



Research Paper

Morphological Differences in Iranian Historic Urban Fabrics Across Two Contrasting Climates Using EAC Indices: The Cases of Yazd and Amol

Mahboobeh Eslamizadeh^{*1}

¹ Instructor, Faculty of Art and Architecture, Saba, Shahid Bahonar University Of Kerman, Kerman, Iran.

Keywords

Urban morphology,
climate, historic urban
fabric: Yazd and Amol.
Equal-Area Circle
(EAC).

A B S T R A C T

This study investigates the role of climate in shaping morphological differences among historic urban fabrics by comparatively examining two Iranian cities with contrasting climates: the hyper-arid Yazd and the humid Amol. The innovation of the research lies in the use of the Equal-Area Circle (EAC) and the calculation of a set of size-independent n-indices for historic blocks in order to enable fair comparison. After topological cleaning of the polygon layer of blocks, the indices were computed on a 100×100 m grid using interior/boundary sampling. To test for between-city differences, the non-parametric Mann–Whitney U test was employed, together with effect size reporting (Cliff's δ/r) and multiple-testing control via the Benjamini–Hochberg false discovery rate (FDR) procedure. The findings show that differences arise mainly in the measures of depth and compactness: nDepth in Yazd is significantly higher (mean 0.632 vs. 0.575; $U = 51,517$; $FDR-p = 0.002$; $\delta = 0.202$), nGirth also shows a significant advantage (0.595 vs. 0.542; $U = 51,940$; $FDR-p = 0.002$; $\delta = 0.211$), and nPerimeter confirms the same pattern (0.660 vs. 0.611; $U = 50,316$; $FDR-p = 0.008$; $\delta = 0.174$). nDispersion exhibits a small but significant effect in favor of Yazd (0.742 vs. 0.718; $U = 49,054$; $FDR-p \approx 0.031$; $\delta = 0.144$). Other indices, including nProximity, nCohesion, nTraversal, nExchange, nRange, nDetour, and nInterior, do not remain significant after FDR correction. The spatial reading of the maps is consistent with the statistics: in Yazd, the upper deciles of nDepth, nGirth, and nPerimeter appear as continuous clusters in the historic core and along the main axes (indicating introversion and compact cores). In Amol, higher values tend to be more strip-like or peripheral, aligned with open/blue corridors (reflecting openness for ventilation and moisture removal). Climate thus generates significant differences in morphological depth and edge efficiency, while network efficiency in both fabrics converges to a relatively similar level. The practical implication for conservation and design is that in Yazd, priority should be given to preserving compact cores, maintaining continuous shade, and controlling edge roughness; whereas in Amol, preserving wind corridors and the continuity of open spaces, alongside increasing the morphological depth of shallow cores (without undermining permeability), becomes a key objective.

*Corresponding Author: Mahboobeh Eslamizadeh

Email Address: eslamizadeh.m@gmail.com.

Eslamizadeh, M. (2026). Morphological Differences in Iranian Historic Urban Fabrics Across Two Contrasting Climates Using EAC Indices: The Cases of Yazd and Amol. *Human Ecology*, 5(14), 2077-2099.



DOI: <https://doi.org/10.22034/he.2026.558320.1163>





بررسی تفاوت‌های مورفولوژیک بافت‌های تاریخی ایران در دو اقلیم متضاد با استفاده از کاربری شاخص‌های EAC (نمونه مورد مطالعه بافت تاریخی یزد و امل)

محبوبه اسلامی زاده*

۱ مربی، گروه مرمت، دانشگاه شهید باهنر کرمان، کرمان، ایران.

واژگان کلیدی

مورفولوژی شهری اقلیم
بافت تاریخی یزد و امل
دایره هم‌مساحت (EAC)

اسکن کنید



چکیده

این پژوهش با هدف روشن‌سازی سهم اقلیم در تفاوت‌های مورفولوژیک بافت‌های تاریخی، دو شهر با اقلیم‌های متضاد یزد فراخشک و امل مرطوب را به صورت تطبیقی بررسی می‌کند. نوآوری کار در به کارگیری «دایره هم‌مساحت» (EAC) و محاسبه‌ی مجموعه‌ای از n -شاخص‌های مستقل از اندازه برای بلوک‌های تاریخی است تا مقایسه‌ای منصفانه فراهم شود. پس از پاک‌سازی توپولوژیک لایه چندضلعی بلوک‌ها، شاخص‌ها بر روی شبکه 100×100 متر و با نمونه‌برداری درونی/مرزی محاسبه شد. برای آزمون تفاوت بین‌شهری، از آزمون ناپارامتریک Mann-Whitney U همراه با گزارش اندازه‌اثر (δ کلیف / r) و کنترل چندآزمونی به روش بنجامینی-هوچبرگ (FDR) استفاده گردید. یافته‌ها نشان می‌دهد تفاوت‌ها عمدتاً در سنجه‌های «عمق» و «فشردگی» بروز می‌کند: $nDepth$ در یزد به طور معناداری بزرگ‌تر است (میانگین 0.632 ، در برابر 0.575 ؛ $U=51517$ ؛ $FDR-p=0.002$ ؛ $\delta=0.202$)، $nGirth$ نیز برتری معناداری دارد (0.595 در برابر 0.542 ؛ $U=51940$ ؛ $FDR-p=0.002$ ؛ $\delta=0.211$) و $nPerimeter$ همین الگو را تأیید می‌کند (0.660 در برابر 0.611 ؛ $U=50316$ ؛ $FDR-p=0.008$ ؛ $\delta=0.174$). $nDispersion$ با اثری کوچک اما معنادار به سود یزد مشاهده شد (0.742 در برابر 0.718 ؛ $U=49054$ ؛ $FDR-p=0.031$ ؛ $\delta=0.144$). سایر شاخص‌ها از جمله $nProximity$ ، $nCohesion$ ، $nTraversal$ ، $nExchange$ ، $nRange$ ، $nDetour$ و $nInterior$ پس از کنترل FDR معنادار نشدند. خوانش مکانی نقشه‌ها نیز همسو با آمار است: در یزد دهک‌های بالای $nDepth/nGirth/nPerimeter$ به صورت خوشه‌های پیوسته در هسته تاریخی و امتداد محورهای اصلی پدیدار است (درون‌گرایی و هسته‌های فشردده)، حال آنکه در امل مقادیر بالاتر بیشتر نواری/پیرامونی و هم‌راستا با کریدورهای باز/آبی ظاهر می‌شود (گشودگی برای تهویه و دفع رطوبت). اقلیم، تفاوت‌های معناداری در «عمق کالبدی» و «کارایی پیرامونی» ایجاد می‌کند، اما «کارایی شبکه» در هر دو بافت به سطحی نسبتاً مشابه همگرا می‌شود. پیام کاربردی برای حفاظت/طراحی آن است که در یزد سیانت از هسته‌های فشردده و پیوستگی سایه و کنترل زبری لبه، و در امل حفظ راه‌باده‌ها و پیوستگی فضاهای باز همراه با ارتقای عمق کالبدی هسته‌های کم‌عمق (بدون تضعیف نفوذپذیری) در اولویت قرار گیرد.

