

واکاوی بر چگونگی توسعه‌ی روش‌های ارزیابی شاخص سبزی‌نگی در مناظر شهری

آیدا ارجمندتبار^۱، راحله رستمی^{۲*}

۱- دانشجوی دکتری، گروه معماری، واحد ساری، دانشگاه آزاد اسلامی، ساری، ایران
۲- استادیار معماری، گروه معماری، واحد ساری، دانشگاه آزاد اسلامی، ساری، ایران

پذیرش: ۹۹/۱/۱۷

دریافت: ۹۸/۸/۱۴

چکیده

در اواسط قرن بیستم میلادی، رشد سریع جمعیت شهرنشین و به‌دنبال آن، تراکم بالای ساختمانی، بیش از هر زمان دیگری توجه ویژه‌ی برنامه‌ریزان و طراحان شهری را به مقوله‌ی پوشش گیاهی شهری جلب کرد تا از این طریق بتوانند با کنترل عوامل مخرب زیست‌محیطی، همچون آلودگی هوا، تأثیرات ناشی از جزایر گرمایی شهری و دیگر آلودگی‌های منبعث از مناطق شهری، زمینه را برای ارتقاء کیفیت‌های روان‌شناختی محیطی شهرنشینان با درنظر گرفتن میزان مناسب سبزی‌نگی در چشم‌اندازهای شهریشان به‌طور هم‌زمان فراهم کنند. در این راستا، روش‌ها و تکنیک‌های متفاوتی برای ارزیابی و تخمین کمیت فضاهای سبز و عملکرد آن‌ها گسترش یافته است. به‌دست آوردن شاخص‌های سبزی‌نگی متعدد در موقعیت‌های گوناگون در راستای درک میزان تأثیرگذاری سبزی‌نگی بر عملکردهای مناظر شهری از جمله تلاش‌های متخصصان عرصه‌ی شهری در چند دهه‌ی اخیر بوده است که هر یک با هدف و روشی متمایز ارائه شده‌اند. در تحقیق حاضر، با معرفی شاخص‌های گوناگون سبزی‌نگی، سلسله‌مراتب شکل‌گیری، روش‌های ارزیابی و بیان نقاط ضعف و قوت هر یک در خصوص اثرگذاری مؤثرشان در مناظر شهری، این نتیجه حاصل شده است که روش‌های عینی با نگاه سه‌بعدی مزیت بیشتری در مقایسه با روش‌های ذهنی و همچنین روش‌های عینی با نگاه دوبعدی دارند؛ زیرا به واقعیت موجود نزدیک‌تر و عاری از مشکلات روش‌های ذهنی هستند.

واژگان کلیدی: شاخص سبز، سبزی‌نگی شهری قابل‌رؤیت، روش عینی، سنجش‌ازدور، فرآیند تصویری شیء‌گرا.

۱- مقدمه

مطالعات انجام‌شده در بیش از دو دهه‌ی اخیر نشان می‌دهد که فضاهای سبز شهری با سرعت زیاد در حال ناپدید شدن هستند و یا به‌طور هشداردهنده‌ای در محیطه‌ای شهری تخریب شده‌اند. براساس بسیاری از مطالعات مرتبط با این موضوع، شهرسازی تنها عاملی است که معمولاً با دلایل این ویرانی‌ها ارتباط دارد (Mensah, 2014). با این رشد شتابان، مسائل و مشکلات شهرها فراگیر شده و مفاهیمی مانند ارتقاء کیفیت محیط اهمیت یافته است (تقوایی و معروفی، ۱۳۸۹: ۵۹). ازطرفی، شهرسازی سریع توازن میان توسعه و حفاظت از فضای سبز را به‌صورت یک وظیفه‌ی چالش‌برانگیز برای برنامه‌ریزی شهری و مدیریت اداری شهری درآورده است (Wang & et-al, 2018). طبق دیدگاه پاولت (۲۰۰۴)، می‌شود سیاست حفاظت از طبیعت در شهرها را در قالب احیاء کمبودهای مربوط به فضاهای سبز در شهرهای پرتراکم پر از ساختمان و گسترده کردن قابلیت ارتباط با فضاهای سبز اجرایی کرد. فضاهای سبز شهری با کارکردها، فعالیت‌ها و خدمات متنوع خود دارای ارزش اکولوژیکی، اجتماعی و روانی شالوده‌ی توسعه‌ی پایدار شهری هستند (دویران و غایبلو، ۱۳۹۷). پوشش سبز به‌عنوان یک جنبه‌ی ضروری از تحقق شهر سبز، در مقیاس‌های مختلف -چه در سطح بلوک (منطقه‌ی سبز به‌ازای هر بلوک در منطقه) و چه در سراسر شهر (کل منطقه‌ی سبز تقسیم‌شده از سوی منطقه‌ی شهری)- یک عنصر الزامی برنامه‌های فضایی برای ارتقاء کیفیت بالای زندگی است (Long & Liu, 2017). علاوه‌بر مزایای فضاهای سبز شهری به‌دلیل تعدیل شرایط نامساعد محیطی، همچون آلودگی هوا، دمای بالا و آلودگی صوتی (Bertram & Rehndanz, 2015) و نیز تأثیرات آن بر خوب بودن جسمی و روانی جمعیت شهرنشین (Shen & Wan, 2015)، مدت زیادی است که سبزیگی شهری، شامل درختان کنارجاده‌ای، بوته‌ها و دیگر پوشش‌های گیاهی، در راستای ارتقاء شرایط محیطی، تفریحی و زیبایی‌شناختی، مهم شناخته شده است (Krellenberg & et-al, 2014). وجود پوشش گیاهی معمولاً میزان درک زیبایی‌شناختی مردم را از چشم‌اندازهای شهری افزایش می‌دهد (Camacho-Cervantes & et-al, 2014; Balram & Dragi'cevi'c, 2005) و با تشویق مردم به گذران زمان بیشتر در مکان‌های بیرونی، باعث کاهش درجات استرس آن‌ها می‌شود (Arbogast & et-al, 2009; Li & Sullivan, 2016) و بر میزان پیاده‌روی شهروندان تأثیر مثبتی می‌گذارد. میزان پیاده‌روی شهروندان امروزی به‌عنوان یکی از مهم‌ترین سنجه‌های کیفیت زندگی در یک شهر، یک پیش‌شرط اساسی برای شهرهای زیست‌پذیر به‌شمار می‌رود (اسدی و شهبان، ۱۳۹۶).

علاقه به پایداری شهری و کیفیت زندگی در دهه‌های اخیر موجب افزایش تقاضا برای سبزی‌نگی‌های شهری در مقیاس انسانی شده است (Chiesura, 2004; Lu, 2018; Lu & et-al, 2018). مقیاس انسانی مقیاس مناسبی است که با بدن انسان و محیط اطرافش موجودیت می‌یابد؛ یعنی به‌طور مستقیم مشاهده و لمس می‌شود و در زندگی روزمره‌ی اشخاص اهمیت دارد (Long & Ye, 2016). در این راستا، مطالعات منظر شهری به‌طور معمول نشان داده‌اند که موقعیت‌هایی در مناطق شهری ترجیح داده می‌شوند که شامل دیدهایی به سمت پوشش گیاهی باشند (Smardon, 1988: 85). به‌گفته‌ی آوکی (۱۹۹۱)، بیشتر مردم به آن منظر خیابانی حس مطلوبی دارند که چیزی بیش از ۳۰ درصد از دیدشان را به سبزی‌نگی اختصاص دهد (Wang & et-al, 2018). با این حال، حتی پس از شناخته شدن اهمیت سبزی‌نگی خیابانی در مقیاس انسانی، به دسترسی‌ها و قابلیت دیداری سبزی‌نگی خیابانی در عملیات برنامه‌ریزی شهری توجه نشده است. یکی از دلایل اصلی در این زمینه این است که به‌دلیل اهمیت کارایی و سهولت روش‌های اندازه‌گیری برای متخصصان برنامه‌ریزی شهری، اندازه‌گیری سبزی‌نگی خیابانی دریافت‌شده توسط چشم ناظر همیشه سخت و زمان‌بر بوده است (Ye & et-al, 2018). از سوی دیگر، فهم و توضیح بهتر عملکردهای حسی سبزی‌نگی حداقل در بخشی از موارد، تحت فشار مشکلات ناشی از ارزیابی کیفیت بصری سبزی‌نگی شهری از سوی مردم قرار می‌گیرد (Lia & et-al, 2015).

در پی پاسخ به رشد ابعاد علمی و آگاهی اجتماعی در مورد مزایای چندبعدی و خدمات اکوسیستمی که فضاهای سبز برای ساکنان شهری و محیط شهری تأمین می‌کنند، روش‌ها و تکنیک‌های متفاوتی برای ارزیابی و تخمین کیفیت فضاهای سبز و عملکرد آن‌ها گسترش یافته است (Qiu & Nielsen, 2015). زمانی که ارزیابی تأثیر توسعه‌ی شهری بر فضاهای سبز موردنظر است، اندازه‌گیری صحیح فضاهای سبز در مناطق شهری یک منبع مهم اطلاعاتی به‌شمار می‌رود (Wang & et-al, 2018). برای ارزیابی مزایای فضای سبز برای سلامت ساکنان و محیط شهری، برنامه‌ریزان شهری نسبت‌های فضای سبز را در ترتیبات پراکندگیشان برای ساکنان به‌کار می‌برند و مدیران شهری شاخص فضای سبز را در ارزیابی محیط شهری منطقه‌ای در نظر می‌گیرند. بنابراین، صحت و دقت سنجش کمیت فضاهای سبز شهری نقش مهمی در طراحی شهری و مدیریت اجرایی آن دارد (Wang & et-al, 2018; Gupta & et-al, 2012). درصدها و ترتیبات فضاهای سبز ممکن است برای توصیف تصویر شهر، کیفیت زندگی و جذابیت محلات و یا واحدهای برنامه‌ریزی شهری به‌کار روند؛ اما یک تجزیه و تحلیل کمی ساده از میزان مناطق سبز به‌منظور ارزیابی شرایط اجتماعی- مسکونی کافی نیست (Schöpfer & et-al, 2005).

اغلب شاخص‌هایی که به‌طور گسترده برای ارزیابی فضاهای سبز به‌کار رفته‌اند، شامل نسبت مساحت کلی آن‌ها به کل جمعیت است (مترمربع به‌ازای هر فرد)؛ اما این شاخص (مساحت فضای سبز به‌ازای هر فرد) اطلاعاتی درخصوص چگونگی توزیع و پراکندگی آن در سراسر شهر و یا بخش‌های اجرایی ندارد و آگاهی لازم درخصوص خدمات اکوسیستم موردنیاز ارائه نمی‌کند (Van Herzele & Wiedemann, 2003; Taylor & et-al, 2011; de la Barrera & et-al, 2016). با توسعه‌ی تکنولوژی سنجش‌ازدور^۱، شاخص‌های جدید زیادی برای اندازه‌گیری سطوح سبز پیشنهاد شده‌اند (Kogan, 1995; Motohka & et-al, 2010) و به آن دسته از شاخص‌های متداول فضایی سبزیگی شهری که با بهره‌گیری از تکنیک‌های سنجش‌ازدور با عنوان پوشش سبز شهری اندازه‌گیری شده‌اند، به‌عنوان یک معیار موفق و برجسته در برنامه‌ریزی و طراحی شهری توجه شده است (Chen & Wang, 2013; Nowak & Greenfield, 2012). قبل از استفاده از تصاویر با وضوح بالای سنجش‌ازدور، برای به‌دست آوردن شاخص‌های فضای سبز، تنها از پیمایش‌های زمینی، همچون مساحت پوشش سبز و نسبت پوشش سبز، استفاده می‌شد (Huang & Chen, 1970; Kinerson, 1975). از سوی دیگر، باتوجه به وجود شواهد تحقیقاتی مبنی بر اهمیت سبزیگی خیابانی قابل‌رؤیت در ارتقاء کیفیت تجربیات مردم در مناطق شهری و همچنین تأثیر میزان دسترسی به سبزیگی خیابانی بر مقوله‌های سرزندگی و قابلیت پیاده‌روی (Wolf, 2005) و میزان درک زیبایی‌شناختی شهروندان، محققان بسیاری درصدد ارزیابی آن میزان از سبزیگی شهری هستند که در تیررس دید هر روزی مخاطبینش قرار می‌گیرد. در این صورت، اگرچه سنجش‌ازدور مناطق بزرگی را نسبتاً سریع اندازه‌گیری می‌کند، لزوماً این دید از بالا به پوشش گیاهی با تجربیات بصری که ساکنین شهری در سطح زمین به‌دست می‌آورند، مطابقت ندارد (Ye & et-al, 2018). ازاین‌رو، در دهه‌ی اخیر، تحقیقات گسترده‌ای در عرصه‌ی ارزیابی میزان سبزیگی شهری قابل‌رؤیت از دید مردم با تمرکز بر سبزیگی خیابانی با روش‌های روبه‌توسعه درحال شکل‌گیری است. درادامه، روند شکل‌گیری شاخص‌های سبزیگی با اهداف و روش‌های مربوطه در چند دهه‌ی اخیر را بررسی خواهیم کرد.

1. remote sensing

۲- ادبیات تحقیق

در سال‌های اخیر، با گسترش توجهات به نقش فضاهای سبز شهری و تلاش برای به‌دست آوردن شاخص‌های سبز بنابر اهداف خاص، محققین تعاریف متعدد و متفاوتی را ارائه کرده‌اند. در حالت کلی، هال و لی کر (۱۹۹۱) تعریف زیر را برای شاخص سبز ارائه کرده‌اند:

شاخص سبز مجموعه‌ای متشکل از ۲۵۶ نشانگر است که سلامت محیطی هر منطقه را اندازه‌گیری و رتبه‌بندی می‌کند. این نشانگرها ویژگی‌های عناصر مربوطه را چنانکه هستند، همچون یک خط‌مشی و راهبری سیاسی برای بهتر کردنشان در مکان شرح می‌دهند. بر خلاف بسیاری از مطالعات، شاخص سبز دید گسترده‌ای از کیفیت محیطی را به‌واسطه‌ی گزینش نشانگرهایی دربر می‌گیرد که پیامدهای مختلف چگونگی تعامل مردم، ماشین‌آلات و طبیعت سراسر یک جامعه را ارزیابی می‌کنند.

باتوجه به این تعریف، شاخص سبز طیف گسترده‌ای از شاخص‌های محیطی است که در راستای ارتقاء کیفیت محیطی انسان و زندگی او نقش ایفا می‌کنند. هدف این مقاله مروری متمرکز بر آن دسته از شاخص‌های سبزی است که به‌واسطه‌ی سبزی‌نگی موجود در محیط‌های شهری در مقیاس‌های مختلف، اعم از شهر، محله و خیابان، بر ارتقاء کیفیت زندگی شهروندان اثر می‌گذارند و در آن مسیر ارزیابی می‌شوند. در ادامه، شاخص سبز را با رویکردهای گوناگون شکل‌گرفته طبقه‌بندی می‌کنیم و توضیح می‌دهیم.

