quantifying the cool island intensity of urban parks using ASTER and IKONOS data. *Landscape and Urban Planning*. 96(4), 224-231.

Cavan, G., Lindley, S., Jalayer, F., Yeshitela, K., Pauleit, S., Renner, F., Gill, S., Capuano, P., Nebebe, A., Woldegerima, T., Kibassa, D. and Shemdoe, R., 2014. Urban morphological determinants of temperature regulating ecosystem services in two African cities. *Ecological Indicators*. 42, 43-57.

Chandra, S., Sharma, D. and Dubey, S.K., 2018. Linkage of urban expansion and land surface temperature using geospatial techniques for Jaipur City, India. *Arabian Journal of Geosciences*. 11(2), 847-861.

Cheng, K.S., Su, Y.F., Kuo, F.T., Hung, W.C. and Chiang, J.L., 2008. Assessing the effect of landcover changes on air temperature using remote sensing images-A pilot study in northern Taiwan. *Landscape and Urban Planning*. 85(2), 85-96.

Deng, Y., Wang, S., Bai, X., Tian, Y., Wu, L., Xiao, J., Chen, F. and Qian, Q., 2018. Relationship among land surface temperature and LUCC, NDVI in typical karst area. *Scientific Reports*, 8(1), 1-12.

Di Leo, N., Escobedo, F.J. and Dubbeling, M., 2016. The role of urban green infrastructure in mitigating land surface temperature in Bobo-Dioulasso, Burkina Faso. *Environment, Development and Sustainability*. 18(2), 373-392.

Eludoyin, A.O., Omotoso, I., Eludoyin, O.M. and Popoola, K.S., 2019. Remote Sensing Technology for Evaluation of Variations in Land Surface Temperature, and Case Study Analysis from Southwest Nigeria. In *Geospatial Challenges in the 21st Century* (pp. 151-170): Springer, Germany.

Gorse, C., Parker, J., Thomas, F., Fletcher, M., Ferrier, G. and Ryan, N., 2019. The Planning and Design of Buildings: Urban Heat Islands-Mitigation. In *Industry 4.0 and Engineering for a Sustainable Future* (pp. 211-225). Springer, Germany.

Guo, L., Liu, R., Men, C., Wang, Q., Miao, Y. and Zhang, Y., 2019. Quantifying and simulating landscape composition and pattern impacts on land surface temperature: a decadal study of the rapidly urbanizing city of Beijing, China. *Science of The Total Environment*. 654, 430-440.

Hami, A., Abdi, B., Zarehaghi, D. and Maulan, S.B., 2019. Assessing the thermal comfort effects of green spaces: A systematic review of methods, parameters, and plants' attributes. *Sustainable Cities and Society*. 49, 101634.

- Hart, M.A. and Sailor, D.J., 2009. Quantifying the influence of land-use and surface characteristics on spatial variability in the urban heat island. *Theoretical and Applied Climatology*. 95(3-4), 397-406.
- Huete, A., Didan, K., Miura, T., Rodriguez, E.P., Gao, X. and Ferreira, L.G., 2002. Overview of the radiometric and biophysical performance of the MODIS vegetation indices. *Remote Sensing of Environment*. 83(1-2), 195-213.
- Jenerette, G.D., Harlan, S.L., Buyantuev, A., Stefanov, W.L., Declet-Barreto, J., Ruddell, B.L., Myint, S.W., Kaplan, S. and Li, X., 2016. Micro-scale urban surface temperatures are related to land-cover features and residential heat related health impacts in Phoenix, AZ USA. *Landscape Ecology*. 31(4), 745-760.
- Kabisch, N., Strohbach, M., Haase, D. and Kronenberg, J., 2016. Urban green space availability in European cities. *Ecological Indicators*. 70, 586-596.
- Kaplan, G., Avdan, U. and Avdan, Z.Y., 2018. Urban heat island analysis using the landsat 8 satellite data: A case study in Skopje, Macedonia. In *Multidisciplinary Digital Publishing Institute Proceedings*. 2(7), 358-367.
- Keeley, M. and Benton-Short, L., 2019. Urban Green Space. In *Urban Sustainability in the US* (pp. 239-279). Springer, Germany.
- Li, Z.L., Tang, B.H., Wu, H., Ren, H., Yan, G., Wan, Z., Trigo, Isabel F. and Sobrino, J.A., 2013. Satellite-derived land surface temperature: current status and perspectives. *Remote Sensing of Environment*. 131, 14-37.
- Liu, Y., Peng, J. and Wang, Y., 2017. Diversification of land surface temperature change under urban landscape renewal: a case study in the main city of Shenzhen, China. *Remote Sensing*. 9(9), 1-19.
- Meng, H., Jing, L. and Xin, H., 2019. The Influence of underlying surface on land surface temperature-- a case study of urban green space in Harbin. *Energy Procedia*. 157, 746-751.
- Murphy, D.J., 2007. The relation between land-cover and the urban heat island innortheastern Puerto Rico. *International Journal of Climatology*. 31(8), 1222-1239.
- NASA, 2008. Landsat 8 science data users handbook. Science 186. Available online at: <http://landsathandbook.gsfc.nasa.gov/>.
- Norton, B. A., Coutts, A.M., Livesley, S.J., Harris, R.J., Hunter, A.M. and Williams, N.S., 2015. Planning for cooler cities: A framework to prioritise green infrastructure to mitigate high temperatures in urban landscapes. *Landscape and Urban Planning*. 134, 127-138.
- Owen, T., Carlson, T. and Gillies, R., 1998. An assessment of satellite remotely-sensed land cover parameters in quantitatively describing the climatic effect of urbanization. *International Journal of Remote Sensing*. 19(9), 1663-1681.
- Peng, J., Ma, J., Liu, Q., Liu, Y., Li, Y. and Yue, Y., 2018. Spatial-temporal change of land surface temperature across 285 cities in China: An urban-rural contrast perspective. *Science of the Total Environment*. 635, 487-497.
- Peng, J., Xie, P., Liu, Y. and Ma, J., 2016. Urban thermal environment dynamics and associated landscape pattern factors: A case study in the Beijing metropolitan region. *Remote Sensing of Environment*. 173, 145-155.
- Rani, M., Kumar, P., Pandey, P. C., Srivastava, P.K., Chaudhary, B., Tomar, V. and Mandal, V.P., 2018. Multi-temporal NDVI and surface temperature analysis for Urban Heat Island inbuilt surrounding of sub-humid region: a case study of two geographical regions. *Remote Sensing Applications: Society and Environment*. 10, 163-172.