ارجاع به این مقاله: اسلامی زاده، محبوبه. (۱۴۰۵). بررسی تفاوت‌های مورفولوژیک بافت‌های تاریخی ایران در دو اقلیم متضاد با استفاده از کاربری شاخص‌های EAC (نمونه مورد مطالعه بافت تاریخی یزد و امل). اکولوژی انسانی، ۵(۱۴)، ۲۰۷۷-۲۰۹۹.

۱. مقدمه

اقلیم یکی از مؤلفه‌های کلیدی شکل‌دهنده مورفولوژی شهری است و از طریق عواملی مانند تابش شدید خورشید، سایه‌اندازی سطوح، جرم‌حرارتی مصالح، نسبت ارتفاع به عرض معبر (H/W)، دید آسمان یا Sky View Factor (SVF)، جریان باد، رطوبت و بارندگی بر طراحی فضاهای باز و بسته، آرایش بناها و سازمان فضایی شهر اثر می‌گذارد. در اقلیم‌های گرم و خشک، کاهش تابش خورشید، ایجاد سایه و بهره‌گیری از مصالح سنگین برای تعدیل حرارت اهمیت دارد؛ درحالی‌که در اقلیم‌های مرطوب، تهویه طبیعی، دفع رطوبت و حفاظت در برابر بارندگی‌های شدید در اولویت قرار می‌گیرد. از این رو، بررسی رابطه اقلیم و مورفولوژی شهری، به‌ویژه در بافت‌های تاریخی، تنها یک موضوع کالبدی نیست، بلکه به حفاظت میراث شهری، تاب‌آوری اقلیمی، کاهش مصرف انرژی و ارتقای کیفیت محیطی نیز مربوط می‌شود. مطالعات پدیدارشناسانه در بافت‌های تاریخی ایران نشان داده‌اند که اقلیم علاوه بر اثرگذاری بر ویژگی‌های کالبدی، از طریق شبکه معابر و فضاهای جمعی بر ادراک، حس مکان و معنای محیط نیز تأثیر می‌گذارد؛ برای نمونه، در محلات تاریخی رشت و یزد، ویژگی‌هایی مانند کوچه‌های تنگ، سازمان فضایی و سیستم‌های عملکردی تا حد زیادی با شرایط اقلیمی تطبیق یافته‌اند و این امر بر حس مکان و معنای فضا اثرگذار بوده است (حسینی و همکاران، ۱۴۰۱). بنابراین، تولید شواهد کمی برای تبیین رابطه اقلیم و مورفولوژی شهری، به‌خصوص در بافت‌های تاریخی ایران، به یک ضرورت علمی و کاربردی تبدیل شده است. تفاوت‌های اقلیمی می‌توانند پیامدهای آشکاری بر ساختار کالبدی و عملکرد فضایی بافت‌های تاریخی بر جای بگذارند. در یزد، که در طبقه‌بندی اقلیمی در زمره مناطق فوق‌العاده گرم و خشک قرار می‌گیرد، دمای تابستان، میزان تابش خورشید و خشکی هوا بسیار بالاست (Karimian & Mahdizadeh, 2025). معماری سنتی این شهر با پاسخ‌هایی مانند پلان‌های متمرکز و درون‌گرا، حیاط‌های مرکزی، بادگیرها، سقف‌های بلند، دیوارهای ضخیم و مصالح بومی، تلاش کرده است شرایط آسایش محیطی را در برابر گرما و تابش شدید فراهم کند. پژوهش‌های پیشین نشان می‌دهند خانه‌های سنتی یزد بر حفظ حریم خصوصی، تطبیق فرهنگی و بهره‌گیری از ظرفیت اقلیم استوارند و به همین دلیل، شکل‌های مرکزی و درون‌گرا در آن‌ها غلبه دارد (رضایی و کاظمی، ۱۴۰۱). همچنین بررسی خانه‌های دوره قاجار در یزد نشان می‌دهد که دیوارهای ضخیم، تناسب دقیق فضاها و استفاده از مصالح ورودی خانه‌های تاریخی یزد بیان می‌کند که خشکی و گرمای شدید، معماری درون‌گرا با حیاط مرکزی و نمای بیرونی ساده اما با جزئیات داخلی غنی را پدید آورده است (غفاری و همکاران، ۱۴۰۲). در مقابل، در اقلیم‌های مرطوب مانند شمال ایران، نیاز به تهویه طبیعی، دفع رطوبت و گشودگی فضایی اهمیت بیشتری دارد. پژوهش‌ها نشان داده‌اند که در اقلیم گرم و مرطوب، افزایش نسبت طول به عرض حیاط و هم‌راستایی آن با جهت وزش باد می‌تواند بازده تهویه را افزایش دهد (کریمی و همکاران، ۱۴۰۳)، و حتی در مقیاس نما نیز عواملی مانند چیدمان پنجره، مصالح و سایه‌بان‌های مشبک می‌توانند بار سرمایه‌گذاری ساختمانی را کاهش دهند (ابراهیمی و رحیمی، ۱۴۰۱). بر این اساس، اقلیم از سطح بنا فراتر رفته و در فشردگی بلوک‌ها، عمق کالبدی، نفوذپذیری شبکه، زبری لبه‌ها و نسبت توده و فضا در بافت شهری بازتاب می‌یابد.