۲-۱- ارزیابی شاخص سبز با روش‌های عینی (نگاه دو‌بعدی)

ابتدا شاخص‌های سبز به‌صورت زیرمجموعه‌ای از شاخص گسترده‌تر پایداری شهری با محوریت دستیابی به یک شهر پایدار به‌وجود آمدند تا با برقراری تعاملات درونی بین آن‌ها و زیرمجموعه‌های اقتصادی - اجتماعی، محیطی و زیست‌محیطی، امکان قانونی شدن مدیریت شهری میسر شود و به این صورت، نقش مؤثری در سطح سیاسی و دولتی ایفا کنند. طبق دیدگاه هوانگ^۱ و چن^۲ (۱۹۷۰)، شاخص‌ها مؤثرترین روش ارزیابی پایداری شهری هستند. شاخص‌ها می‌توانند تغییرات را بسنجند، فرآیندها را شناسایی کنند و چارچوبی را برای تعیین اهداف و نظارت بر عملکرد ارائه نمایند (Huang & Chen, 1970). پس از مدتی، با به‌وجود آمدن نگاهی نو به ادراک فضاهای سبز شهری، شاخص‌های سبز با تعاریف متفاوت شکل

1. Huang
2. Chen

گرفتند. در اواسط قرن بیستم، در پی اهمیت روان‌شناسی محیطی به‌عنوان زیرمجموعه‌ای از علوم رفتاری، طراحان و برنامه‌ریزان شهری به رفاه و رضایت زندگی شهروندان جامعه توجه ویژه‌ای کردند. یکی از عناوین و شروط دستیابی به موضوع مهم رضایت از زندگی، مقوله‌ی سبزی‌نگی شهری بوده است. شاخص‌هایی که در این مسیر شکل می‌گرفتند عموماً از طریق دید هوایی بودند که به ارائه‌ی افقی و نقشه‌های دوبعدی از مناطق سبز منجر می‌شدند. هرچند پیشرفت تکنولوژی ماهواره‌ای و سنجش‌ازدور تحول و توسعه‌ی قابل‌توجهی در زمینه‌ی ارزیابی میزان سبزی‌نگی به‌وجود آورده بود، این‌گونه نقشه‌های دوبعدی توان انعکاس مستقیم «حس برآمده از سبزی‌نگی» شهروندان مقیم آن مناطق را نداشتند (Schöpfer & et-al, 2005).

۲-۲- ارزیابی شاخص سبز با روش‌های عینی (نگاه سه‌بعدی)

در این روش، دغدغه‌ی طراحان و برنامه‌ریزان شهری به‌دست آوردن شاخص‌های سبزی بود که براساس رؤیت و ادراک مستقیم ناظران از فضاهای سبز شهری شکل می‌گرفت. از آنجا که در دسترس‌ترین و اثرگذارترین فضاهای سبز شهری که در معرض دید هر روزه‌ی تعداد زیادی از مردم هر محله قرار می‌گیرد درختان موجود در خیابان‌های مناطق مسکونی هستند، به مناظر خیابانی بیش از هر زمان دیگری توجه شد. خیابان‌ها چیزی حدود ۲۵ الی ۳۵ درصد از زمین‌های شهری توسعه‌یافته را اشغال می‌کنند (Jacobs, 1997) و چنین اندازه‌ی بزرگ‌تر از نسبتی است که در مناطق شهری به پارک‌ها و دیگر فضاهای عمومی اختصاص می‌یابد. مطالعات نشان داده‌اند که به‌طور معمول چشم‌اندازهای خیابانی شامل درختان به آن‌هایی که بدون درخت هستند، بیشتر ترجیح داده می‌شوند (Gorman, 2004; Wolf, 2009) و داشتن درختان در طول خیابان به‌اندازه‌ی داشتن آن‌ها در پارک برای شهروندان اهمیت دارد (Getz & et-al, 1982). خیابان‌ها به‌دلیل نقششان در زیرساخت‌های شهری و مجاورتشان با سکونتگاه‌ها، از جمله اماکنی هستند که شهروندان در محیط بیرون از خانه زمان بیشتری را در آن‌ها صرف می‌کنند (Ibid). به این ترتیب، چشم‌اندازهای خیابانی شامل دیدی هم می‌شود که شمار زیادی از مردم از درون خانه‌ها و محل کارشان دارند (Lindal & Hartig, 2015). در این راستا، با گسترش ساختمان‌های بلندمرتبه (مسکونی، تجاری، اداری و ...) و در نتیجه جدا شدن مردم از فضاهای سبز روی زمین در اوقات اقامت در ساختمان‌های مربوطه، چشم‌انداز شکل‌گرفته از ارتفاع به فضاهای سبز نیز اهمیت یافت و شاخص‌هایی با این هدف شکل گرفتند. برای دستیابی به چنین شاخص‌هایی، تکنولوژی‌های ماهواره‌ای به‌تنهایی کافی نبودند و تلاش محققین برای ارزیابی شاخص سبزی‌نگی طبق ضوابط و فرمول‌ها به‌منظور کاربرد آسان‌تر آن‌ها

در برنامه‌ریزی‌های شهری از طریق روش‌هایی همچون دید خیابانی گوگل، شاخص دید سبز، شاخص دید سبز طبقاتی و شاخص سبز بصری ساختمان شایان توجه است.

۳- روش تحقیق

تحقیقات در زمینه‌ی شاخص پوشش گیاهی از اواخر قرن بیستم آغاز شده و تا به امروز ادامه یافته است (Huang & Chen, 1970; Wang & et-al, 2018). این تحقیقات با کلیدواژه‌های *green index*, *visual greenery*, *urban green space measurement* و *urban landscape evaluation and assessment* و جست‌وجوگر Google Scholar و Scopus دریافت شدند و اکثر آن‌ها از سال ۲۰۰۹ تا ۲۰۱۸ در دو مجله‌ی *Urban Planning* و *Urban Forestry & Urban Greening* توسط پایگاه‌های *Since Direct* و *Elsevier* به نمایش درآمده‌اند. از میان این مقالات، مقالاتی که روش تحقیقشان بر مبنای روش عینی بوده و در این نوع روش تفاوت‌هایی با هم داشته‌اند، مبنای انجام مطالعه‌ی حاضر شدند؛ زیرا بسیاری از محققین، از جمله لی و همکاران (۲۰۱۴)، در مقایسه‌ی میان ابزارهای عینی و ذهنی، روش‌های عینی (ابزار تکنولوژیک) را برتر از ذهنی (پرسشنامه‌ها و ممیزی‌ها) دانستند و مشکلاتی را در خصوص روش‌های ذهنی برشمردند. از نظر آن‌ها، درک بهتر عملکردهای حسی سبزی‌نگی حداقل تا حدودی تحت فشار مشکلات ارزیابی کیفیت بصری سبزی‌نگی شهری از مردم است؛ زیرا روش‌های اندازه‌گیری ادراک، نظرات و رفتار مردم در دیدهای مقطع خیابانی نسبت به سبزی‌نگی شهری شامل پیمایش، مصاحبه‌ها و ممیزی‌ها است. به نظر این محققین، روش پیمایش پرسشنامه اغلب نگرانی‌های مربوط به جهت‌گیری‌های شخصی در پاسخ‌ها را در خود دارد (Downs & Stea, 1977) و روش ممیزی نیز از آنجا که نیازمند ارزیابی‌کنندگانی ماهر در سطح بالا برای به‌کارگیری ضوابط و معیارها در تخمین‌گذاری کیفیت زیبایی‌شناختی بصری است، ممکن است مانعی به‌شمار آید (Ellaway & et-al, 2005; Hoenher & et-al, 2005)؛ هرچند آن‌ها هموارترین راه برای ارزیابی ذهنی رفتارهای محیطی را انتقال ارزیابی‌کنندگان به مکان واقعی می‌دانند که در این صورت نیز مشکلات به خدمت گرفتن و انتقال شرکت‌کنندگان در این روش وجود دارد (Li & et-al, 2015). از این رو، به نظر بیشتر محققین، روش‌های عینی در مقایسه با روش‌های ذهنی مزایای بیشتری دارند و به همین دلیل، بیشتر تحقیقات انجام‌شده در این زمینه به واسطه‌ی روش‌های عینی است. با وجود صحت و کارایی بیشتر این روش‌ها، محدودیت‌هایی نیز از نظر نوع و تعداد روش‌ها در این مقوله وجود دارد. برای نمونه، سنجش‌ازدور که معمول‌ترین روش در این حوزه است و بازگوکننده‌ی درصد

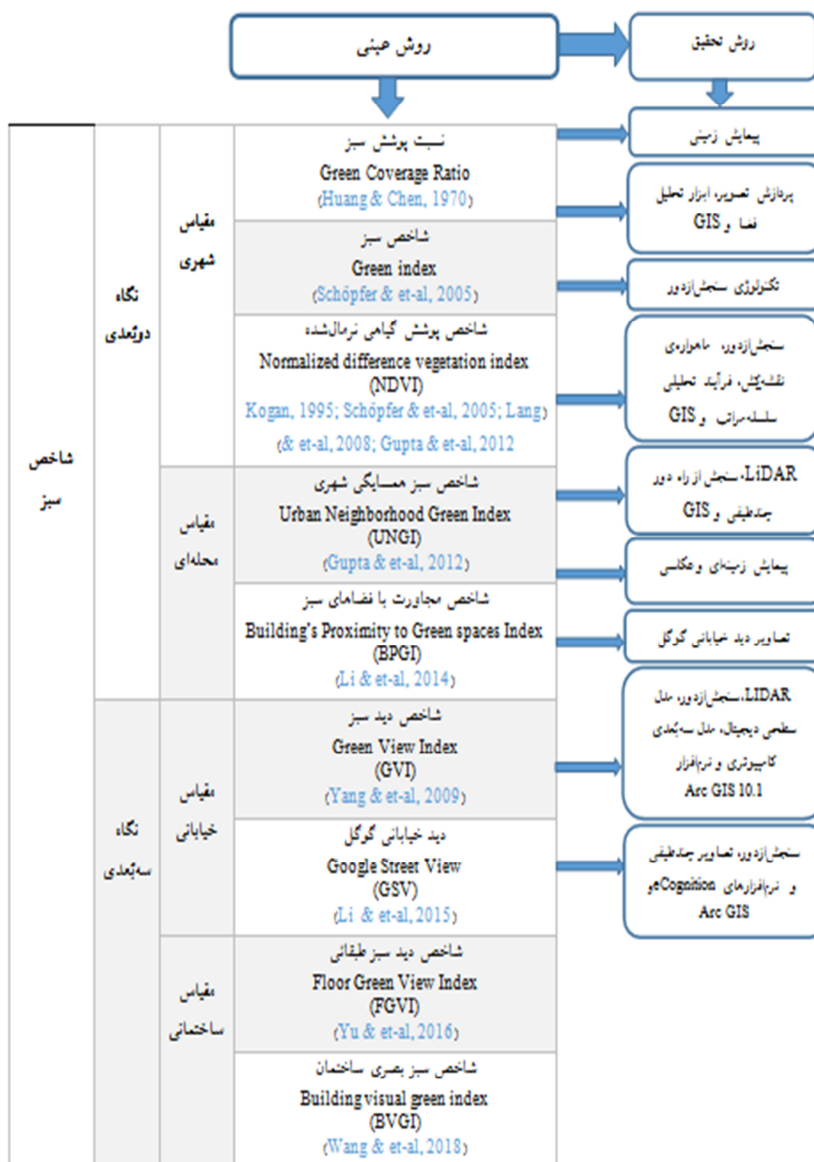


فضای سبز، نسبت فضای سبز به منطقه‌ی ساختمانی، تراکم فضای سبز و دیگر اندازه‌ها است، در ارزیابی دیدهای مقطع خیابانی به سبزی‌نگی ضعف دارد که توجه به ابزارهای دیگر، از جمله تلاش‌های محققین برای برطرف کردن این مشکل از روش عینی بوده است. در همین راستا، روش‌های عینی با نگاه خاص محققین در مقیاس‌ها و نگاه‌های متفاوت دُوبُعدی و سه‌بُعدی انجام شده‌اند؛ چنانکه برخی با درنظر گرفتن پایداری شهری ارزیابی خود را در مقیاس شهری انجام داده‌اند، برخی به‌دلیل کیفیت زندگی شهروندان در محلات به مقیاس محله‌ای توجه کرده‌اند و برخی دیگر نیز به‌دلیل اهمیت مناظر خیابانی در کیفیت زندگی روزمره‌ی شهروندان به مقیاس خیابانی توجه نموده‌اند. مطالعات دیگری نیز برپایه‌ی نگاه شهروندان از درون ساختمان‌ها به مناظر بیرونی شهری در مقیاس ساختمانی انجام شده است. در مطالعه‌ی حاضر، ۱۰ مقاله‌ی ذکرشده در جدول ۱ با درنظر گرفتن تفاوت در نوع روش تحقیق، مبنای انجام تحقیق شده‌اند. از آنجا که تمرکز تحقیق حاضر بر روش‌های عینی و مقیاس‌های تعیین‌شده است، شاخص سبز وزن‌یافته^۱ به‌دلیل بهره‌گیری از روش ذهنی و شاخص وضعیت پوشش گیاهی^۲ به‌دلیل قرار گرفتن در مقیاسی فراتر از مقیاس شهری، از دامنه‌ی مطالعات حذف شدند. جدول ۱ براساس سلسله‌مراتب تاریخی شکل‌گیری شاخص‌های سبز تدوین شده است و در دیاگرام بعدی (شکل ۱)، شاخص‌های مطرح‌شده با روش عینی باتوجه به ابزارهای ارزیابی، نوع نگاه‌های متفاوت دُوبُعدی و سه‌بُعدی و مقیاس‌های متفاوت، از هم تفکیک شده‌اند.

1. Weighted Green Index (WGI)
2. Vegetation Condition Index (VCI)

جدول ۱: سلسله‌مراتب تاریخی شکل‌گیری شاخص‌های سبز از سال ۱۹۷۰ تا ۲۰۱۸

عنوان مقاله	نویسنده	سال	نام شاخص سبزی
“A system dynamics approach to the simulation of urban sustainability” «یک پویایی سیستمیک با رویکرد شبیه‌سازی در پایداری شهری»	Huang & Chen	1970	Green Coverage Ratio
“Application of vegetation index and brightness temperature for drought detection” «کاربرد شاخص گیاهی و دمای روشنایی برای تشخیص خشکی»	Kogan	1975	Normalized Difference Vegetation Index (NDVI) vegetation condition index (VCI)
A “green index” incorporating remote sensing and citizen’s perception of green space یک «شاخص سبزی» در پیوستگی با سنجش‌ازدور و ادراک شهروندان نسبت‌به فضای سبز	Schöpfer & et-al	2005	Green Index (GI)
Quantifying and qualifying urban green by integrating remote sensing, GIS, and social science methods. «تعیین کیفیت و کمیت سبزی شهری با اجماع سنجش‌ازدور، GIS و روش‌های علوم اجتماعی»	Lang & et-al	2008	Weighted Green Index (WGI)
Can you see green? Assessing the visibility of urban forests in cities. «آیا می‌توانید سبز را ببینید؟ ارزیابی قابلیت دیداری جنگل‌های شهری»	Yang & et-al	2009	Green View index (GVI)
Urban Neighborhood Green Index – A measure of green spaces in urban areas. شاخص سبزی محله‌ای - مقیاسی از فضاهای سبز در محیط‌های شهری	Gupta & et-al	2012	Urban Neighborhood Green Index (UNGI)
“An explorative study on the proximity of buildings to green spaces in urban areas using remotely sensed imagery” «یک مطالعه‌ی جست‌وجوگرایانه درزمینه‌ی مجاورت ساختمان‌ها با فضاهای سبز در مناطق شهری با استفاده از تصاویر برپایه‌ی سنجش‌ازدور»	Li & et-al	2014	Building’s Proximity to Green Space Index (BPGI)
“Assessing street-level urban greenery using Google Street View and a modified green view index” «ارزیابی سبزی شهری در سطح خیابان با استفاده از چشم‌انداز خیابانی گوگل و یک شاخص چشم‌انداز سبز اصلاح‌شده»	Li & et-al	2015	Google Street View (GSV)
View-based greenery: A three-dimensional assessment of city buildings’ green visibility using Floor Green View Index. سبزی مبتنی‌بر دید ناظر: یک ارزیابی سه‌بعدی از سبزی قابل‌رؤیت از ساختمان‌های شهر با استفاده از شاخص دید سبز طبقاتی	Yu & et-al	2016	Floor Green View Index (FGVI)
“Building visual green index: A measure of visual green spaces for urban building” «شاخص سبز بصری ساختمان: سنجشی از فضاهای سبز بصری برای ساختمان‌های شهری»	Wang & et-al	2018	Building visual green index (BVGI)



شکل ۱: روش‌های ارزیابی عینی برخی از شاخص‌های سبز در دو نگاه دو بُعدی و سه بُعدی در مقیاس‌های مختلف از سال ۱۹۷۰ تا ۲۰۱۸

در ادامه، جزئیات ارزیابی شاخص‌های سبزی‌نگی در مقیاس‌های متفاوت بررسی شده و چارچوب تقسیم‌بندی تحقیق بر مبنای شکل ۱ به تفصیل آمده است.