- Ren, Y., Qu, Z., Du, Y., Xu, R., Ma, D., Yang, G., Shi, Y., Fan, X., Tani, A. and Guo, P., 2017. Air quality and health effects of biogenic volatile organic compounds emissions from urban green spaces and the mitigation strategies. *Environmental Pollution*. 230, 849-861.
- Spangenberg, J., Shinzato, P., Johansson, E. and Duarte, D., 2019. Simulation of the influence of vegetation on microclimate and thermal comfort in the city of São Paulo. *Revista da Sociedade Brasileira de Arborização Urbana*. 3(2), 1-19.
- Şimşek, Ç.K. and Ödül, H., 2019. A method proposal for monitoring the microclimatic change in an urban area. *Sustainable Cities and Society*. 46, 101407.
- Sun, S., Xu, X., Lao, Z., Liu, W., Li, Z., García, E.H., He, L. and Zhu, J., 2017. Evaluating the impact of urban green space and landscape design parameters on thermal comfort in hot summer by numerical simulation. *Building and Environment*. 123, 277-288.
- Syariz, M.A., Lin, B.Y., Denaro, L.G., Jaelani, L.M., Van Nguyen, M. and Lin, C.H., 2019. Spectral-consistent relative radiometric normalization for multitemporal Landsat 8 imagery. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*. 147, 56-64.
- Taleai, M. and Yameqani, A.S., 2018. Integration of GIS, remote sensing and Multi-Criteria Evaluation tools in the search for healthy walking paths. *KSCE Journal of Civil Engineering*. 22(1), 279-291.
- Thanh Hoan, N., Liou, Y.A., Nguyen, K.A., Sharma, R., Tran, D.P., Liou, C.L. and Cham, D., 2018. Assessing the effects of land-use types in surface urban heat islands for developing comfortable living in Hanoi City. *Remote Sensing*. 10(12), 1-20. doi: 10.3390/rs10121965.
- Tran, D.X., Pla, F., Latorre-Carmona, P., Myint, S.W., Caetano, M. and Kieu, H.V., 2017. Characterizing the relationship between land use land cover change and land surface temperature. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*. 124, 119-132.
- Vargas-Hernández, J.G., Pallagst, K. and Zdunek-Wielgołaska, J.A., 2019. Urban Green Spaces for Sustainable Community Development: A Strategic Management Approach. In *Optimizing Regional Development Through Transformative Urbanization* (pp. 271-287): IGI Global, USA.
- Wang, S., Ma, Q., Ding, H. and Liang, H., 2018. Detection of urban expansion and land surface temperature change using multi-temporal landsat images. *Resources, Conservation and Recycling*. 128, 526-534.
- Weng, Q., Lu, D. and Schubring, J., 2004. Estimation of land surface temperature-vegetation abundance relationship for urban heat island studies. *Remote Sensing of Environment*. 89(4), 467-483.
- Xu, X., Sun, S., Liu, W., García, E. H., He, L., Cai, Q., Xu, S., Wang, J. and Zhu, J., 2017. The cooling and energy saving effect of landscape design parameters of urban park in summer: a case of Beijing, China. *Energy and Buildings*. 149, 91-100.
- Yahia, M.W., Johansson, E., Thorsson, S., Lindberg, F. and Rasmussen, M.I., 2018. Effect of urban design on microclimate and thermal comfort outdoors in warm-humid Dar es Salaam, Tanzania. *International Journal of Biometeorology*. 62(3), 373-385.
- Yang, J., Sun, J., Ge, Q. and Li, X., 2017. Assessing the impacts of urbanization-associated green space on urban land surface temperature: a case study of Dalian, China. *Urban Forestry & Urban Greening*. 22, 1-10.
- Yang, Y.J., Gao, Z., Shi, T., Wang, H., Li, Y., Zhang, N., Zhang, H. and Huang, Y., 2019. Assessment of urban surface thermal environment using MODIS with a population-weighted method: a case study. *Journal of Spatial Science*. 64(2), 287-300.