با وجود اهمیت این رابطه، ارزیابی اثر اقلیم بر مورفولوژی شهری نیازمند روش‌هایی است که بتوانند تفاوت‌های کالبدی را به‌صورت کمی، مقایسه‌پذیر و مستقل از اندازه آشکار کنند. توصیف‌های کیفی، هرچند در فهم ویژگی‌های تاریخی و فرهنگی بافت‌ها ارزشمندند، اما برای سنجش شدت، جهت و معناداری تفاوت‌های مورفولوژیک کافی نیستند. از این رو، مطالعات جدید بر استفاده از شاخص‌های کمی مانند SVF، شاخص دید بنا، شاخص‌های فشردگی، پراکندگی، عمق، پیوستگی و تحلیل‌های مکانی چندمقیاسی تأکید کرده‌اند. برای نمونه، SVF به‌عنوان متغیری بی‌بعد بین صفر و یک، میزان دید به آسمان را نشان می‌دهد و شاخص Building View Factor نیز می‌تواند تراکم ساختمان را منعکس کند (Chan et al., 2024). همچنین ترکیب شاخص‌های دوبعدی و سه‌بعدی مورفولوژی شهری با مدل‌های مکانی چندمقیاسی مانند MGWR برای تحلیل اثر فرم شهری بر دمای سطحی پیشنهاد شده است (Sun et al., 2024). در پژوهش‌های دیگر، شاخص شکل با مقایسه محیط یک محدوده با محیط دایره هم‌مساحت و همراه با شاخص‌هایی مانند پراکنش فضایی و بعد فرکتال برای توصیف شکل سکونتگاه‌های سنتی به‌کار رفته است؛ این شاخص‌ها به دلیل استقلال نسبی از اندازه، امکان مقایسه الگوهای مختلف را فراهم می‌کنند (Yuan et al., 2025). همچنین تحلیل‌های شعاعی در مقیاس شهری نشان داده‌اند که الگوهای مرکز - پیرامون می‌توانند ساختار فضایی و روند گسترش شهرها را آشکار کنند (Wang et al., 2023). بنابراین، بهره‌گیری از شاخص‌های نرمال شده و مقایسه‌پذیر، زمینه لازم را برای فهم دقیق‌تر رابطه اقلیم و شکل شهری فراهم می‌سازد.

مرور مطالعات پیشین نشان می‌دهد که اگرچه درباره تأثیر اقلیم بر معماری و بافت تاریخی ایران پژوهش‌های متعددی انجام شده، اما بخش زیادی از آن‌ها بر توصیف کیفی ویژگی‌های کالبدی یا بررسی نمونه‌های منفرد متمرکز بوده‌اند. بسیاری از مطالعات، شهرهای گرم و خشک مانند یزد را از منظر حیاط مرکزی، درون‌گرایی، مصالح بومی، سایه‌اندازی و سازمان فضایی بررسی کرده‌اند، در حالی‌که پژوهش‌های مربوط

به اقلیم‌های مرطوب اغلب بر تهویه، حیاط‌های کشیده، بازشوها و فضاهای باز تمرکز داشته‌اند. با این حال، مطالعات تطبیقی نظام‌مند میان شهرهای ایرانی با اقلیم‌های کاملاً متضاد محدود است و هنوز تحلیلی که هم‌زمان یزد فراخشک و آمل مرطوب را با مجموعه‌ای از شاخص‌های مستقل از اندازه بررسی کند، کمتر مورد توجه قرار گرفته است. اهمیت این خلأ زمانی بیشتر آشکار می‌شود که بدانیم یزد در اقلیم فراخشک بیابانی قرار دارد و گرما و تابش شدید در آن به شکل‌گیری فضاهای درون‌گرا و سایه‌دار منجر شده است (Karimian & Mahdizadeh, 2025)، درحالی‌که آمل در منطقه‌ای مرطوب با میانگین دمای سالانه ۱۷/۴ درجه سانتی‌گراد و بارش سالیانه ۶۵۰ میلی‌متر قرار دارد (Zarghami & Heydari, 2023). با وجود این تفاوت آشکار، هنوز روشن نیست که کدام شاخص‌های مورفولوژیک بیشترین حساسیت را نسبت به تفاوت اقلیمی نشان می‌دهند و کدام ابعاد فرم شهری، مانند عبورپذیری یا تبادل فضایی، ممکن است در دو بافت تاریخی به سطحی مشابه همگرا شوند. همچنین در مطالعات داخلی، استفاده هم‌زمان از شاخص‌های EAC، آزمون‌های آماری ناپارامتریک، اندازه اثر و کنترل چندآزمونی کمتر دیده می‌شود.