۳-۱- ارزیابی شاخص سبزی‌نگی در مقیاس شهری

۳-۱-۱- نسبت پوشش سبز

نخستین شاخص سبزی‌نگی با توجه طراحان شهری برای دستیابی به پایداری شهری صورت گرفت. هوانگ و چن (۱۹۷۰) یک مدل سیستماتیک شهری با ۶ زیرسیستم شامل کاربری زمین، جمعیت، حمل‌ونقل، منابع آبی، زباله‌های جامد و پساب را توسعه دادند. ۱۴ شاخص پایداری شهری در این مدل پیشرفته گنجانده شد که یکی از این شاخص‌ها «نسبت پوشش سبز»^۱ بود که در کنار سه عامل دیگر، یعنی سرانه‌ی حاصلخیزی شهری، سرانه‌ی منطقه‌ی طبیعی و نسبت تسهیلات عمومی به منطقه‌ی شهری، به‌عنوان زیرمجموعه‌ی کاربری زمین لحاظ شد. در این تحقیق، محققان کوشیدند با بهره‌گیری از یک مدل پویای سیستماتیک ارتباطات درون‌تعاملی بین ۶ بخش اصلی را شبیه‌سازی و تأثیرات احتمالی سیاست‌های شهری بر پایداری شهری را پیش‌بینی کنند. تمرکز این تحقیق بر روابط علی- معلولی بین کل متغیرها در راستای دستیابی به پایداری شهری بوده و نگاه ویژه و منحصر به فردی به شاخص «نسبت پوشش سبز» نشد.

۳-۱-۲- شاخص پوشش گیاهی نرمال شده (NDVI)

دیگر شاخص گیاهی، «شاخص پوشش گیاهی نرمال شده»^۲ (NDVI) است که عمومی‌ترین شاخص شناخته‌شده برای شناسایی پوشش گیاهی است و به پایدارترین ابزار برای توصیف فنولوژی گیاهی، پوشش سرزمین قاره‌ای، پویایی و طبقه‌بندی پوشش گیاهی و همچنین عملیات برداشت تبدیل شده است (Tucker & et-al, 1982; Malingreau, 1986). NDVI با حساسیت به داده‌های پوشش گیاهی با ترکیب باندهای گیرنده‌ی نزدیک مادون قرمز و مرئی برای استخراج داده‌های منطقه‌ی فضای سبز توسعه یافت (Wang & et-al, 2018) که این توسعه‌یافتگی خود به دلیل گسترش تکنولوژی سنجش‌ازدور بود. روش سنجش‌ازدور از

1. Green Coverage Ratio
2. Normalized Difference Vegetation Index



عکس‌های هوایی و تصاویر ماهواره‌ای برای به‌دست آوردن توزیع فضایی مناطق سبز استفاده می‌کند (Mathieu & et-al, 2007).
NDVI از رابطه‌ی ۱ به‌دست می‌آید:

$$NDVI = \frac{NIR-RED}{NIR+RED} \quad \text{رابطه‌ی ۱:}$$

NIR بازتاب در باند نزدیک مادون قرمز است و RED بازتاب در باند قرمز. هرچه عدد مربوط به این شاخص بزرگ‌تر باشد، آن پوشش گیاهی متراکم‌تر و سالم‌تر است (Kogan, 1987). NDVI شاخصی است که به‌طور گسترده برای منابع محیطی به‌کار می‌رود (Tucker & Sellers, 1986) و استفاده از آن برای توسعه‌ی VCI نشانه‌ی موفقیتش هنگام شناسایی و ردیابی خشکسالی است (Kogan, 1987). در این مقاله، الگوریتم توسعه برای نظارت و اعتبارسنجی درزمینه‌ی خشکی ارائه شد و نتایج ذکرشده در آن نخستین تلاش برای بهره‌گیری توأمان NDVI و کانال‌های دمایی در یک منطقه‌ی بزرگ با منابع بسیار متنوع زیست‌محیطی بوده است.

۳-۱-۳- شاخص سبزی‌نگی (GI)

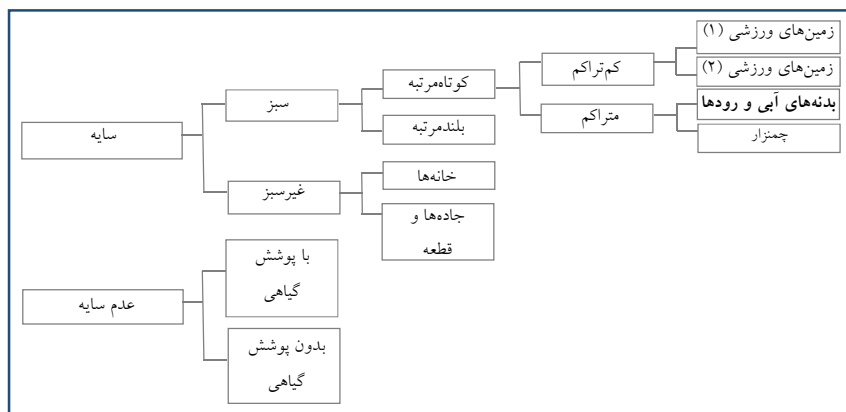
با برجسته شدن فضاهای سبز موجود در شهرها به‌عنوان عامل کلیدی برای تحقق اهداف کیفیات محیطی و پرورش مقوله‌ی توسعه‌ی پایدار محلی در سیاست‌های راهبردی محیطی دستورالعمل محلی^۱ (Tschense, 1998)، محققان عرصه‌ی مسائل شهری تحقیقات خود را با نگاهی نوین در قالب بررسی تأثیرات کمیت فضاهای سبز شهری بر عوامل کیفی زندگی شهری آغاز کردند. از مهم‌ترین آن کمیت‌ها، سرانه‌ی فضای سبز به‌ازای ساکنین بود که هرچند تاحدودی برای شناسایی مناطق نیازمند به بازسازی و طراحی مجدد مفید بود، برای بررسی شرایط اجتماعی شهروندان کافی نبود. نیاز متخصصین شهری به اندازه‌های دقیق‌تر، استفاده از ابزارهای نوین روز را در پی داشت. شاپفر^۲ و همکاران (۲۰۰۵) برای انعکاس نیاز مردم شهر سالزبرگ^۳ اتریش درخصوص «داشتن حس خوب»، ارزیابی «شاخص سبزی‌نگی^۴» (GI) را

1. Local Agenda 21
2. Schöpfer
3. Salzburg
4. Green Index

به‌عنوان یکی از عوامل مهم ساختار شهری از طریق ترکیب روش‌هایی همچون پردازش تصویر، سیستم داده‌های جغرافیایی (GIS) و ابزار تحلیل فضایی توسعه دادند. از نگاه آن‌ها، اطلاعات کیفی معمولاً تنها به‌صورت غیرمستقیم با پارامترهای قابل‌اندازه‌گیری همچون شاخص‌های پوشش گیاهی ارتباط دارد و با این بینش توانستند سبزی‌نگی در مجاورت مستقیم را (از عوامل مهم رضایتمندی از شرایط زندگی) از طریق تکنولوژی سنجش‌ازدور که ابزاری مفید برای بررسی اجمالی فضایی است، به نقشه‌های دوبعدی پایه با پوشش گیاهی طبقه‌بندی‌شده تبدیل کنند. متدولوژی با بهره‌گیری از دو اورتوفوتوی^۱ رنگی اسکن‌شده توسعه یافت. شاخص NDVI از داده‌ی ماهواره‌ی آستر^۲ محاسبه شد و به‌عنوان یک لایه‌ی تصویری اضافه به‌کار رفت. پردازش تصویر در این تحقیق فرآیند تصویری شیء‌گرا^۳ است و شاپفر این فرآیند را همان قطعه‌بندی تصویر^۴ می‌داند که اجزای عکس از آن استخراج می‌شود و سپس سنجش‌ازدور این اجزای نسبتاً مشابه را به‌جای یک پیکسل منفرد پردازش می‌کند. به سخن دیگر، از نظر حسی به‌نظر می‌رسد که در برنامه‌های کامپیوتری شهری برپایه‌ی داده‌های با وضوح بالا، بخش‌های پایه‌ای در فرآیند پردازش قطعات نسبتاً همگن هستند و یا به عبارت دیگر، پیکسل‌های مستقل نیستند و از این‌رو به آن‌ها اشیای تصویری می‌گویند. این اشیاء ویژگی‌ها را ماوراء مقادیر طیفی نشان می‌دهند؛ یعنی اشیاء می‌توانند در قالب‌هایی از شکل (طول، نسبت مساحت بر محیط، تعداد لبه‌ها و ...) و عوارض توپولوژی (محل، اشیاء بزرگ‌مقیاس و ...) دارای اندازه‌ای مشخص شوند (Schöpfer & et-al, 2005). در این روش، تکامل فرآیند تصویری شیء‌گرا با ظهور داده‌های ماهواره‌ای با وضوح بالای قابل‌دسترس همچون Ikonos, Quick bird, etc. تعداد فزاینده‌ی سیستم‌های پوشش‌گر هوأبرد^۵ همچون سیستم LIDAR و دوربین‌های دیجیتالی با وضوح بالا همچون HRSC-A هم‌زمان است (Ibid). برنامه‌های سنجش‌ازدور به‌طور فزاینده‌ای از تقسیم تصویر به‌عنوان اولین قدم برای به‌دست آوردن اشیاء تصویر استفاده می‌کنند و متعاقباً آن‌ها را به مناطق همگن برای پردازش و طبقه‌بندی^۶ تبدیل می‌کنند (Lang & et-al, 2008). به عبارت دیگر، قطعه‌بندی تصویری فرآیند ترسیم تصاویر به‌دست آمده از سنجش‌ازدور به اشکال متجانس مرتبط با عوارض روی زمین است (Lin, 2008). فرآیند تصویری شیء‌گرا همان

1. orthophoto
2. ASTER
3. object- based image process
4. image segmentation
5. airborne scanner system
6. Light Detection and Ranging
7. classification

قطعه‌بندی تصویری است که در سال‌های اخیر در عرصه‌ی شهری بسیار پرکاربرد بوده است و از نظر الگوریتمی عموماً به چهار بخش نقطه‌ای، لبه‌ای، منطقه‌ای و ترکیبی تقسیم می‌شود (Schiewe, 2002). در تحقیق جاری، قطعه‌بندی تصویر در سه مرحله برای دریافت بالاترین کیفیت قطعات تصویری شکل گرفت و در نهایت، از قطعه‌بندی متفاوت طیفی برای سطوح طبقه‌بندی شده استفاده شد. برای مطالعه‌ی شهر سالزبرگ، یک شبکه‌ی شناختی ساده برای ایجاد سلسله‌مراتب طبقه‌بندی شده و کنترل تعداد سطوح طبقات و تعریف طبقات شکل گرفت (شکل ۲).



شکل ۲: شبکه‌ی شناختی استفاده‌شده برای قطعه‌بندی و طبقه‌بندی

همان‌طور که در تصویر مشاهده می‌شود، سبزی‌نگی در چندین مرحله به زیرمجموعه‌هایی تقسیم شده است؛ در نگاه کلی به سبز و غیرسبز، از دسته‌ی سبز به بلندمرتبه‌ها و کوتاه‌مرتبه‌ها، کوتاه‌مرتبه‌ها به دو نوع کم‌تراکم و پرتراکم و پرتراکم به دو نوع رودخانه‌ها و پهنه‌های آبی و چمنزارها. بعد از طبقه‌بندی طبقات سبز منفرد، نتایج در یک طبقه‌بندی دو قسمتی (سبز و غیرسبز) ترکیب شدند. پس از آن، به دلیل اهمیت داشتن سبزی‌نگی از دید ناظرین، میزان توزیع فضایی سبزی‌نگی با دو فاکتور درصد ساختمان‌های چندطبقه و فاصله‌ی متوسط میان ساختمان‌ها بررسی شد. در نهایت، همه‌ی عوامل به واسطه‌ی میانگین وزن‌یافته در یک اندازه‌ی کلی به نام «کیفیات سبزی‌نگی وزن‌یافته»^۱ ادغام شدند و توزیع مناطق سبز و

1. weighted green quality

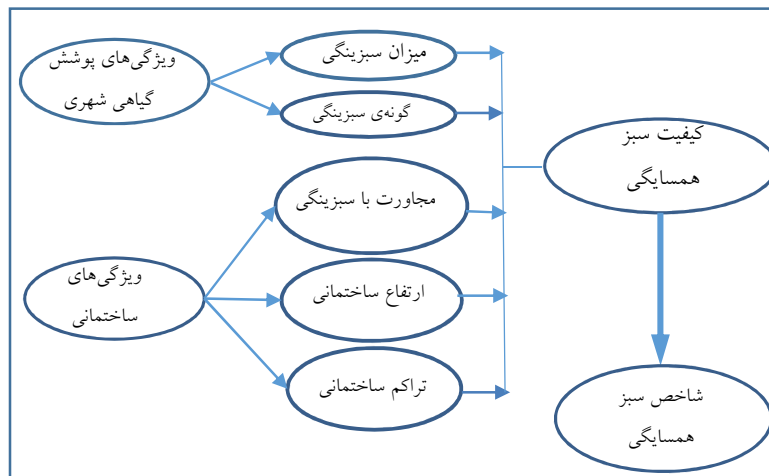
غیرسبز در سلول‌های رستری ۱۰۰*۱۰۰ در چهار طبقه (۰-۲۵٪، ۲۵-۵۰٪، ۵۰-۷۵٪، ۷۵-۱۰۰٪) به ترتیب با مفهوم کیفیت سبزیگی پایین، کیفیت سبزیگی متوسط، کیفیت سبزیگی بالا و کیفیت سبزیگی خیلی بالا طبقه‌بندی شدند. از نگاه روش‌شناختی، محققین این تحقیق هدف را ایجاد ارتباط میان دیدگاه‌های بشری و وجوه زیست‌محیطی سبزیگی شهری بیان کرده‌اند تا چنین ارتباطی بینش جدیدی در خصوص فهم و ادراک فضای سبز شهری ارائه کند.

۲-۳- ارزیابی شاخص سبزیگی در مقیاس محله‌ای

۱-۲-۳- شاخص سبز همسایگی شهری (UNGI)

گوپتا و همکاران (۲۰۱۲) به دلیل اهمیتی که برای مقوله‌ی همسایگی و شناسایی بخش‌های بحرانی آن محلات از نظر میزان سبزیگی در بخش‌هایی از هند قائل بودند، شاخصی با عنوان «شاخص سبز همسایگی شهری» (UNGI) را ارزیابی کردند؛ به این معنا که این شاخص توزیع فضای سبز شهری در مجاورت بخش‌های ساختمانی شهری را ارزیابی کند. رویکرد محققان این تحقیق ارزیابی عینی بوده است؛ زیرا ارزیابی ذهنی را علاوه بر زمان بر و هزینه بر بودن آن، بسیار شخصی می‌دانستند و برای آن اعتبار کمتری در مقایسه با ارزیابی عینی قائل بودند. آن‌ها برای رسیدن به هدف خود (UNGI)، چهار زیرمجموعه‌ی شاخص سبز، مجاورت با سبزیگی، تراکم ساختمانی و ارتفاع ساختمان‌ها را در نظر گرفتند. توجه به عوامل بالا به این دلیل بود که از نظر این محققین، محدودیت‌هایی برای شاخص‌هایی چون NDVI و یا ابزاری چون سنسج‌ازدور به‌تنهایی وجود داشت. به‌عنوان مثال، آیا NDVI قادر است توزیع و کیفیت فضاهای سبز را به‌عنوان ویژگی‌های متفاوت محله‌ای ارزیابی کند و یا داده‌های سنسج‌ازدور می‌توانند تأثیرات ابعاد عمودی و تراکم ساختمانی را بر کیفیت سبزیگی در هر منطقه‌ای بررسی کنند یا نه (Gupta & et-al, 2012). به همین دلیل، مدل اندازه‌گیری شاخص UNGI در قالب مدل مفهومی شکل ۳ پایه‌ریزی شد.