Zhou, D., Xiao, J., Bonafoni, S., Berger, C., Deilami, K., Zhou, Y., Frolking, S., Yao, R., Qiao, Z. and Sobrino, J., 2019. Satellite remote sensing of surface urban heat islands: progress, challenges, and perspectives. *Remote Sensing*. 11(1), 1-36.

Zölch, T., Maderspacher, J., Wamsler, C. and Pauleit, S., 2016. Using green infrastructure for urban climate-proofing: an evaluation of heat mitigation measures at the micro-scale. *Urban Forestry & Urban Greening*. 20, 305-316.





Environmental Sciences Vol.18 / No.3 / Autumn 2020

184-205

The influence of green spaces on land surface temperature and humidity of the surrounding environment in Bushehr city

Fazel Amiri[†] and Tayebeh Tabatabaie

Department of Natural Resources and Environment, Faculty of Engineering, Islamic Azad University, Bushehr Branch, Bushehr, Iran

Received: 2019.07.24 Accepted: 2020.02.19

Amiri, F. and Tabatabaie, T., 2020. The influence of green spaces on land surface temperature and humidity of the surrounding environment in Bushehr city. *Environmental Sciences*. 18(3): 184-205.

Introduction: The increase in impervious surfaces due to the urbanization has caused many adverse effects on urban ecological systems, including the urban heat environmental risk. Revealing the relationship between land use/land cover composition and land surface temperature (LST) gives insight into how to effectively reduce the temperature in urban environments. In recent years, the expansion of Bushehr city has resulted in an increase in impervious surface, the decrease of green space and a significant change in the temperature. It is also essential to determine the influence of green spaces on the surrounding environment in urban planning of Bushehr.

Material and methods: In order to reveal the comprehensive effects of green space on the urban thermal environment in the severely hot regions, this paper adopts remote sensing technology to extract and analyze green space, land surface temperature (LST), and land cover (LC) from the Landsat spectral imaging data (August 2018) with clear-sky conditions. A field survey was carried out in August 2018 and temperature and relative humidity was recorded for 13 selected green spaces in the Bushehr city. To analyze the field data, a multivariate linear regression model between temperature and relative humidity with three variables of direction, distance, and the size of green spaces was determined and interactions between variables were investigated. By applying a multivariate regression model, the relationship between temperature and relative humidity data was calculated for each point. Tukey test was carried out between the averages of temperature variations and relative humidity for each of the three variables at a 95% confidence level.

Results and discussion: The results of the R^2 correlation coefficient from the linear regression model between normalized difference vegetation index (NDVI) and land surface temperature equal to 0.72 indicated a high correlation between temperature and NDVI variations. The results of the temperature variation analysis with NDVI changes indicated that NDVI variations, which are actually plant frequency indices, were one of the most important factors in reducing temperature or in improving the most important ecological function of urban green space. The results of the recorded data at different intervals and directions from the green spaces indicated a gradual decrease in temperature and an increase in relative humidity by reducing the distance from the green spaces. Accordingly, the effect of green spaces on temperature and relative humidity was significant up to a

[†] Corresponding Author: *Email Address*.famiri@iaubushehr.ac.ir
<http://doi.org.10.29252/envs.18.3.184>

distance of 60 meters ($p \leq 0.05$). The western direction had the lowest temperature and the highest relative humidity and the eastern direction had the highest temperature and the lowest relative humidity. The R^2 correlation coefficient obtained from the linear model between temperature and relative humidity with the interactions between the three variables (direction, distance, and the size of green spaces) were also 0.88 and 0.95, respectively.

Conclusion: The results indicated that urban green space plays a significant role in improving the urban thermal environment. By using remote sensing technology and comparing the thermal environments, we conclude that the location and distance of urban green spaces affect the thermal pattern in an urban environment. We can establish certain rules on the distribution of the urban green space and the cooling ranges in hot seasons in the surroundings of urban green spaces.

Keywords: Urban green spaces, Land surface temperature (LST), Land cover (LC), Landsat image, Bushehr