بر این اساس، پژوهش حاضر با هدف تحلیل تطبیقی نقش اقلیم در تفاوت‌های مورفولوژیک بافت‌های تاریخی یزد و آمل تدوین شده است؛ دو شهری که به‌ترتیب نماینده اقلیم فراخشک و اقلیم مرطوب در ایران هستند. در این پژوهش، منظور از بافت تاریخی محدوده‌هایی است که پیش از دوره صنعتی شدن شکل گرفته‌اند و ساختار کالبدی آن‌ها، شامل شبکه معابر، بلوک‌ها، بناها و فضاهای جمعی، تا امروز در کالبد شهر باقی مانده است. برای دستیابی به مقایسه‌ای عادلانه، از دایره هم‌مساحت یا Equivalent Area Circle و مجموعه‌ای از شاخص‌های نرمال‌شده استفاده می‌شود تا ویژگی‌هایی مانند فشردگی، عمق کالبدی، ضخامت هسته، پراکندگی، نفوذپذیری، زبری لبه و پیوستگی فضایی بدون تأثیر مستقیم مساحت سنجیده شوند. اهداف مشخص پژوهش عبارت‌اند از: محاسبه و مقایسه n-شاخص‌های مورفولوژیک در بافت تاریخی یزد و آمل؛ شناسایی شاخص‌هایی که تفاوت معنادار میان دو اقلیم را نشان می‌دهند؛ تحلیل الگوی مکانی توزیع شاخص‌ها در هسته و پیرامون بافت‌های تاریخی؛ و استخراج پیامدهای کاربردی نتایج برای حفاظت، بازآفرینی و طراحی همساز با اقلیم. انتظار می‌رود این پژوهش با ترکیب رویکرد EAC، آزمون Mann-Whitney U، گزارش اندازه اثر Cliff's δ / r و کنترل چندآزمونی به روش Benjamini-Hochberg FDR، شکاف میان مطالعات توصیفی اقلیم‌محور و تحلیل‌های کمی مورفولوژی شهری را کاهش دهد و مبنایی برای تصمیم‌گیری شاخص‌محور در مدیریت بافت‌های تاریخی فراهم سازد.

۲. مبانی نظری

اقلیم به‌عنوان یکی از مهم‌ترین محرک‌های شکل‌گیری فضاهای شهری تاریخی، بر هندسه معابر، نسبت توده و فضا، نحوه استقرار بناها، مصالح، میزان گشودگی و الگوی حرکت هوا اثر می‌گذارد. در اقلیم‌های فراخشک، تابش شدید، دمای بالای هوا و رطوبت ناچیز موجب می‌شود که سازمان فضایی شهرها به‌سمت کاهش تابش مستقیم، کنترل بادهای گرم و ایجاد سایه پیوسته حرکت کند. از این رو، در بسیاری از شهرهای تاریخی ایران، به‌ویژه یزد و شهرهای مناطق مرکزی، نسبت ارتفاع به عرض معابر (H/W) افزایش یافته و معابر باریک، پیچ‌درپیچ و نیمه‌محصور شکل گرفته‌اند تا دید به آسمان کاهش یافته و محصوریت و سایه‌اندازی تقویت شود. مطالعه می‌دانی محله سنگ سیاه شیراز نشان می‌دهد که خیابان‌های پیچ‌درپیچ، ارتفاع زیاد جداره‌ها، دید محدود به آسمان و فضاهای نیمه‌باز، تابش آفتاب بعدازظهر و بادهای گرم را کاهش داده و به بهبود تهویه طبیعی کمک کرده‌اند (حق‌نگهدار و همکاران، ۱۴۰۳). همچنین بررسی پیامدهای دگرگونی هندسه شهری بر شرایط خرداقلیمی نشان می‌دهد که کاهش نسبت ارتفاع به عرض و افزایش شاخص دید به آسمان (SVF) در نسخه معاصر بافت سنگ سیاه، موجب افزایش دمای هوا، افزایش دمای تابشی و کاهش آسایش حرارتی شده است (حق‌نگهدار و همکاران، ۱۴۰۳). این یافته‌ها نشان می‌دهند که فشردگی ارتفاعی، کاهش دید به آسمان و پیوستگی سایه از مؤلفه‌های اصلی سازگاری کالبدی در اقلیم‌های گرم و خشک هستند. در مقابل، در اقلیم‌های مرطوب خزری مانند آمل، مسأله اصلی نه‌تنها کنترل گرما، بلکه کاهش رطوبت، تسهیل تهویه طبیعی و مدیریت بارندگی و رواناب سطحی است. در این مناطق، گشودگی فضایی، امکان عبور جریان هوا، پیوستگی فضاهای باز و پرهیز از انسداد کالبدی بیش از حد اهمیت می‌یابد. پژوهش درباره حیاط‌های مرکزی خانه‌های سنتی شوشتر نشان داده است که نسبت طول به عرض حیاط‌های چهارطرفه در بازه ۱/۰۸ تا ۱/۲ مناسب‌ترین شرایط توزیع جریان هوا را فراهم می‌کند و تغییر این نسبت به مقادیر کوچک‌تر یا بزرگ‌تر می‌تواند جریان هوا را مختل کند (مردانی و روسائی، ۱۴۰۰). همچنین بررسی ایوان‌های خانه‌های سنتی شیراز نشان می‌دهد که ایوان به‌عنوان فضای واسط میان فضای بسته و باز، با ایجاد سایه و تعدیل دمای متوسط تابشی، نقش مؤثری در آسایش حرارتی دارد؛ در این میان، افزایش عرض ایوان، مساحت گشودگی و ارتفاع از سطح حیاط از مهم‌ترین عوامل بهبود شرایط آسایش شناخته شده‌اند (کریم‌زاده و همکاران، ۱۴۰۰). بنابراین، در اقلیم‌های مرطوب و نیمه‌مرطوب، فرم شهری و معماری زمانی کارآمدتر است که میان گشودگی، سایه‌اندازی، تهویه و کنترل رطوبت تعادل برقرار کند.