1. cell raster
2. Gupta
3. Urban Neighborhood Green Index



شکل ۳: مدل مفهومی برای شاخص سبز همسایگی شهری

در این مدل، ویژگی‌های پوشش گیاهی شهری طبق دو عامل میزان سبزی‌نگی و گونه‌ی سبزی‌نگی (تراکم، ارتفاع و ...) تعریف شدند. ویژگی‌های ساختمان‌های شهری در سطح محله‌ای نیز با عوامل مجاورت با سبزی‌نگی، تراکم ساختمانی و ارتفاع ساختمان‌ها مشخص شدند. میزان سبزی‌نگی در این مدل درصد سبزی‌نگی در هر بخش مساحی است و از آن به‌عنوان شاخص سبز (GI) یاد می‌شود (Gupta & et-al, 2012). در این تحقیق، برای دستیابی به اطلاعات پایه درخصوص میزان پوشش گیاهی و ویژگی‌های کلی آن، از تکنولوژی سنجش‌ازدور و برای استخراج گونه‌های همسایگی ساختمان‌ها و ارتفاع آن‌ها، از ماهواره‌ی نقشه‌کش Cartosat-2 data استفاده شد. ترکیب این دو منبع اطلاعاتی مزایای هر دو ویژگی وضوح بالای فضایی و چندطیفی را برآورده کرد. برای به‌دست آوردن ترتیبات فضاهای سبز و درنهایت شاخص‌های مربوطه، یک شبکه‌ی سلولی ۲۰*۲۰ متر روی منطقه‌ی مطالعاتی جایگذاری شد. شاخص سبز (GI) با کمک NDVI و طبقه‌بندی دوتایی سبز و غیرسبز به‌دست آمد (به‌معنی درصد سبزی‌نگی در هر سلول). برای جست‌وجوی آسان میزان سبزی‌نگی، شاخص سبز در چهار گروه تقسیم‌بندی شد و ارزش‌های نسبی خوبی را برای ارزیابی مقایسه‌ای میان همسایگی‌های مختلف تأمین کرد. این چهار گروه عبارت بودند از: کیفیت پایین سبزی‌نگی (۰ تا ۲۵ درصد)، کیفیت متوسط سبزی‌نگی (۲۵ تا ۵۰ درصد)، کیفیت بالای سبزی‌نگی (۵۰ تا ۷۵ درصد) و کیفیت خیلی بالای سبزی‌نگی (۷۵ تا ۱۰۰ درصد). ارتفاع ساختمان‌ها براساس متد سایه با

کمک ماهواره‌ی نقشه‌کش Cartosat-2 data به‌دست آمد و تقسیم‌بندی آن‌ها با مرجع قرار دادن نقشه‌ی Eicher دهلی و گوگل ارث^۱ ۲۰۰۸ به دو گروه بلندمرتبه و کوتاه‌مرتبه انجام شد. سپس این تقسیم‌بندی تحت شبکه‌ی سلولی ۲۰*۲۰ قرار گرفت و براساس میزان درصد ساختمان‌های بلندمرتبه (۰ تا ۲۵ درصد، ۲۵ تا ۵۰ درصد، ۵۰ تا ۷۵ درصد و ۷۵ تا ۱۰۰ درصد) به‌ترتیب کیفیات سبزی‌نگی خیلی زیاد، زیاد، متوسط و کم به آن‌ها اطلاق شد. برای تولید نقشه‌ی مجاورت با سبزی‌نگی، یک نقشه‌ی حریم ۲۰متری در اطراف مناطق با پوشش گیاهی به‌استثنا بخش ساختمانی شکل گرفت و سپس با جانمایی شبکه‌ی سلولی ۲۰*۲۰ روی آن، چهار کیفیت مجاورت با سبزی‌نگی به‌ترتیب قرارگیری در حریم‌های منطقه‌ی پوشش گیاهی با تراکم بیش از ۵۰ درصد، بین ۲۵ و ۵۰ درصد، حریم مناطق کم‌ارتفاع پوشش گیاهی و درنهایت فضاهای باز بدون پوشش گیاهی و ساختمانی به شرح زیر به‌دست آمد: کیفیت سبزی‌نگی خیلی زیاد، زیاد، متوسط و ضعیف. برای تولید نقشه‌ی تراکم ساختمانی نیز نقشه‌ی طبقه‌بندی‌شده‌ی مربوط به مناطق ساختمانی تحت پوشش شبکه‌ی سلولی ۲۰*۲۰ قرار داده شد و میزان درصد ساختمان‌ها در هر سلول به‌عنوان میزان تراکم سنجیده شد؛ به این صورت که ساخت‌وسازهای با درصد کمتر از ۲۵، بین ۲۵ و ۵۰، بین ۵۰ و ۷۵ و بیش از ۷۵ به‌ترتیب کیفیت‌های سبزی‌نگی خیلی زیاد، زیاد، متوسط و ضعیف را به خود اختصاص دادند. درنهایت، مقدار شاخص UNGI در هر سلول از رابطه‌ی ۲ به‌دست آمد:

$$UNGI_i = \sum_{j=1}^{i=1ton} w_j \times p_{ij} \quad \text{رابطه‌ی ۲:}$$

در این رابطه، مقدار p همان میزان پارامترهای زیرمجموعه‌ای UNGI (شاخص سبز، مجاورت با سبزی‌نگی، ارتفاع ساختمانی و تراکم ساختمانی) و w_j وزن نسبی هر پارامتر است که میزان آن در یک رتبه‌بندی مقایسه‌شده از ۱ تا ۹ با نظر متخصصین عرصه‌ی برنامه‌ریزی شهری به‌دست آمد. برای این وزن‌دهی، از فرآیند تحلیلی سلسله‌مراتب^۲ و روش مقایسه‌ای pair wise استفاده شد. براساس مقادیر به‌دست‌آمده، نقشه‌ی UNGI نیز در چهار گروه سبزی‌نگی همسایگی با کیفیت خیلی بالا، بالا، متوسط و ضعیف به‌دست آمد. برای ارزیابی مقایسه‌ای

1. google earth
2. Analytic Hierarchy Process

میزان UNGI در محلات مختلف، چهار گونه‌ی محله‌ای براساس معیارهای تراکم ساختمانی، گونه‌ی توسعه و ارتفاع ساختمانی با بهره‌گیری از تکنیک تفسیر بصری و نقشه‌های گونه‌های محله‌ای به‌دست‌آمده از داده‌های ماهواره‌ای Cartosat مشخص شد که عبارت‌اند از: راهروی خط آهن (منطقه‌ی غیرمسکونی)، محله‌ی کم‌تراکم کوتاه‌مرتبه، محله‌ی کم‌تراکم بلندمرتبه و محله‌ی پرتراکم کوتاه‌مرتبه. پس از آن، جدولی از مقادیر GI و UNGI برای هر محله به‌صورت مستقل شکل گرفت. مقایسه‌ی این دو شاخص برای هر محله و همچنین میان محلات مختلف نتایج جالبی را به‌همراه داشت. مثلاً برای دو منطقه با تراکم پایین، یکی بلندمرتبه و دیگری کوتاه‌مرتبه، عدد GI یکسان و میزان UNGI متفاوت بود؛ یعنی مقدار UNGI برای محله‌ی کم‌تراکم کوتاه‌مرتبه بزرگ‌تر از محله‌ی کم‌تراکم بلندمرتبه بوده است که خود نشان‌دهنده‌ی اثرگذاری عامل ارتفاع ساختمانی بر شاخص UNGI است. در این صورت، محققان بر این ادعا پافشاری کردند که شاخص UNGI کامل‌تر و دقیق‌تر از شاخص GI است. درمقایسه با شاخص‌های سبزی که درصد کلی مناطق سبز را اندازه می‌گیرند، مزیت UNGI این است که این شاخص اهمیت توزیع مناطق سبز را در همسایگی‌های ویژه ارزیابی می‌کند (Li & et-al, 2014).

۲-۲-۳- شاخص مجاورت با فضاهای سبز (BPGI)

از دیدگاه لی^۱ و همکاران (۲۰۱۴)، شاخص‌های سبزی‌نگی به‌دست‌آمده تا آن زمان تنها به ترتیبات فضایی و مجاورت فضاهای سبز در یک بخش مساحی توجه داشتند و مطالعه‌ای نبوده که مجاورت شهروندان در سطوح ساختمانی نسبت به فضاهای سبز شهری را ارزیابی کند. همچنین، مطالعه‌ای درخصوص گسترش شاخص‌های سبز شهری وجود نداشته است که با بهره‌گیری از تکنولوژی جدید سنجش- داده لیدار- بتواند ساختمان‌ها و محدوده‌ی تقریبی بیرونی آن‌ها را به‌درستی به‌کمک ابرهای نقطه‌ای بسیار متراکم تولیدشده با اسکنرهای لیزری هوایی شناسایی کند. داده‌های لیدار توان اندازه‌گیری مستقیم ارتفاع درختان را دارند و از این جهت درمقایسه با سایر داده‌های سنجش‌ازدور دارای عملکرد بهتری هستند (شمس‌الدینی، ۱۳۹۶). این مطالعه مشارکت جدیدی را در دو وجه انجام داده است: ۱. ارزیابی مجاورت ساکنین در سطح ساختمانی نسبت به فضاهای سبز شهری با تحلیل فضاهای سبز در همسایگی

1. Li

ساختمان و ۲. یکپارچه‌سازی داده‌های لیدار با وضوح بالا؛ دیگر شبیه‌ساز کامپیوتری چندطیفی و آنالیز GIS برای انجام ارزیابی (Li & et-al, 2014). این تحقیق یک مطالعه‌ی جست‌وجوگرایانه درزمینه‌ی مجاورت ساختمان‌ها با فضاهای سبز در محیط‌های شهری است (Ibid). روش انجام کار شامل دو بخش است: ۱. طبقه‌بندی فضاهای سبز و ساختمان‌ها به کمک تکنیک‌های سنجش‌ازدور (شبیه‌ساز چندطیفی و داده‌های لیدار) و ۲. تحلیل مجاورت فضایی ساختمان‌ها به فضاهای سبز به کمک توابع تحلیلی GIS. بخش اول روشی شیء‌گرا است و پس از آن «شاخص مجاورت با فضاهای سبز» (BPGI) با نقشه‌های ساختمانی و پوشش گیاهی به‌دست‌آمده در GIS پیشنهاد شد. در این صورت، چنین شاخصی روشی عینی برای ارزیابی مجاورت شهروندان با فضاهای سبز مجاورشان به حساب می‌آید (Ibid). برای تولید نقشه‌ی فضاهای سبز در همسایگی ساختمانی، فضاهای سبز موجود در محدوده‌ی ۲۰ متری از مرز هر ساختمان به‌عنوان فضاهای سبز در همسایگی ساختمانی طبقه‌بندی شدند و نقشه‌ی نهایی از همپوشانی محدوده‌ی حریم هر ساختمان نسبت به نقشه‌ی پوشش گیاهی این تحقیق به‌دست آمد. BPGI در اینجا به‌عنوان نسبت منطقه‌ی فضاهای سبز همسایگی به کل محدوده‌ی حریم یک ساختمان تعریف شده است و چنین نسبتی لزوماً یک درصد است (یعنی درصد فضاهای سبز همسایگی حساب‌شده برای کل محدوده‌ی حریم یک ساختمان). BPGI برای هر ساختمان از رابطه‌ی ۳ محاسبه می‌شود:

$$BPGI_i = \frac{BNGS-area_i}{Non-building-area_i} \quad \text{رابطه‌ی ۳:}$$

$BNGS - area_i$ مساحت فضاهای سبز همسایگی ساختمانی نسبت به ساختمان نام است که n تعداد ساختمان‌های موجود در این تحقیق و i ($i = 1$ to n) مساحت محدوده‌ی حریم ساختمان نام بدون مساحت ساختمان‌ها است (Li & et-al, 2014). حد بالا و پایین مقدار BPGI به ترتیب ۱ و ۰ است. چنانچه هیچ فضای سبز همسایگی در محدوده‌ی حریم ساختمانی وجود نداشته باشد، مقدار BPGI صفر است و اگر محدوده‌ی حریم مملو از فضاهای سبز باشد، مقدار BPGI یک می‌شود. مقادیر بالاتر BPGI برای منطقه‌ی مسکونی نسبت به مرکز شهر در این تحقیق نشان‌دهنده‌ی همین مطلب است. شاخصی همچون

1. Building's Proximity to Green spaces Index

BPGI نه تنها فضاهای سبز را در سطح ساختمانی اندازه می‌گیرد، ممکن است برای ارزیابی فضاهای سبز در سطح منطقه‌ای و یا حتی شهری به کار رود. همچنین، با وجود زمین‌های محدود در مناطق شهری، با در اختیار قرار دادن این شاخص به برنامه‌ریزان شهری می‌شود میزان مجاورت شهروندان به فضاهای سبز را به حداکثر رساند.

۳-۳-۳- ارزیابی شاخص سبزی‌نگی در مقیاس خیابانی

۳-۳-۱- شاخص دید سبز (GVI)

یانگ^۱ و همکاران (۲۰۰۹) دغدغه‌ی میزان قابل‌رؤیت بودن سبزی‌نگی را در عنوان «جنگل‌های شهری^۲» دارند. جنگل‌های شهری آن‌ها شامل درختان، بوته‌ها و چمن است. از نظر آن‌ها، دید پرسپکتیوی به جنگل‌های شهری از عکس‌های هوایی و تصاویر ماهواره‌ای که صرفاً تاج درختان را نشان می‌دهند مهم‌تر است. می‌توان توده‌ی درختانی را دید که هرچند میزان پوشش تاج آن‌ها یکی است، تفاوت معناداری در ظاهر از نگاه انسانی دارند. بنابراین، محققان در این تحقیق «شاخص دید سبز^۳» (GVI) را با دغدغه‌ی نگاه انسانی ارزیابی کردند. البته از عکس‌های هوایی رنگی برای کسب اطلاعات پوشش زمین استفاده شد و تحلیل تصویری شیء‌گرا نیز برای طبقه‌بندی عکس به طبقات مختلف پوشش زمین به کار رفت. در این مطالعه، ارزیابی شاخص دید سبز با بررسی میزان پوشش سبز اشغال‌شده در عکس‌های تهیه‌شده از تقاطع‌های خیابانی سایت موردنظر انجام شد که تعداد و مکانشان با رویکرد نمونه‌برداری تصادفی مشخص شده بود. در این مرحله، ارزیابی به کمک نرم‌افزار فوتوشاپ ۷ صورت گرفت؛ به این صورت که برای به دست آوردن نسبت سبزی‌نگی هر تصویر، تعداد پیکسل‌های مشخص‌کننده‌ی رنگ سبز متعلق به شاخ و برگ درختان، بوته‌ها، نرم‌ساقه‌ها و گیاهان علف‌مانند بر تعداد کل پیکسل‌های تصویر تقسیم شد. میانگین چهار نسبت از چهار تصویر یک تقاطع، شاخص دید سبز آن تقاطع به حساب آمد و درکل، شاخص دید سبز سایت مورد مطالعه (شهر برکلی^۴) به صورت میانگین وزن‌یافته از مقادیر دید سبز با رابطه‌ی ۴ محاسبه شد.

$$\bar{y}_s = \sum_{i=1}^k \frac{N_i \bar{y}_i}{N} \quad \text{رابطه‌ی ۴:}$$

1. Yang
2. urban forests
3. Green View Index
4. Berkeley

در این رابطه، \bar{s}_i متوسط شاخص دید سبز در کل شهر، N_i تعداد تقاطع‌ها در سرشماری مربوط به قطعه‌ی i ، \bar{i}_i مقدار شاخص دید سبز از سرشماری مربوط به قطعه‌ی i و N تعداد کل تقاطع‌ها در شهر برکلی است (Yang & et-al, 2009). بررسی شاخص دید سبز به‌تنهایی و در ارتباط با دیگر متغیرها نشان داد که تفاوت اصلی این شاخص با شاخص‌های دیگر در اندازه‌گیری مقطع عمودی جنگل‌های شهری است؛ درحالی که دیگر شاخص‌ها تنها جنگل‌های شهری را از دید بالا اندازه‌گیری کردند.