مصلح، جرم‌حرارتی و نحوه ترکیب آن‌ها با هندسه شهری نیز بخش مهمی از سازگاری اقلیمی را تشکیل می‌دهد. در اقلیم‌های فراخشک، مصالح بومی مانند خشت و آجر به دلیل جرم‌حرارتی بالا، ظرفیت مناسبی برای جذب، ذخیره و آزادسازی تدریجی حرارت دارند. مطالعه باستان‌شناسی مجموعه نوشیجان از دوره مادی نشان می‌دهد که بناها با محوریت شرق-غرب، ارتفاع زیاد، معابر باریک، حیاط‌های کوچک و استفاده گسترده از خشت طراحی شده‌اند تا گرمایش تابشی جذب و بادهای نامطلوب کاهش یابد (حاجیلویی و همکاران، ۱۴۰۳). این راهکارها امکان تأمین گرمایش و سرمایش نسبی در بخش قابل توجهی از سال را فراهم می‌کرده، هرچند در ماه‌های سرد نیاز به تمهیدات گرمایشی اضافی وجود داشته است. در اقلیم‌های مرطوب، در مقابل، مصالح سبک‌تر و فرم‌های بازتر می‌توانند تبادل رطوبت و تهویه طبیعی را تقویت کنند. پژوهش معماری خانه‌های تاریخی یزد نیز نشان می‌دهد که تزئینات ورودی‌ها از آجر، گچ و کاشی تشکیل شده و فرم‌های هندسی و گیاهی بر نما غالب‌اند، اما کارکرد اقلیمی آن‌ها در ایجاد لایه‌ای خنک‌کننده و سایه‌انداز در اقلیم گرم و خشک قابل توجه است (میردهقان، ۱۴۰۳).

نسبت ارتفاع به عرض معبر، هندسه فضاهای باز، شاخص دید به آسمان و پوشش گیاهی از مهم‌ترین متغیرهای مورفولوژیک مؤثر بر آسایش حرارتی و عملکرد اقلیمی بافت‌های تاریخی هستند. پژوهش‌های تجربی در محله سنگ سیاه نشان داده‌اند که کاهش H/W و افزایش SVF در نسخه معاصر بافت تاریخی، موجب گرم‌تر شدن فضای خیابان و کاهش سایه درازمدت شده است (حق‌نگهدار و همکاران، ۱۴۰۳). این نتایج با مطالعات می‌دانی در محیط‌های فراخشک همخوان است؛ برای مثال، در مقایسه شهرهای تلمسان و بشار در الجزایر، شبیه‌سازی ENVI-met نشان داده است که نسبت H/W بالاتر، حدود ۱.۵، همراه با افزایش پوشش درختی، می‌تواند دمای هوا را تا ۱.۵ درجه کاهش داده و شاخص آسایش حرارتی UTCI را بهبود دهد (Al-Hajri et al., 2025). همچنین در شهر تاریخی الجزایر، خیابان‌های باریک، نقشه درون‌گرا و استفاده از مصالح سنگین موجب جذب گرمای روز و آزادسازی تدریجی آن شده و به کاهش تنش گرمایی کمک کرده است (Arrar et al., 2022). در مناطق مرطوب و بارانی، در کنار سایه‌اندازی، تهویه و دفع رطوبت اهمیت بیشتری می‌یابد؛ پژوهش‌ها در فوزو چین نشان داده‌اند که خیابان‌های عمیق و متوسط با نسبت عمق بالاتر در ساعات ظهر دمای هوای پایین‌تری دارند و خیابان‌های شمالی-جنوبی ارتباط بیشتری با سرعت باد و UTCI نشان می‌دهند (Lai et al., 2025). همچنین در میدان‌های تاریخی سويا، افزودن سایبان‌ها و دیوارهای سبز توانسته است UTCI را تا ۶.۵ درجه و دمای تابشی را تا ۵ درجه کاهش دهد (Rezaie et al., 2025).

نقش فضای سبز و پوشش گیاهی نیز در تکمیل سازوکارهای اقلیمی بافت‌های تاریخی قابل توجه است. پژوهش‌های انجام‌شده در شهرهای گرم و مرطوب خاورمیانه نشان می‌دهد که افزایش پوشش درختی و چمن می‌تواند دمای هوا را تا ۱.۵ درجه و دمای تابشی را تا ۳۱ درجه کاهش دهد (Al-Hajri et al., 2025). در این مطالعات، SVF به‌عنوان یکی از مؤثرترین متغیرها معرفی شده و نشان داده شده است که نسبت‌های متوسط دید به آسمان، حدود ۰.۴ تا ۰.۵، می‌توانند بهترین شرایط حرارتی را ایجاد کنند (Al-Hajri et al., 2025). در بافت‌های تاریخی ایران نیز عناصر سبز، حوض آب، باغچه‌های درون حیاط و فضاهای نیمه‌باز بخشی از سامانه اقلیمی بنا و بافت محسوب می‌شوند. این مسأله در مطالعه ایوان‌های سنتی شیراز نیز تأیید شده است؛ زیرا افزایش سطح سایه‌اندازی و حضور پوشش گیاهی موجب کاهش دمای تابشی و بهبود شاخص PET می‌شود (کریم‌زاده و همکاران، ۱۴۰۰). در مجموع، مطالعات تجربی نشان می‌دهند که در اقلیم‌های فراخشک، پیوستگی سایه، فشردگی، جهت‌گیری معابر، مصالح با جرم‌حرارتی بالا و شبکه‌های پیچ‌درپیچ و نیمه‌محصور، راهبردهای اصلی کاهش گرما و تعدیل شرایط محیطی‌اند؛ در حالی که در اقلیم‌های مرطوب، گشودگی فضا، تهویه طبیعی، مدیریت بارش، پوشش گیاهی و مصالح سبک‌تر اهمیت بیشتری دارند. بنابراین، تفاوت اقلیمی می‌تواند به دو گونه‌شناسی عمده در بافت‌های تاریخی منجر شود: بافت‌های فشرده و درون‌گرا در اقلیم‌های فراخشک و بافت‌های بازتر و برون‌گرا در اقلیم‌های مرطوب؛ تمایزی که مبنای مقایسه دو شهر یزد و امل در پژوهش حاضر است.

۲.۱. مطالعات تطبیقی ایران و منطقه

جدول زیر خلاصه‌ای از مطالعات منتخب در ایران، خاورمیانه و مناطق مرطوب که از سنجه‌های شکل یا معیارهای نزدیک به آن برای ارزیابی ارتباط اقلیم و مورفولوژی استفاده کرده‌اند ارائه می‌کند. مطالعات فارسی عمدتاً روی بافت‌های تاریخی ایران متمرکز بوده و پژوهش‌های انگلیسی به نمونه‌های منطقه‌ای و بین‌المللی پرداخته‌اند.

یافته‌های کلیدی و محدودیت‌ها	شاخص‌ها و داده‌ها	اقلیم و واحد تحلیل	منطقه/شهر (سال)
نشان داد که بافت تاریخی با خیابان‌های پیچ‌درپیچ، H/W بالا و دید محدود به آسمان، گرما و باد گرم بعدازظهر را کاهش می‌دهد. دگرگونی هندسه معاصر موجب افزایش SVF و دمای هوا و	تحلیل GIS و شبیه‌سازی ENVI-met برای هندسه معابر، H/W ، SVF و ارزیابی حرارتی؛ سنجش تغییرات هندسه معاصر	اقلیم گرم و خشک؛ واحد تحلیل: قطعات و معابر تاریخی و معاصر	محله سنگ سیاه شیراز (۱۴۰۳) (حق‌نگهدار و همکاران، ۱۴۰۳)