۲-۳-۳- دید خیابانی گوگل (GSV)

لی و همکاران (۲۰۱۵) با دغدغه‌ی اهمیت سبزی‌نگی قابل‌رؤیت خیابان‌ها در کیفیت بصری منظر شهری علاوه بر مزایای زیست‌محیطی آن‌ها، به کاوش و بررسی درزمینه‌ی ابزار ارزیابی سبزی‌نگی شهری در سطح خیابان اقدام کردند؛ مانند تلاش یانگ و همکاران (۲۰۰۹) برای ارزیابی جنگل‌های شهری. نتایج به‌دست‌آمده نشان داد که شاخص پیشنهادی آن‌ها شاخص مؤثر و کارایی در ارزیابی تأثیرات بصری تمرین‌های مختلف مدیریتی و برنامه‌ریزی برای جنگل‌های شهری بوده است (Li & et-al, 2015). با این‌حال، این نقص وجود داشت که جمع‌آوری داده‌ها و فرآیندهای پردازش در مطالعه‌ی آن‌ها خسته‌کننده و وقت‌گیر بود؛ زیرا تمام جریان کار به‌صورت دستی بود و به‌دلیل این محدودیت، این شاخص تنها برای مناطق کوچک کاربرد داشت. از طرف دیگر، باوجود شکل‌گیری ادراک مردم نسبت به محیط پیرامونشان به‌واسطه‌ی دید نیم‌کره‌ای (Asgarzadeh & et-al, 2012)، یانگ و همکاران (۲۰۰۹) تنها به تصاویر گرفته‌شده در چهار جهت اصلی جغرافیایی اکتفا کردند که زمینه‌ی دید کره‌ای یک ناظر را پوشش نمی‌داد (Li & et-al, 2015). در راستای برطرف کردن این مشکلات، لی و همکاران (۲۰۱۵) از تصاویر «دید خیابانی گوگل» (GSV) استفاده کردند که مشابه همان دیدی است که عابرین در پیاده‌روها هنگام پیاده‌روی و یا روی دوچرخه‌ها و یا در ماشین‌ها دارند. با اتصال عکس‌ها به یکدیگر، تصاویر GSV یک تصویر ۳۶۰ درجه‌ی پیوسته از یک چشم‌انداز خیابانی را ایجاد می‌کنند (Ibid). طبق گفته‌ی این محققین، هیچ تحقیق مکتوبی را مبنی بر استفاده از تصاویر GSV برای ارزیابی سبزی‌نگی خیابان و طراحی شهری

1. Google Street View

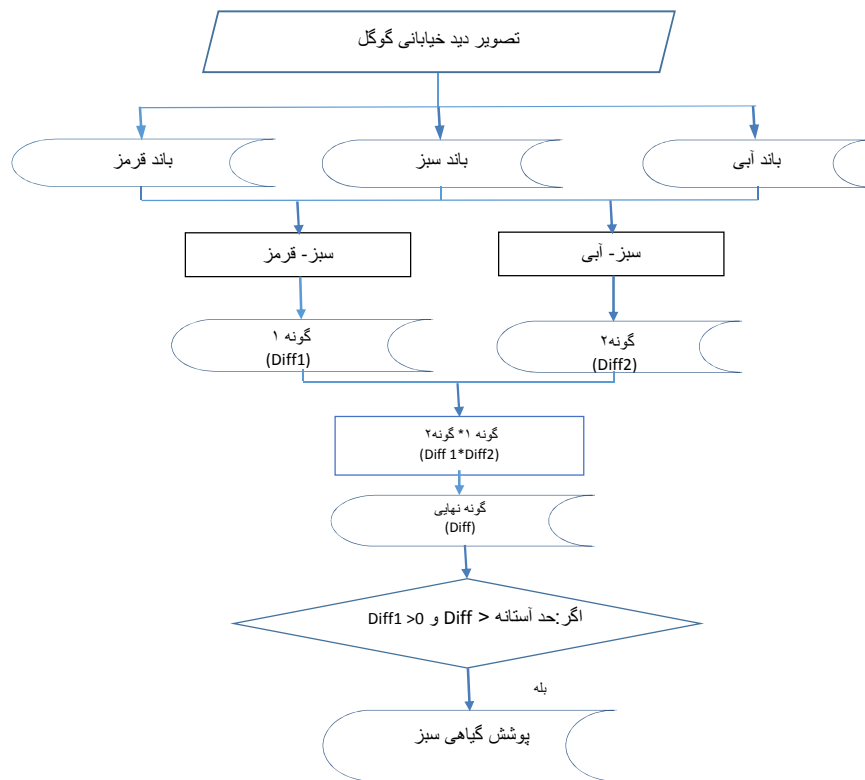
نیافته‌اند و تصمیم دارند ببینند که آیا کاربرد تصاویر GSV با بهره‌گیری از GVI اصلاح‌شده برای ارزیابی سبزینگی خیابان با دید ناظر، برپایه‌ی مطالعات پیشنهادی مؤثر خواهد بود یا نه. در این راستا، تهیه‌ی عکس‌های GSV با درخواست سفارش به فرم HTTP URL با ویژگی‌های موردنظر همچون اندازه، موقعیت، جهت^۱ (جهت قطب‌نمای دوربین بین ۰ تا ۳۶۰ درجه)، درجه‌ی ارتفاعی^۲ (زاویه‌ی بالا یا پایین دوربین نسبت به دید خیابانی) و محدوده‌ی افقی دید^۳ (معمولاً ۶۰ درجه) امکان‌پذیر شد. در این تحقیق، برای محاسبه‌ی مناطق سبزی که یک عابر پیاده می‌تواند ببیند، تصاویر GSV در ۶ جهت افقی و ۳ زاویه‌ی دید عمودی گرفته شدند. از ۳۰۰ عکس انتخابی، ۴۲ عکس که به فصل زمستان متعلق بودند حذف شدند و درنهایت از ۲۵۸ عکس استفاده شد. برای استخراج پوشش سبز از تصاویر، مسئله‌ی حساسیت به باندهای چندطیفی مطرح می‌شود. برخلاف تصاویر به‌دست‌آمده از سنجنش‌ازدور چندطیفی که نسبت به باندهای نزدیک مادون قرمز بازتاب بالایی دارند و نسبت به باند قرمز جذب بالا، تصاویر GSV تنها باندهای قرمز، سبز و آبی را پوشش می‌دهند و باند نزدیک مادون قرمز برایشان در دسترس نیست. باتوجه به این مسئله، محققین یک روش طبقه‌بندی خودکار کنترل‌نشده را برای استخراج پوشش سبز از تصاویر GSV در نظر گرفتند. این روش همان استخراج پیکسل‌های مربوط به پوشش سبز است. براساس قانون بازتاب بالای پوشش سبز نسبت به طیف سبز و بازتاب پایین نسبت به طیف‌های قرمز و آبی، دو گونه‌ی مختلف تصویر، یکی با حذف طیف قرمز از طیف سبز و دیگری با حذف طیف آبی از طیف سبز، به‌دست آمدند. سپس دو تصویر مختلف در قالب یک تصویر در هم ادغام شدند. باتوجه به مقادیر بازتاب بالاتری که پوشش سبز در طیف سبز نسبت به دو طیف دیگر از خود نشان می‌دهند، پیکسل‌های پوشش سبز در تصویر نهایی عموماً مقادیر مثبت دارند و پیکسل‌های با ارزش کمتر در طیف سبز نسبت به دو طیف دیگر مقادیر منفی را نشان می‌دهند. به این ترتیب، طبق روند کاری مشخص‌شده در شکل ۴، طبقه‌بندی اولیه‌ای بر مبنای پیکسل از تصاویر شکل گرفت. پس از این مرحله، نوبت به محاسبه‌ی پیکسل‌های سبز به کل پیکسل‌های تصاویر می‌رسد. محققان این تحقیق با قبول داشتن روش یانگ و همکاران (۲۰۰۹)، درصد اصلاح و تکمیل رابطه‌ی محاسباتی شاخص دید سبز آن‌ها (GVI) برآمدند و رابطه‌ی ۵ را پیشنهاد دادند:

1. heading
2. pitch
3. fov

$$\text{رابطه‌ی ۵: } \text{Green View} = \frac{\sum_{i=1}^6 \sum_{j=1}^3 \text{Area}_{g-ij}}{\sum_{i=1}^6 \sum_{j=1}^3 \text{Area}_{t-ij}} \times 100$$

تفاوت این رابطه با رابطه‌ی GVI در تعداد عکس‌ها در زوایای بیشتر است. در این تحقیق، برای هر دید از ۶ تصویر در راستای افقی که در مجموع محیط ۳۶۰ درجه را پوشش می‌دهند و ۳ تصویر با زاویه‌ی عمودی (پوشش‌دهنده‌ی ۱۸۰ درجه) برای ارائه‌ی مؤثرتر پوشش سبز دیده‌شده از سوی عابرین در نظر گرفته شد. به همین دلیل، این شاخص اصلاح‌شده در واقع ۱۸ تصویر را برای هر دید محاسبه می‌کند. در این فرمول، Area_{g-ij} تعداد پیکسل‌های سبز در یکی از آن تصاویر گرفته‌شده در ۶ جهت با سه زاویه‌ی عمودی (۹۴۵، ۰، ۹۴۵) برای یک دید است و Area_{t-ij} تعداد کل پیکسل‌ها در یکی از ۱۸ تصویر (Li & et-al, 2015) GSV. برای اعتبارسنجی صحت استخراج نتایج طبقه‌بندی‌شده‌ی خودکار کنترل‌نشده، از نرم‌افزار Photoshop 7.01 برای استخراج دستی پوشش سبز استفاده شد و نتایج نشان داد که GVI به‌دست‌آمده در هر دو روش کاملاً به هم شبیه هستند. در مقایسه‌ی شاخص دید سبز قبلی (به‌دست‌آمده از تحقیق یانگ و همکاران) در رابطه‌ی ۵ و رابطه‌ی ۶ که همان شاخص دید سبز اصلاح‌شده است، نتایج نشان داد که مقدار به‌دست‌آمده از شاخص اصلاح‌شده در اکثر موارد کمتر از شاخص اولیه است و تنها در ۵۸ نمونه از ۲۵۸ نمونه، مقدار شاخص اصلاح‌شده بیشتر است. علت اصلی این تفاوت علاوه بر پوشش ۳۶۰ درجه‌ی دید افقی شاخص اصلاح‌شده، این است که این شاخص سه زاویه‌ی دید عمودی (۴۵ درجه، ۰ درجه و ۴۵ درجه) را نیز پوشش می‌دهد؛ برخلاف شاخص اولیه که تنها زاویه‌ی ۰ درجه را در نظر می‌گرفت. بنابراین، شاخص اولیه نمی‌توانست دیدهای روبه‌بالا و روبه‌پایین نگاه عابرین را در نظر بگیرد و متعاقباً برخی از مناطق در حوزه‌ی دید عابرین را از دست می‌داد و بازگوکننده‌ی مقدار واقعی سبزی‌نگی موجود در آن دیده‌ها نبوده است.

$$\text{رابطه‌ی ۶: } \text{Green View} = \frac{\sum_{i=1}^4 \text{Area}_{g-i}}{\sum_{i=1}^4 \text{Area}_{t-i}} \times 100\%$$



شکل ۴: روند کاری برای استخراج پوشش گیاهی سبز از تصاویر GSV

Figure 4: The workflow for green vegetation extraction from GSV images (Li & et-al, 2015)

۳-۴- ارزیابی شاخص سبزی‌نگی در مقیاس ساختمانی

۳-۴-۱- شاخص دید سبز طبقاتی (FGVI)

یو^۱ و همکاران (۲۰۱۶) با حساسیت به مانع بودن ساختمان‌های بلند ناگزیر از رشد عمودی شهرها درمقابل فضاهای سبز شهری و اهمیت دستیابی به تأثیرات روان‌شناختی ماندگار، واقعی

و چشمگیر ناشی از رؤیت سبزی‌نگی که هر روزه از سوی شهروندان دیده و یا لمس می‌شود، به تعیین شاخصی با قابلیت اندازه‌گیری میزان فضاهای سبزی اقدام کرده‌اند که مردم از طبقات ساختمان‌های شهری می‌توانند ببینند. برای محاسبه‌ی این شاخص، از سه گونه از مجموعه‌ی داده‌ها استفاده شد که عبارت‌اند از: ۱. توزیع پوشش گیاهی برای محاسبه‌ی مساحت پوشش گیاهی قابل‌رؤیت، ۲. «مدل سطحی دیجیتال»^۱ (DSM) برای به‌دست آوردن توپوگرافی زمین منطقه‌ی مطالعاتی و ۳. مدل‌های سه‌بعدی ساختمانی برای به‌دست آوردن ریخت‌شناسی سه‌بعدی و مشخص کردن نقطه‌ی دید برای هر طبقه. به این ترتیب، سه مرحله‌ی عملیاتی برای محاسبه‌ی این شاخص به این صورت تقسیم‌بندی شد: ۱. به‌وجود آوردن نقاط دید و مشخص کردن سطح دید هر طبقه، ۲. عملیات تحلیل نقاط دید و خروجی گرفتن از فضاهای سبز شهری قابل‌رؤیت و ۳. برآورد «شاخص دید سبز طبقاتی»^۲ (FGVI). توزیع پوشش گیاهی از طریق تصاویر هوایی نزدیک مادون قرمز با وضوح بالا و فرمول NDVI به‌دست آمد و مدل سطحی دیجیتال و مدل‌های سه‌بعدی ساختمانی نیز در این تحقیق به‌کمک LiDAR به‌دست آمدند. به‌کمک LiDAR و حذف موارد اضافه از DSM، DSM نرمال‌شده (nDSM) به‌دست آمد که مشخص‌کننده‌ی ارتفاع اشیاء زمینی، شامل ساختمان‌ها و گیاهانی است که بالای سطح زمین رشد کرده‌اند. برای تهیه‌ی مدل‌های سه‌بعدی ساختمانی، تأثیر پوشش گیاهی به‌واسطه‌ی پنهان کردن آن از nDSM اصلی حذف شد و مقادیر ارتفاعی باقی‌مانده در nDSM نهایی نمایش‌دهنده‌ی سطوح غیرپوشش گیاهی هستند که به‌عنوان مدل سه‌بعدی ساختمانی در این تحقیق استفاده شدند. با استفاده از مدل‌های ساختمانی و مشخص کردن ارتفاع پایه و همچنین تعیین گونه‌های ساختمانی (مسکونی و تجاری)، ارتفاع طبقاتی به‌طور متوسط ۳ متر برای بخش مسکونی و ۳.۶ متر برای بخش تجاری تعیین شد. سپس محدوده‌های ساختمانی برای هر طبقه تعیین شدند و جایگاه نقاط دید در یک بالکن فرضی روی محدوده‌ی طبقاتی هر ساختمان با فواصل ۵ متر از یکدیگر درنظر گرفته شد و شاخص نهایی در هر طبقه جمع شاخص‌ها در ۵ نقطه‌ی دید درنظر گرفته شد. درنهایت، به‌اتفاق داده‌های به‌دست‌آمده از توزیع پوشش گیاهی، نقاط دید پوشش گیاهی برای هر نقطه‌ی مکانی ناظر گسترش یافت که شامل سلول‌های قابل‌مشاهده براساس گونه‌ی پوشش گیاهی بوده‌اند. در سال‌های اخیر، الگوریتم‌های مختلفی برای به‌دست آوردن نقاط دید پیشنهاد شده‌اند که در این مدل، از الگوریتم نقطه‌ی

1. Digital Surface Model
2. Floor Green View Index

دید ArcGIS 10.1 استفاده شد. پس از انجام این مراحل، شاخص اصلی FGVI و نیز چندین شاخص دیگر برپایه‌ی آن شکل گرفت؛ از جمله «شاخص جهت‌دار دید سبز طبقاتی»^۱ (DFGVI) که میزان فضای سبز شهری قابل‌رؤیت را در هر جهت از یک طبقه نشان می‌دهد، «شاخص سراسری دید سبز طبقاتی»^۲ (TFGVI) که قابلیت کلی ساختمان را در دیدن پوشش گیاهی شهری به‌واسطه‌ی ارزیابی مجموع مقادیر شاخص کل طبقات ارائه می‌کند و «شاخص متوسط دید سبز طبقاتی»^۳ (AFGVI) که هنگام وجود تغییرات در ارتفاع یک ساختمان به‌کار می‌آید (Yu & et-al, 2016). محاسبه‌ی FGVI از طریق رابطه‌ی زیر است:

$$FGVI_j = \sum_{i=1}^t S(GV_i) \quad \text{رابطه‌ی ۷:}$$

FGVI_j شاخص دید سبز طبقاتی طبقه‌ی jام ساختمان، GV_i زاویه‌ی jام فضای سبز قابل‌رؤیت از طبقه‌ی jام، S(.) اندازه‌ی زاویه‌ی دید و t تعداد کل زوایای دید نسبت به فضای سبز قابل‌رؤیت است (Yu & et-al, 2016).

نتایج نشان داد همان‌طور که انتظار می‌رفت طبقات بالاتر مقادیر بیشتری از شاخص دید سبز طبقاتی را به خود اختصاص دادند. نکته‌ی جالب این است که از طبقه‌ی ۴۶ به بالا عدد شاخص کم می‌شود و دلیل آن کاهش مساحت طبقات فوقانی است که باعث می‌شود طبقات گسترده‌ی پایینی همچون مانعی برای دیدن فضاهای سبز مجاور ساختمان عمل کنند. شکل ناهموار طبقات فوقانی ممکن است دلیل اصلی کاهش میزان این شاخص باشد (Ibid). شاخص دید سبز طبقاتی جهت‌دار درمقایسه با شاخص دید سبز طبقاتی تغییراتی را در طبقات مختلف و جهات مختلف نشان می‌دهد. با این حال، در حالت کلی، این شاخص نیز با افزایش طبقات نمایانگر عدد بیشتری برای شاخص مربوطه است؛ به‌ویژه برای زوایای بین ۱۸۰ و ۲۷۰ درجه و بین ۲۷۰ و ۳۶۰ درجه که رشد شاخص شتاب بیشتری دارد. گفتنی است که ویژگی‌های ساختمانی و توزیع پوشش گیاهی از عوامل اساسی اثرگذار بر مقدار FGVI هستند؛ چنانکه ارتفاع کف طبقات تأثیر مثبتی بر گسترده کردن افق و کاهش موانع در چشم‌اندازها دارد و توزیع فضایی و جهت‌گیری ساختمان‌ها نیز بر میزان شاخص سبز اثرگذار است. بنابراین، ساختمان‌های موجود در همسایگی با فضاهای باز بیشتر و تراکم ساختمانی کمتر به مقادیر

1. Directional Floor Green View Index
2. Total Floor Green View Index
3. Average Floor Green View Index

بالاتر TFGVI و AFGVI منجر می‌شوند. جانمایی و شکل پوشش گیاهی نیز تأییراتی بر شاخص‌های سبز دارد. برای مثال، درختانی با تاج‌های گسترده‌تر و جمع‌شده در قالب گروه‌ها و در فاصله‌ی نزدیک‌تر توجه بیشتر ناظرین را به خود جلب می‌کنند.

۲-۴-۳- شاخص سبز بصری ساختمان (BVGI)

وانگ^۱ و همکاران (۲۰۱۸) در تحقیقی با رویکردی نسبتاً مشابه، «شاخص سبز بصری ساختمان» (BVGI) را برای ارزیابی دید به فضای سبز از ساختمان‌های بلندمرتبه گسترش دادند. اهمیت این تحقیق در نحوه‌ی محاسبه‌ی مقدار BVGI است که به دلیل وابستگی به ارتفاع ساختمان بدون لحاظ کردن یک مقدار واحد برای کل ساختمان، برای هر طبقه فوق طبقه‌ی دیگر محاسبه شده و به این ترتیب، نتایج داده‌های جزئی هستند که ممکن است برای ارزیابی و سنجش کمیت فضای سبز قابل‌رؤیت از ساختمان‌ها سودمند باشند. در این تحقیق، برای استخراج اندازه‌ی ارتفاع ساختمان و میزان پوشش گیاهی از داده‌های ماهواره‌ای سنجش‌ازدور چینی GF-2 استفاده شد. باندهای قرمز، سبز و نزدیک مادون قرمز از تصاویر چندطیفی برای اندازه‌گیری مناطق ساختمانی و پوشش گیاهی به کار رفتند و از باند چهارم (پانکروماتیک امتری) برای استخراج سایه‌های ساختمانی استفاده شد. اولین مرحله‌ی روش‌شناختی این تحقیق طبقه‌بندی ساختمان‌ها و فضاهای سبز بود. برای این طبقه‌بندی، روش تحلیلی تصویری شیء‌گرا به کار رفت. این روش برخلاف روش پیکسلی که دقت پایینی در پروسه‌ی طبقه‌بندی تصاویر با وضوح بالای سنجش‌ازدور داشت، برای این رویکرد مناسب بود؛ زیرا اطلاعات زیادی، شامل عوارض فضایی چون شکل، بافت، توپولوژی و نسبت همجواری از اشیاء تصویری آن استخراج می‌شود. قطعه‌بندی تصویری در این رویکرد به کمک الگوریتم قطعه‌بندی چندوضوحه در نرم‌افزار eCognition 9.0 انجام شد. در اولین مرحله، فضاهای سبز و غیرسبز از طریق داده‌های به‌دست‌آمده از نسبت میان باند سبز و روشنایی کلی استخراج شدند (Wang & et-al, 2018). شاخص NDVI همانند تحقیق‌های پیشین محاسبه شد و مناطق غیرسبز نیز خود به زیرمجموعه‌هایی تقسیم شدند که عبارت‌اند از: مناطق سایه‌خور از ساختمان‌ها، بام‌های روشن و بام‌های تاریک ساختمانی. در مرحله‌ی بعد، ارتفاع ساختمان به کمک سایه‌های ساختمانی و نسبت مثلثاتی میان طول سایه و ارتفاع ساختمانی برآورد شد و

1. Wang
2. Building visual green index

به این ترتیب، مقدمات محاسبه‌ی شاخص سبز بصری ساختمان (BVGI) فراهم شد. این شاخص به فضاهای سبزی اشاره دارد که در فاصله‌ی مشخصی نسبت به ساختمان‌ها قرار گرفته‌اند و از آنجا قابل‌رؤیت هستند و از آنجا که ساکنین ساختمان‌ها در طبقات مختلفی سکونت دارند و استقرار در هر طبقه پرسپکتیو مخصوص به خود را دارد، این شاخص قرار است فضای سبز قابل‌رؤیت هر طبقه را نسبت به طبقه‌ی دیگر محاسبه کند (Wang & et-al, 2018). برای این منظور، نقشه‌ی فضای سبز بصری برای هر طبقه لازم بود که برای رسیدن به این هدف نقشه‌های نقاط دید ساختمانی هر طبقه با نقشه‌ی پوشش گیاهی همپوشانی شد و پس از کاستن نقشه‌های نقاط کور هر طبقه، نقشه‌ی فضاهای سبز بصری هر طبقه به دست آمد. نقشه‌های نقاط دید ساختمانی از مدل تحلیلی نقاط دید^۱ ArcGIS، نقشه‌ی نقاط کور^۲ از تحلیل حریم^۳ ArcGIS و نقشه‌ی پوشش گیاهی از طبقه‌بندی الگوریتم نرم‌افزار eCognition به دست آمدند. عدد BVGI با عنوان نسبت مساحت فضای سبز بصری ساختمانی تعریف شد که به صورت درصد فضای سبز محیط پیرامونی نسبت به کل منطقه‌ی قابل‌رؤیت از ساختمان بیان می‌شود (Ibid).

$$BVGI_i = \frac{1}{m} \sum_{k=3 \dots m} BVGI_{ik} = \frac{1}{m} \sum_{k=3 \dots m} \sum_{j=1 \dots 3} W_j \times p_{ijk} \quad \text{رابطه‌ی ۸}$$

$BVGI_i$ شاخص سبز بصری ساختمان از ساختمان i (به طوری که $i = 1-n$ و n تعداد ساختمان‌ها در منطقه‌ی مورد مطالعه است) و $BVGI_{ik}$ شاخص سبز بصری ساختمان متعلق به طبقه‌ی k از ساختمان i است ($k = 3-m$ و m تعداد طبقات موجود در ساختمان است) (Ibid). از مشخصه‌های این تحقیق در نظر گرفتن فاصله‌ی حریم از ساختمان مورد مطالعه است که این فواصل براساس طبقه‌بندی فضاهای سبز در محدوده‌ی ۶۰۰ متری از ساختمان به سه دسته‌ی فاصله‌ی ۰-۹۹ متر، فاصله‌ی ۱۰۰-۲۹۹ متر و فاصله‌ی ۳۰۰-۵۹۹ متر تقسیم شدند. برای W_j ، به ترتیب مقادیر مشخص ۰.۳۴، ۰.۲۶ و ۰.۲۱ برای دسته‌های ذکر شده در نظر گرفته شد و مقدار p_{ijk} از رابطه‌ی ۹ به دست آمد:

$$P_{ijk} = \frac{BVGS_{area_{ik}}}{buffer_{area_{ijk}}} \quad \text{رابطه‌ی ۹}$$

1. viewshed analysis model
2. blind zone map
3. buffer analysis

در رابطه‌ی ۸، $BVGS_{area_{ik}}$ مساحت فضاهای سبز بصری ساختمان متعلق به طبقه‌ی k از ساختمان i است که از رابطه‌ی ۱۰ نیز به دست می‌آید:

$$BVGS_{area_{ik}} = BVGS_{ik} - BNS_{floor_{ik}} \quad \text{رابطه‌ی ۱۰:}$$

$BVGS_{ik}$ مساحت فضاهای سبز بصری ساختمان متعلق به طبقه‌ی k از ساختمان i (شامل منطقه‌ی کور) و $BNS_{floor_{ik}}$ مساحت منطقه‌ی کور برای طبقه‌ی k از ساختمان i است که از تحلیل حریم در ArcGIS 10.3 به دست آمد (Ibid). محدوده‌ی بالا و پایین BVGI به ترتیب ۱ و ۰ است؛ یعنی اگر در محدوده‌ی حریم ساختمانی هیچ فضای سبز قابل‌رؤیتی وجود نداشته باشد، BVGI صفر و اگر محدوده‌ی حریم مملو از فضای سبز قابل‌رؤیت باشد، BVGI یک خواهد بود. نتیجه‌ی به دست آمده از مناطق مختلف حریم نشان داد که طبقات بالاتر مقدار BVGI کمتری دارند. یکی از دلایل این موضوع این است که مزایای فضاهای سبز با افزایش فاصله کاهش می‌یابد؛ زیرا فضاهای سبزی که در فاصله‌ی دورتر قرار گرفته‌اند سهم کمتری در BVGI دارند و از طرف دیگر، کسانی که در طبقات بالاتر زندگی می‌کنند هنگام نگاه کردن از پنجره به پایین، نقاط کور بزرگ‌تری دارند و به همین دلیل، احتمال دیدن فضاهای سبز برای آن‌ها کمتر می‌شود. از دیگر نتایج این تحقیق تفاوت دو شاخص BVGI و GI است که با وجود شباهت عدد GI برای تمام طبقات، عدد BVGI برای هر طبقه متمایز است که نشان‌دهنده‌ی دقت این شاخص به‌ویژه برای ساختمان‌های بلندمرتبه است (Ibid).

۴- بحث و نتیجه‌گیری

باتوجه به نمونه‌های موردی مطرح‌شده در بخش روش‌ها، درمی‌یابیم که با پیشرفت تکنولوژی و علم روز، متدهای مختلف و جامع‌تری که خود تشکیل‌شده از ترکیب چندین روش هستند، برای تعیین شاخص‌های سبزی‌نگی با اهداف مختلف کاربرد یافته‌اند. نخستین شاخص‌های فضای سبز قبل از استفاده از تصاویر با وضوح بالای به دست‌آمده از سنجش‌ازدور، تنها از طریق پیمایش زمینی امکان‌پذیر بوده‌اند؛ مانند محدوده‌ی مساحت گیاهی و نسبت پوشش سبز (Huang & Chen, 1970; Kinerson, 1975). تصاویر با وضوح پایین به دست‌آمده از حسگرهای ماهواره‌ای سنجش‌ازدور تعیین مناسب فضاهای سبز را در مقیاس جامعه با مشکل مواجه می‌کردند. با گسترش وضوح فضایی تصاویر ماهواره‌ای سنجش‌از راه دور، تصاویر با وضوح بالای سنجش‌ازدور، همچون Quickbird و IKONOS برای اندازه‌گیری مناطق فضای سبز در یک