یافته‌های کلیدی و محدودیت‌ها	شاخص‌ها و داده‌ها	اقلیم و واحد تحلیل	منطقه/شهر (سال)
کاهش آسایش حرارتی شد. محدودیت: تمرکز بر یک محله و عدم استفاده از شاخص‌های EAC.			
نتایج نشان داد که ساختمان‌های کوتاه‌مرتبه متراکم نسبت به ساختمان‌های بلندمتراکم دمای بالاتری دارند. اختلاف حداقل و حداکثر دما بیانگر تأثیر قابل توجه فرم شهری بر حرارت است. محدودیت: عدم تجزیه دقیق هندسه قطعات و استفاده نکردن از شاخص‌های شکل نرمال شده.	استفاده از تصاویر ماهواره‌ای لندست (۱۹۹۵-۲۰۲۱)، استخراج دمای سطح زمین و طبقه‌بندی کاربری زمین. تحلیل ارتباط بین فرم ناهمگن شهر و دمای سطح زمین	اقلیم نیمه‌خشک؛ واحد تحلیل: الگوهای توسعه زمین و شکل‌گیری جزیره حرارتی	یافت حرارتی تهران (۱۴۰۱)
بناها با محوریت شرق-غرب، ارتفاع زیاد و معابر باریک طراحی شده‌اند تا حرارت خورشیدی را جذب و باد گرم را کاهش دهند. حیاط‌های کوچک و مصالح خشت در ذخیره و تعدیل حرارت مؤثرند. محدودیت: مطالعه صرفاً یک مجموعه بنا.	تحلیل باستان‌شناسی و انرژی با استفاده از نرم‌افزارهای Ecotect و DesignBuilder؛ بررسی جهت‌گیری، تراکم، استفاده از خشت و حیاط‌های کوچک	اقلیم فراخشک؛ واحد تحلیل: بنا و حیاط‌های مجموعه مذهبی	ناصحنی و همکاران، (۱۴۰۱)
حیاط‌های چهارطرفه با نسبت طول به عرض ۱.۲-۱.۰۸ بهترین توزیع جریان هوا و آسایش حرارتی را ایجاد می‌کنند. تغییرات تناسبات موجب ناهمگونی جریان و کاهش آسایش شد. محدودیت: تمرکز بر چند خانه و عدم ارزیابی شاخص‌های هندسی دیگر.	اندازه‌گیری جریان هوا و شبیه‌سازی CFD؛ نسبت طول به عرض حیاط و شکل‌گیری جریان باد	اقلیم گرم و مرطوب؛ واحد تحلیل: حیاط‌های مرکزی چند خانه	مجموعه نوشیجان (۱۴۰۳)
افزایش عرض و گشودگی ایوان و ارتفاع از سطح حیاط، دمای متوسط تابشی را کاهش و شاخص PET را بهبود می‌دهد. محدودیت: نمونه محدود و تمرکز بر فضای نیمه‌باز.	اندازه‌گیری دمای هوا و شبیه‌سازی ENVI-met و Bio-met؛ تحلیل PET و مساحت سایه	اقلیم گرم و خشک؛ واحد تحلیل: ایوان در سه بنای تاریخی	حاجیلوئی و همکاران، (۱۴۰۳)
خیابان‌های باریک، حیاط‌های درون‌گرا و مصالح سنگین گرمای روز را ذخیره و حرارت تابشی را کاهش می‌دهند؛ عمق زیاد معابر و دیوارهای ضخیم منجر به آسایش حرارتی در روزهای گرم می‌شود.	بازبینی مطالعات تاریخی و شبیه‌سازی ENVI-met؛ مقایسه H/W، مصالح، ترتیب کوچه‌ها	اقلیم صحرایی؛ واحد تحلیل: شبکه معابر و کوچه‌ها	حیاط‌های سنتی شوشتر (۱۴۰۰)
افزایش درخت و چمن به کاهش دما و دمای تابشی کمک کرد (کاهش 0.5°C). ارتباط غیرخطی بین SVF و دما نشان داد که SVF متوسط (۰.۴-۰.۵) بهترین عملکرد حرارتی دارد.	شبیه‌سازی ENVI-met؛ بررسی SVF، H/W، پوشش گیاهی؛ تحلیل سناریوهای سبز	اقلیم گرم و خشک؛ واحد تحلیل: بلوک‌های مسکونی	مردانی و روسائی، (۱۴۰۰)
بهترین آسایش در معابر E-W با نسبت H/W متوسط (۱.۵) و وجود درختان بود. مصالح بومی (آجر، سنگ) در مقابل مصالح مدرن عملکرد بهتری داشت.	شبیه‌سازی ENVI-met و Rayman؛ سنجش UTCI؛ ارزیابی جهت‌گیری خیابان، نسبت H/W، درختان، مصالح	اقلیم فراخشک؛ واحد تحلیل: معابر تاریخی، مدرن و معاصر	ایوان خانه‌های سنتی شیراز (۱۴۰۰)
نتایج نشان داد که پیکربندی ساختمان‌ها، جهت خیابان و پوشش گیاهی تعیین‌کننده آسایش حرارتی هستند؛ توجه به یکپارچگی طرح و سبزی‌نگی ضروری است.	اندازه‌گیری می‌دانی و شبیه‌سازی ENVI-met؛ بررسی هندسه، جهت‌گیری، سبزی‌نگی	اقلیم نیمه‌خشک؛ واحد تحلیل: خیابان‌ها و بلوک‌های مسکونی	کریم‌زاده و همکاران، (۱۴۰۰)
بام سبز فشرده دمای هوا و دمای تابشی را کاهش می‌دهد و رطوبت و سرعت باد را افزایش می‌دهد؛ اما در ساعات ظهر هنوز استرس گرمایی شدید وجود دارد.	شبیه‌سازی ENVI-met؛ مقایسه بام سبز فشرده و گسترده	اقلیم فراخشک؛ واحد تحلیل: بام‌های سبز سنتی و مدرن	الجزایر - قصبه الجزایر (۲۰۲۲)
فاصله بیشتر بین ساختمان‌ها و پوشش سبز بیشتر موجب کاهش دمای هوا و بهبود آسایش می‌شود. برخلاف انتظار، حومه‌های باغ‌شهری عملکرد گرمایی ضعیف‌تری از محلات متراکم قرن نوزدهم داشتند.	شبیه‌سازی ENVI-met؛ بررسی فاصله بین ساختمان‌ها، نسبت فضای سبز و تابش خورشید	اقلیم مدیترانه‌ای؛ واحد تحلیل: الگوهای توسعه شهری از قرن نوزدهم	Arrar et al. , 2022
خیابان‌های شمال-جنوب ارتباط قوی‌تری بین سرعت باد و UTCI نشان دادند؛ خیابان‌های عمیق با نسبت عمق بالا در ساعات ظهر عملکرد حرارتی بهتری دارند؛ رابطه SVF و UTCI به زمان وابسته است.	شبیه‌سازی PHOENICS و ارزیابی UTCI؛ بررسی جهت خیابان و SVF	اقلیم گرم و مرطوب؛ واحد تحلیل: خیابان‌های تاریخی	بشار، الجزایر (۲۰۲۵)
نصب سایبان‌های پارچه‌ای و دیوارهای سبز UTCI را تا 6.5°C و دمای تابشی را 5°C کاهش داد؛ نشان می‌دهد که مداخلات موقت می‌توانند آسایش حرارتی را در فضاهای تاریخی بهبود دهند.	طراحی سناریوهای سایبان و دیوار سبز؛ شبیه‌سازی ENVI-met؛ ارزیابی UTCI	اقلیم مدیترانه‌ای گرم؛ واحد تحلیل: میدان‌های تاریخی	Al-Hajri et al. , 2025
افزایش دمای UHI باعث افزایش ازن (4 ppbv و $2.5\text{ }\mu\text{g}/\text{m}^3$) می‌شود؛ مناطق متراکم با پوشش گیاهی کم گرمای بیشتری ذخیره کرده و خنک‌شدن شبانه کاهش می‌یابد. پیشنهاد می‌کند که برنامه‌ریزی شهری باید تلفیقی از سنجش می‌دانی و شبیه‌سازی CFD باشد.	مروری بر رابطه جزیره حرارتی شهری (UHI)، هندسه شهر و آلاینده‌ها؛ استفاده از داده‌های حسگر و CFD	اقلیم‌های شهری مختلف؛ واحد تحلیل: مطالعات مرور سیستماتیک	مشهد، ایران (۲۰۲۳)