مقیاس جامعه‌ای به کار رفتند (Mynit & et-al, 2011) و از این طریق شاخص‌های زیادی برای اندازه‌گیری مناطق سبز پیشنهاد شدند. شاید یکی از مهم‌ترین و پرکاربردترین این شاخص‌ها NDVI باشد که همچنان در بسیاری از تحقیقات به‌عنوان یک میزان و معیار پایه برای تعیین مناطق سبز نسبت به غیرسبز کاربرد دارد و به‌صورت مستقل نیز در تحقیقات محققینی چون Kogan (۱۹۹۵) با دغدغه‌ی تعیین خشکسالی مؤثر بوده است. از دیگر عوامل تأثیرگذار بر خروجی‌های بهتر و دقیق‌تر شاخص‌های سبز، تکنیک دریافت تصویر است که از حالت پیکسل به حالت شیء‌گرا تغییر رویه داد. از مزایای رویکرد تصویری شیء‌گرا در مقایسه با رویکرد برمبنای پیکسل این است که برخلاف رویکرد مبتنی بر پیکسل که نمی‌تواند انتظارات لازم را برای طبقه‌بندی‌های مناسب برآورده کند، رویکرد شیء‌گرا در تحلیل خودکار و نیمه‌خودکار برنامه‌های سنجش‌ازدور مفید است و در این فرآیند، سیستم‌های طبقه‌بندی برپایه‌ی اشیاء به‌راحتی بین مناظر (صحنه‌ها) مختلف قابل‌انتقال هستند. همچنین، بخش منطقه-رشدکننده^۱ (از تکنیک‌های قطعه‌بندی) که از الگوریتم‌ها بهره می‌برد می‌تواند اطلاعات معنایی مهمی را ارائه کند که برای تفسیر یک عکس لازم است؛ چیزی که در پیکسل‌های منفرد ممکن نیست (Schöpfer & et-al, 2005). کاربرد مؤثر این روش در تحقیق شاپفر و همکاران دیده می‌شود؛ به‌طوری که طبقه‌بندی مناطق مختلف شهری و در حالتی جزئی‌تر، طبقه‌بندی اشکال مختلف پوشش گیاهی، براساس این فرآیند شکل گرفت. مسئله‌ی قابل‌توجه دیگر از نظر متدولوژی در این مطالعه، ترکیب مقادیر به‌دست‌آمده از سنجش‌ازدور با نرم‌افزار GIS است که در این تحقیق به‌خوبی انجام شد و جایگاه GIS را از این پس در تحقیقات شهری بسیار محکم و اثرگذار کرد. از نظر مفهوم کاری، نکته‌ی مهم در این تحقیق رویکرد دیگرش در هدف‌گذاری نهایی‌اش است که در نظر گرفتن کیفیت سبزی‌نگی به‌عنوان یک گام بالاتر نسبت به شاخص سبزی‌نگی است؛ به این معنی که با در نظر گرفتن دو فاکتور درصد ساختمان‌های چندطبقه و فاصله‌ی متوسط میان آن‌ها در کنار فاکتور مقدار سبزی‌نگی (البته به‌صورت وزن‌یافته)، میزان تأثیرگذاری سبزی‌نگی بر حس خوب شهروندان بررسی شده و به این ترتیب، شاخص سبزی‌نگی را دارای بار معنایی از لحاظ اثربخشی در کیفیت زندگی کرده است؛ هرچند این روش در نگاهی دوبعدی در حال جست‌وجوی میزان رضایتمندی شهروندان است. در تحقیق گوپتا و همکاران (۲۰۱۲) نیز تأثیر استفاده از تکنولوژی سنجش‌ازدور و نرم‌افزار GIS البته در کنار ماهواره‌های نقشه‌کش و نرم‌افزارهای آماری برای به‌دست آوردن UNGI به‌طور مؤثر دیده می‌شود. علاوه بر تنوع ابزار

1. region-growing

ارزیابی در این تحقیق، دیگر رویکرد ارزشمند در آن پرداختن به مقوله‌ی محله و توجه به گونه‌های مختلف محله‌ای بوده است؛ زیرا محلات به‌عنوان لایه‌های کارآمد هر شهر از تجانس و همخوانی مخصوص به خود پیروی می‌کنند و پخش مناسب سبزیگی در یک محله نیز از عوامل مؤثر بر هماهنگی بیشتر است. در نظر گرفتن شبکه‌ی ۲۰*۲۰ متری به‌عنوان یک الگوی پایه برای محاسبات مقادیر پارامترهای مختلف به‌کمک GIS روش درخور توجهی بوده است؛ زیرا عملکرد تحلیل و مقایسه را میان بخش‌های مختلف ساده می‌کرد. همچنین، تراکم ساختمانی و ارتفاع منتج‌شده از آن که تأثیر مستقیمی بر سطح اشغال پوشش سبز دارد، از جمله عوامل مهم دیگری است که در این تحقیق در کنار عامل مجاورت با سبزیگی در نظر گرفته شدند. آنچه ماهیت این روش را خدشه‌دار می‌کند یکی تقسیم فضاهای شهری بر پایه‌ی یک شبکه‌ی استاندارد بدون توجه به ناهمخوانی‌های لازم در فضاهای عملکردی ساکنین و دیگری نحوه‌ی به‌دست آوردن عامل مجاورت با سبزیگی است که تنها طبق یک نقشه‌ی حریم ۲۰ متری با اطلاعات ماهواره‌ای از دید بالا به‌دست می‌آید و واقعیت اثرگذاری این عامل را که از دید ناظر است نادیده می‌انگارد. برای برطرف کردن ضعف UNGI در خصوص در نظر نگرفتن تجانس میان فضاهای عملکردی ساکنین، لی و همکاران (۲۰۱۴) با استفاده از تصاویر سنجنش‌ازدور چندطیفی و LiDAR، فضاهای سبز اطراف ساختمان‌ها را به‌وسیله‌ی BPGI اندازه گرفتند (Wang & et-al, 2018). از طریق BPGI، علاوه بر اینکه فهم عمومی از سبزیگی کلی راحت و آسان است، شدت سبزیگی برای هر ساختمان نیز قابل تشخیص است. با این حال، این شاخص تنها به فاصله‌ی میان فضاهای سبز و ساختمان‌ها توجه می‌کند؛ بدون اینکه گونه‌های مختلف ساختمانی (مسکونی، تجاری و ...)، ارتفاع ساختمان و تراکم ساختمانی را در نظر بگیرد. همچنین، ارزیابی آن از سبزیگی همچنان در سطح دوبعدی و از بالا انجام می‌شود.

از طرف دیگر، دغدغه‌ی محققین در ارزیابی میزان سبزیگی، عینی بودن و یا ذهنی بودن روش‌ها و همچنین ارزیابی آن میزان از پوشش گیاهی بوده که در زاویه‌ی دید شهروندان هر منطقه قرار می‌گرفته است. برای مثال، از آنجا که عواملی چون فاصله‌ی دید عابر نسبت به سبزیگی، موقعیت ساختمان‌ها در کنار سبزیگی، اندازه‌ی درختان شهری و نیز ساختار عمودی درختان بر میزان سبزیگی قرار گرفته در تیررس چشم عابری تأثیر می‌گذارد، ممکن است تفاوت‌های موردی گوناگونی بین آنچه ناظر در سطح زمین می‌بیند با آنچه از تصاویر ماهواره‌ای برمی‌آید وجود داشته باشد. مثلاً ممکن است تکنولوژی سنجنش‌ازدور پوشش وسیعی از درختان را تشخیص دهد؛ ولی با مراجعه به محل مذکور و نگاه از دید شاخص GVI مشخص شود که آن درختان یا در فاصله‌ی بسیار دور از ناظر قرار گرفته‌اند و یا در مقطع خیابانی ساختمان‌ها

مانع دید آن‌ها شده‌اند (Li & et-al, 2015). بنابراین، برای ارزیابی سبزی‌نگی در سطح خیابان، روشی همچون سنجش‌ازدور به‌تنهایی نمایانگر کامل و درست شاخص دید سبز در خیابان نخواهد بود و با توجه به شاخص دید سبز و این‌گونه شاخص‌ها درکنار سنجش‌ازدور می‌توان به ابهامات پاسخ داد و نتیجه‌ی کامل‌تری را بیان کرد. بنابراین، باتوجه به اینکه شاخص دید سبز (Yang & et-al, 2009) توانست به‌صورت عینی و از نگاه سه‌بعدی میزان سبزی‌نگی قرارگرفته در تیررس چشم مخاطبین را ارزیابی کند، تا آن زمان نسبت به شاخص‌های دیگر که ادراک شهروندان را بررسی کرده بودند از اولویت بیشتری برخوردار بوده است؛ زیرا برخلاف دیگر روش‌های ذهنی که با برگزاری مصاحبه‌ها و پرسشنامه‌ها ادراک شهروندان را بررسی می‌کنند، در این روش سعی شده با اندازه‌گیری ابزاری و عینی پوشش گیاهی از نگاه شهروندان و بدون دخالت حسی آن‌ها این ارزیابی انجام شود. همچنین، شکل‌گیری این شاخص به‌واسطه‌ی بهره‌مندی از شیوه‌ی نمونه‌برداری تصادفی سبب شد که عامل قیاس خوبی برای بررسی سبزی‌نگی قابل‌رؤیت در محلات و بخش‌های مختلف یک شهر نسبت به هم باشد و برتری نسبت به روش‌هایی داشته باشد که مناظری مشخص از شهر را برای ادراک شهروندان پیش روی آن‌ها قرار می‌دهند. از طرف دیگر، کاربرد این شاخص قابلیت بهره‌وری در سیاست‌های عملکردی مربوط به جنگل‌های شهری، ازجمله بررسی میزان دید سبز در ترتیبات مختلف کاشت درختان و بوته‌ها، بررسی تغییرات سبزی‌نگی قابل‌رؤیت قبل و بعد از کاشت و نیز ارزیابی تأثیرات بصری ناشی از برنامه‌های مدیریتی همچون هرس‌کاری‌ها را دارد. یکی از محدودیت‌های این روش این است که تنها برای مناظر با ساختمان‌های کوتاه‌مرتبه مناسب است و برای مناظر دارای ساختمان‌های بلندمرتبه کاربرد چندانی ندارد. از طرف دیگر، اندازه‌گیری پوشش گیاهی این روش در تقاطع‌های خیابانی ممکن است مناسب سایت موردنظر این تحقیق (شهر برکلی) باشد و برای دیگر موقعیت‌های مکانی شهری مناسب نباشد. در همین راستا و با حساسیت به ارزیابی پوشش گیاهی از دید ناظر، اما در یک زاویه‌ی گسترده‌تر و البته به‌روش عینی، لی و همکاران (۲۰۱۵) با استفاده از تصاویر دید خیابانی گوگل (GSV)، میزان پوشش گیاهی با پوشش ۳۶۰ درجه زاویه درراستای افقی و ۱۸۰ درجه زاویه درراستای عمودی را بررسی کردند. آن‌ها با پذیرش روش یانگ و همکاران (۲۰۰۹) که در یک مسیر عینی و به‌دور از موانع روش‌های ذهنی، شاخص دید سبز را از نگاه ناظر ارزیابی کرده بودند، هدف خود را اصلاح و تکمیل شاخص دید سبز بیان کردند و فرمول پیشنهادیشان را نیز بر مبنای فرمول محاسباتی آن‌ها قرار دادند. ازجمله نقاط قوت روش GSV درمقایسه با GVI علاوه بر گسترده بودن زوایای دید ناظر برای ارزیابی سبزی‌نگی در سطح خیابان، سریع بودن و خودکار بودن آن

است؛ به‌طوری که بدون اتلاف وقت و دخالت انسان برای عکس انداختن دستی، عکس‌ها به‌سرعت از وبسایت دانلود می‌شود و GSV محاسبه‌شده به‌راحتی در دسترس برنامه‌ریزان شهری قرار می‌گیرد و به این ترتیب، در تصمیم‌های مدیریتی مؤثر واقع می‌شود. یکی از محدودیت‌های تصاویر GSV این است که تنها تعداد محدودی از نقاط دید را پوشش می‌دهند و سبزی‌نگی دیده‌شده به‌واسطه‌ی آن‌ها به امکانات دوربین‌هایی محدود است که معمولاً از روی ماشین‌ها تصویربرداری می‌کنند. عامل دیگر در این راستا حساسیت طیف‌های نوری تصاویر GSV است که تنها به طیف‌های RGB حساس هستند و در این صورت، تحت‌تأثیر هرگونه عوارض سبز انسان‌ساخت نیز قرار می‌گیرند. لازم است در مطالعات تکمیلی، تقسیم‌بندی مناسبی برای عوارض غیرسبز یا انسان‌ساخت نیز انجام شود. البته در سال‌های اخیر، در برخی از مطالعات مربوط به کیفیت‌های بصری خیابانی، از تکنولوژی قطعه‌بندی تصویری معنایی پیکسل-عرضی^۱ استفاده شده است که برپایه‌ی شبکه‌های پیچیده‌ای همچون Seg Net, Yolo, DeepLab, Image Net و ... هستند. در این میان، Seg Net بسیار قوی است و به‌راحتی در وبسایت <http://mi.eng.cam.ac.uk/projects/segnet> در دسترس است. معماری شبکه‌ی عصبی پیچیده‌ی Seg Net شامل مجموعه‌ای از رمزگذارها^۲ و رمزگشاها^۳ است و به‌نظر می‌رسد اولین روش هوشمند عمیق برای پیوستن عوارض با وضوح کم به گداهای معنایی باشد (Kendall & et-al, 2015). به این ترتیب، با این رویکرد شاخص سبزی‌نگی به‌عنوان یکی از کیفیت‌های بصری خیابانی به‌راحتی قابل‌محاسبه است؛ به‌گونه‌ای که فرم درختان و دیگر پوشش‌های گیاهی حتی در فصول بدون برگ نیز قابل‌تشخیص هستند. شکل ۵ یک نمونه از قطعه‌بندی معنایی تصویر را به‌کمک Seg Net نشان می‌دهد. در مقیاس خیابانی، برخلاف رویکرد دو شاخص اخیر (GVI و GSV) که بر مبنای پوشش گیاهی دیده‌شده از سوی شهروندان در سطح زمین و به‌طور جزئی‌تر در سطح خیابان بوده است، دو شاخص BVGI و FGVI با حساسیت دیده شدن پوشش گیاهی از نگاه شهروندان در سطح ساختمانی شکل گرفتند. آنچه سبب تمایز این دو شاخص می‌شود معیارها و پارامترهای اثرگذار بر هریک از آن‌ها است؛ به‌طوری که برای شاخص BVGI نقاط کور دید هر طبقه و موقعیت مکانی ناظر در یک نقطه از طبقه (پشت پنجره) از عوامل مهم در تعیین این شاخص هستند؛ درحالی که برای شاخص FGVI چندین نقطه‌ی دید برای هر طبقه در نظر گرفته شده و تحلیل نقاط دید و استخراج

1. Pixel-width
2. encoder
3. decoder

فضاهای سبز شهری از چند زاویه‌ی دید در طبقه مهم است و نقاط کور در این تحقیق در نظر گرفته نشده است. به همین دلیل، با افزایش ارتفاع ساختمانی دو نتیجه‌ی کاملاً متفاوت برای میزان دو شاخص گرفته شد؛ اینکه با افزایش ارتفاع ساختمانی، FGVI بزرگ‌تر و BVGI کوچک‌تر می‌شود. وانگ و همکاران (۲۰۱۸) وجود نقاط کور بیشتر در طبقات بالاتر را دلیل کاهش BVGI هنگام افزایش ارتفاع بیان می‌کنند و از آنجا که این شاخص را به‌نوعی حسی و برمبنای درک مستقیم می‌دانند، تأثیر فضاهای سبز قرارگرفته در فاصله‌ی دورتر را که از طبقات بالاتر مشاهده می‌شوند، کمتر می‌پندارند و این‌گونه این کاهش میزان شاخص در ارتفاع را توجیه می‌کنند. با این حال، محققین درخصوص شاخص FGVI که تنها از ارتفاع طبقه‌ی ۴۶ به بالا با این کاهش میزان مواجه شده‌اند، تنها ویژگی‌های ساختمانی را در این کاهش مؤثر دانسته‌اند و درمقابل، افزایش فضاهای سبز قابل‌رؤیت در طبقات بالاتر را به‌دلیل گسترده‌تر شدن افق دید و کاهش موانع ساختمانی پیش‌رو امری واضح قلمداد کرده‌اند. هرچند تفاوت‌های دو سایت مورد مطالعه از نظر تراکم و موانع ساختمانی در دو تحقیق ممکن است بر روند کاهش و یا افزایش دو شاخص در طبقات مؤثر بوده باشد، دو رویکرد کاملاً متقابل آن‌ها ممکن است سبب سردرگمی در انتخاب طبقه با کیفیت بصری بهتر پوشش گیاهی شود. با این حال، هر دو تحقیق هر دو شاخص را راهکاری مناسب برای گسترده‌تر کردن سبزی‌نگی شهری و ارتقاء ایده‌ی فضاهای سبز قابل‌رؤیت برای عموم مردم قلمداد کرده‌اند.



شکل ۵: یک نمونه قطعه‌بندی معنایی به‌وسیله‌ی Seg Net

چنانکه از روند روش‌های ذکرشده برمی‌آید، رشد تکنولوژی اثر مستقیم و انکارناپذیری بر شکل‌گیری شاخص‌های مختلف سبزی‌گی داشته است. توسعه تکنولوژی ماهواره‌ای و سنجش‌ازدور به‌همراه گسترش نرم‌افزارهای تحلیلی جغرافیایی همچون GIS، رشد نرم‌افزارهای تحلیلی آماری و همچنین تکامل تکنولوژی پردازش تصویر (فرآیند تصویری شیء‌گرا)، گزینه‌های مؤثری را پیش‌روی محققین برای انتخاب و اجرای روش‌های مناسب با اهداف خاص قرار داده است. در این راستا، روش‌هایی از اهمیت و ارزش بالاتری برخوردارند که دقت و صحت بیشتری در اندازه‌گیری داشته باشند. از این‌رو، به‌نظر می‌رسد که روش‌های عینی با دید سه‌بعدی به‌سبب عاری بودن از مشکلات ناشی از قضاوت مخاطبان و مسائل ادراکی احتمالی موجود در روش‌های ذهنی و همچنین سنجش سبزی‌گی با توجه به نگاه شهروندان و مقیاس انسانی برخلاف دید دوبعدی از بالا و صرفاً هوایی، قابلیت بیشتری دارند و به عبارت دیگر، به واقعیت سبزی‌گی مؤثر موجود نزدیک‌تر هستند. هرچند صحت و دقت گونه‌های مختلف روش‌های عینی سه‌بعدی نیز بسته به دیدگاه محققین و اهدافشان تحت‌تأثیر پاره‌ای از نواقص و محدودیت‌های مربوطه است، انتظار می‌رود با انجام مطالعات تکمیلی و بررسی‌های بیشتر درصدد برطرف کردن آن‌ها برآیند و به این ترتیب، شاخص‌های سبزی‌گی با روش‌هایی با حداقل محدودیت‌ها و حداکثر کارایی در عرصه‌های گوناگونی چون برنامه‌ریزی شهری، طراحی شهری، طراحی منظر و ...، ارزیابی شوند.

منابع

- اسدی، ریحانه و پویان شهبان. (۱۳۹۶). «ارزیابی قابلیت پیاده‌محوری در محدوده‌ی ایستگاه مترو تجریش با روش QFD و ANP». *برنامه‌ریزی و آمایش فضا*. ش ۲۱ (۱). صص ۲۵۳-۲۷۸.
- تقوایی، علی‌اکبر و سکینه معروفی. (۱۳۸۹). «تأثیر فضاهای شهری بر ارتقاء کیفیت محیط با تأکید بر نقش مساجد». *مدیریت شهری*. ش ۲۵. صص ۲۱۹-۲۳۴.
- دوبران، اسماعیل و سیما غایب‌لو. (۱۳۹۷). «سنجش کیفی وضعیت پایداری ایمنی در پارک‌های شهری (مطالعه‌ی موردی: پارک‌های ناحیه‌ای و منطقه‌ای شهر رشت)». *برنامه‌ریزی و آمایش فضا*. ش ۲۲ (۴). صص ۱۴۰-۱۶۹.



- شمس‌الدینی، علی. (۱۳۹۶). «قابلیت‌سنجی کارایی داده‌های لیدار و اپتیک به‌منظور استخراج پارامترهای ساختاری جنگل». *برنامه‌ریزی و آمایش فضا*. ش ۲۱ (۲). صص ۱۱۹-۱۴۵.

- Shamsoddini, A. 2017. LiDAR and optical data capability assessment for plantation structural parameter estimation Assessment of LiDAR and optical data capability in the estimation of structural parameters of plantations. MJSP. 21 (2) :119-145 [in Persian]
- Aoki, Y. 1991. Evaluation methods for landscapes with greenery. *Landscape Res.* 16, 3-6. <http://dx.doi.org/10.1080/01426399108706344>
- Arbogast, K. L., Kane, B. C., Kirwan, J. L., & Hertel, B. R. 2009. Vegetation and outdoor recess time at elementary schools: What are the connections? *Journal of Environmental Psychology*, 29(4), 450-456.
- Asgarzadeh, M., Lusk, A., Koga, T., Hirate, K. 2012. Measuring oppressiveness of streetscapes *Landscape and Urban Planning*. 107 (1), 1-11.
- Balram, S., Dragićević, S. 2005. Attitudes toward urban green spaces: integrating questionnaire survey and collaborative GIS techniques to improve attitude measurements. *Landsc. Urban Plan.* 71 (2), 147-162.
- Bertram, Ch., Rehdanz, K. 2015. The role of urban green space for human well-being. *Ecological Economics*. 120, 139-152.
- Camacho-Cervantes, M., Schondube, J.E., Castillo, A., MacGregor-Fors, I. 2014. How do people perceive urban trees? Assessing likes and dislikes in relation to the trees of a city. *Urban Ecosystems*, 17(3), 230-244.
- Chen, W. Y., & Wang, D. T. 2013. Urban forest development in China: Natural endowment or socioeconomic product? *Cities*, 6(35), 62-68.
- Chiesura, A. 2004. The role of urban parks for the sustainable city. *Landscape and Urban Planning*, 68(1), 129-138.
- C.J. Tucker, J.Gatlin, S.R.Schneider, and M.A.Kuchinos. 1982. Monitoring large scale vegetation dynamics in the Nile delta and river valley from NOAA AVHRR data, in Proc. Conference on Remote Sensing of Arid and Semi-Arid Lands, Cairo, Egypt, p. 973.

- de la Barrera, F., Reyes-Paecke, S., Banzhaf, E. 2016. Indicators for green spaces in contrasting urban settings. *Ecological Indicators*.
- Downs, R.M., Stea, D. 1977. *Maps in Minds: Reflections on Cognitive Mapping*. Harper & Row, New York.
- Ellaway, A., Macintyre, S., Bonnefoy, X. 2005. Graffiti, greenery, and obesity in adults: secondary analysis of European cross sectional survey. *Br. Med. J.* 331, 611–612.
- F.Kogan. 1987. Vegetation index for areal analysis of crop conditions, in Proc. 18th Conference on Agricultural and Forest Meteorology, AMS, W.Lafayette, p. 103.
- Getz, D.A., Karow, A., Kielbaso, J.J. 1982. Inner city preferences for trees and urban forestry programs. *J. Arboric.* 8, 258–263.
- Gorman, J. 2004. Residents' opinions on the value of street trees depending on tree location. *J. Arboric.* 30, 36–44.
- Gupta, K., Kumar, P., Pathan, S.K., Sharma, K.P. 2012. Urban neighborhood green index – A measure of green spaces in urban areas. *Landscape and Urban Planning* 105 (2012) 325-335.
- Hall, B., Lee Kerr, M. 1991. *Green index, A state-by-state guide to the nation's environmental health*. Washington, D. C: Island press.
- Hoenher, C.M., Brennan-Ramirez, L.K., Elliot, M.B., Handy, S.L., Brownson, R.C. 2005. Perceived and objective environmental measures and physical activity among urban adults. *American Journal of - Preventive Medicine*, 28(2S2), 105–116.
- Huang, S.L., Chen, C.W. 1970. A system dynamics approach to the simulation of urban sustainability. *WIT Trans. Ecol. Environ.* 34. <http://dx.doi.org/10.2495/ECO990021>.
- Huang, SL., Chen, CW. 1970. A system dynamics approach to the simulation of urban sustainability© 1999 WIT Press, www.witpress.com, ISSN 1743-3541
- Jacobs, A.B. 1997. Keynote: looking, learning, making. *Places* 1, 4–7.



- J.P. Malingreau. 1986. Global vegetation in dynamics, satellite observations over Asia, *Int. J. Remote Sens.*, #7, 1121-1146.
- Kendall, A., Badrinarayanan, V., & Cipolla, R. (2015). Bayesian segnet: Model uncertainty in deep convolutional encoder-decoder architectures for scene understanding. *arXiv preprint arXiv:1511.02680*.
- Kinerson, R.S. 1975. Relationships between plant surface area and respiration in loblolly pine. *J. Appl. Ecol.* 965-971. <http://dx.doi.org/10.2307/2402102>.
- Kogan, F.N. 1995. Application of vegetation index and brightness temperature for drought detection. *Adv. Space Res.* 15 (11), 91-100.
- Krellenberg, K., Welz, J., & Reyes-Päcke, S. 2014. Urban green areas and their potential for social interaction—A case study of a socio-economically mixed neighbourhood in Santiago de Chile. *Habitat International*, 44, 11-21.
- Lang, S., Schopfer, E., Holbling, D., Blaschke, TH. 2008. Quantifying and qualifying urban green by integrating remote sensing, GIS, and social science methods. *Use of Landscape Sciences for the Assessment of Environmental Security*, 93-105.
- Li, D., & Sullivan, W. C. 2016. Impact of views to school landscapes on recovery from stress and mental fatigue. *Landscape and Urban Planning*, 148(2), 149-158.
- Li, X., Meng, Q., Li, W., Zhang, Ch., Jancso, T., Mavromatis, S. 2014. An explorative study on the proximity of buildings to green spaces in urban areas using remotely sensed imagery. *Annals of GIS*. 20:3, 193-203
- Li, X., Zhanga, Ch., Li, W., Ricardb, R., Mengc, Q., Zhanga, W. 2015. Assessing street-level urban greenery using Google Street View and a modified green view index, *Urban Forestry & Urban Greening* 14 (2015) 675-685.
- Lin, H. 2008. "Method of Image Segmentation on HighResolution Image and Classification for Land -Covers." *Fourth International Conference on Natural Computation*, Jinan, October 18-20, 563-566. IEEE.
- Lindal, P., Hartig, T. 2015. Effects of urban street vegetation on judgments of restoration likelihood, *Urban Forestry & Urban Greening* 14 (2015) 200-209.

- Long, Y., Liu, L. 2017. How green are the streets? An analysis for central areas of Chinese cities using Tencent Street View. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0171110.html>
- Long, Y., Tang, J., 2018. Measuring visual quality of street space and its temporal variation: Methodology and its application in the Hutong area in Beijing. *Landscape and Urban Planning*. www.elsevier.com/locate/landurbplan
- Long, Y., & Ye, Y. 2016. Human-scale urban form: Measurements, performances, and urban planning & design interventions. *South Architecture*, 8(5), 39–45.
- Lu, Y. 2018. The association of urban greenness and walking behavior: Using google street view and deep learning techniques to estimate residents' exposure to urban greenness. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 15, 1576.
- Lu, Y., Sarkar, C., & Xiao, Y. 2018. The effect of street-level greenery on walking behavior: Evidence from Hong Kong. *Social Science and Medicine*, 208, 41–49.
- Manley, B. 2001. *Statistics for Environmental Science and Management*. Chapman and Hall/CRC, Boca Raton, Florida.
- Mathieu, R., Freeman, C., Aryal, J. 2007. Mapping private gardens in urban areas using object-oriented techniques and very high-resolution satellite imagery. *Landscape Urban Plann.* 81 (3), 179–192. <http://dx.doi.org/10.1016/j.landurbplan.2006.11>.
- Mensah, C. A. 2014. Destruction of urban green spaces: A problem beyond urbanization in Kumasi city (Ghana). *American Journal of environmental Protection*. 3(1): 1-9.
- Motohka, T., Nasahara, K.N., Oguma, H., Tsuchida, S. 2010. Applicability of green-red vegetation index for remote sensing of vegetation phenology. *Remote Sens.* 2 (10), 2369–2387.



- Myint, S.W., Gober, P., Brazel, A., Grossman-Clarke, S., Weng, Q. 2011. Per-pixel vs. object-based classification of urban land cover extraction using high spatial resolution imagery. *Remote Sens. Environ.* 115 (5), 1145–1161.
- Nowak, D. J., & Greenfield, E. J. 2012. Tree and impervious cover in the United States. *Landscape and Urban Planning*, 107(1), 21–30.
- Pauleit, S. (Ed.). 2004. *An ecological approach to Greenstructure Planning*. COST Action C11, University of Manchester.
- Qiu, L., Nielsen, A. B. 2015. Are Perceived Sensory Dimensions a Reliable Tool for Urban Green Space Assessment and planning?. *Landscape Research*, 40:7, 834- 854, DOI: 10.1080/01426397.2015.1029445
- Schiewe, J. 2002. “Segmentation of High Resolution Remotely Sensed Data Concepts, Applications and Problems.” In Joint ISPRS Commission IV Symposium: Geospatial Theory, Processing and Applications, July 9–12. CDROM.
- Schöpfer, E., Lang, S., Blaschke, T. 2005. A “GREEN INDEX” INCORPORATING REMOTE SENSING AND CITIZEN’S PERCEPTION OF GREEN SPACE. <http://www.stadtentwicklung.berlin.de/agenda21/de/service/download/Agendaentwurf21April04.pdf>
- Shen, G. Q., Wan, C. 2015. Encouraging the use of urban green space: The mediating role of attitude, perceived usefulness and perceived behavioural control. *Habitat International*. 50. 130-139.
- Smardon, R.C. 1988. Perception and aesthetics of the urban environment: review of the role of - vegetation. *Landscape Urban Plann.* 15 (1–2), 85–106. [http://dx.doi.org/10.1016/0167-6369\(88\)90001-1](http://dx.doi.org/10.1016/0167-6369(88)90001-1)
- Taylor, B., Fernando, P., Bauman, A., Williamson, A., Craig, J., Redman, S. 2011. Measuring the quality of public open space using Google Earth. *Am. J. Prev. Med.* 40 (2), 105–112

- Tschense, H. 1998. Environmental quality goals and standards as a basis and way to Agenda 21 for Leipzig. In: Breuste, J., H. Feldmann, Uhlmann, O. (Eds.), Urban Ecology, Berlin: Springer, pp. 43-48.
- Tucker, C.J., Sellers, P.J., 1986. Satellite remote sensing of primary production, Int. J. Remote Sensing, #7, 1395-1416.
- Van Herzele, A., Wiedemann, T. 2003. A monitoring tool for the provision of accessible and attractive urban green spaces. Landsc. Urban Plan. 63, 109-126.
- Wang, W., Lin, Z., Zhang, L., Yu, T., Ciren, P., Zhu, Y. 2018. Building visual green index: A measure of visual green spaces for urban building. Urban Forestry & Urban Greening. <https://doi.org/10.1016/j.ufug.2018.04.004>
- Wolf, K. L. 2005. Business district streetscapes, trees, and consumer response. Journal of Forestry, 103(8), 396-400.
- Wolf, K.L., 2009. Strip malls, city trees, and community values. Arboric. Urban For. 35, 33-40.
- Yang, J., Zhao, L., McBride, J., Gong, P., 2009. Can you see green? Assessing the visibility of urban forests in cities, Landscape and Urban Planning 91 (2009) 97-104
- Yao, Y., Zhu, X., Xu, Y., Yang, H., Wu, X., Li, Y., Zhang, Y. 2012. Assessing the visual quality of green landscaping in rural residential areas: the case study of Changzhou, China. Environ. Monit. Assess. 184, 951-967.
- Ye, Y., Richards, D., Lu, Y., Song, X., Zhuang, Y., Zeng, W., Zhong, T. 2018. Measuring daily accessed street greenery: A human-scale approach for informing better urban planning practices. Landscape and Urban Planning.
- Yu, B., Yu, S., Song, W., Wu, B., Zhou, J., Huang, Y., Wu, J., Zhao, F., Mao, W. 2016. View-based greenery: A three-dimensional assessment of city buildings' green visibility using Floor Green View Index, Landscape and Urban Planning 152 (2016) 13-26.
- Asadi R, Shahabian P. 2017. Planning and Assessing the Walkability of Tajrish Metro stations by ANP & QFD. MJSP. 21 (1) :253-278 [in Persian]



- Taghvaei, A., Marofi, S. (2010). the Impact of Urban Spaces on Improving Quality of the Environment, Emphasizing the Role of Mosques. Journal of Urban Management, 25, pp. 219-234. [in Persian]
- Daviran S, ghayebloo S. Quality Assessment of Safety Sustainability in Urban Parks (Case Study: District and Zonal Parks in Rasht City). MJSP. 2019; 22 (4) :140-169 [in Persian]