یافته‌های کلیدی و محدودیت‌ها	شاخص‌ها و داده‌ها	اقلیم و واحد تحلیل	منطقه/شهر (سال)
SVF بیشترین تأثیر را بر آسایش حرارتی داشت؛ تفاوت‌های فصلی و مکانی در یک خیابان مشاهده شد؛ توصیه می‌شود که جهت‌گیری مناسب، نسبت H/W و افزایش پوشش گیاهی در طراحی خیابان‌ها لحاظ شود.	اندازه‌گیری می‌دانی و شبیه‌سازی Rayman؛ بررسی SVF، جهت‌گیری، پوشش درختی	اقلیم گرم و نیمه‌مرطوب؛ واحد تحلیل: خیابان‌های شهری	(Darabani et al. , 2023)

این جدول نشان می‌دهد که هرچند در کشورهای مختلف مطالعاتی بر ارتباط اقلیم و مورفولوژی انجام شده، مقایسه مستقیم بین اقلیم‌های بسیار مرطوب و فراخشک با استفاده از شاخص‌های نرمال شده EAC بسیار محدود است. بیشتر مطالعات بر یک اقلیم یا نمونه خاص تمرکز دارند و تعداد کمی از آن‌ها مجموعه‌ای از شاخص‌های شکل را به‌طور همزمان به کار برده‌اند.

۲.۲. جمع‌بندی ادبیات نظری و بررسی خلأ پژوهش

مرور ادبیات نشان می‌دهد که پژوهشگران بر نقش تعیین‌کننده هندسه معابر، نسبت ارتفاع به عرض، دید به آسمان، مصالح و پوشش گیاهی در آسایش حرارتی تأکید دارند. در اقلیم‌های فراخشک، مجموعه‌ای از راهبردها مانند کوچه‌های باریک و پیچ‌درپیچ، نسبت H/W بالا، حیاط‌های درون‌گرا، مصالح با جرم‌حرارتی زیاد و سایه‌اندازی پیوسته برای کاهش تابش و ذخیره حرارت به کار گرفته شده است (Arrar et al. , 2022) و (حق‌نگهدار و همکاران، ۱۴۰۳). در مقابل، اقلیم‌های مرطوب با بارندگی و رطوبت زیاد نیازمند فضاهای باز، حیاط‌های بزرگ، نسبت H/W پایین‌تر و تهویه طبیعی هستند (مردانی و رؤسائی، ۲۰۲۱).

با این حال، تحلیل‌ها و نتایج مطالعات موجود گاهی متناقض به نظر می‌رسند. برای مثال، برخی پژوهش‌ها نشان داده‌اند که افزایش عمق معابر یا H/W بالا به کاهش دما کمک می‌کند (Al-Hajri et al. , 2025)، در حالی که تحقیقات دیگر تأکید می‌کنند که H/W متوسط (حدود ۱.۵-۱.۰) بهترین عملکرد حرارتی دارد و H/W زیاد موجب تهویه ناکافی و ایجاد استرس گرمایی در تابستان می‌شود (Sanagar Darbani et al. , 2023). این تضاد می‌تواند به دلیل شرایط اقلیمی متفاوت، مقیاس مطالعه، میزان رطوبت هوا، جهت‌گیری معابر و حضور یا عدم حضور پوشش گیاهی باشد. بنابراین، ضرورت تحلیل چندمعیاره و ادغام داده‌های موضعی با شاخص‌های نرمال شده برای مقایسه بین بافت‌ها آشکار می‌شود.

همچنین، بیشتر مطالعات فارسی و منطقه‌ای به توصیف کیفی ویژگی‌ها پرداخته و کمتر از شاخص‌های کمی پیشرفته مانند EAC برای تحلیل شکل استفاده کرده‌اند. محدود پژوهش‌هایی که بر محاسبه شاخص‌های شکل تمرکز داشته‌اند نیز به یک یا دو شاخص محدود شده‌اند و پیوند آن‌ها با عملکرد اقلیمی روشن نشده است.

خلأ اصلی پژوهش حاضر عبارت است از نبود مطالعاتی که دو اقلیم کاملاً متفاوت (فراخشک و مرطوب) را در کنار هم و با رویکرد جامع EAC بررسی کنند. مقایسه تطبیقی یزد (فراخشک) و آمل (مرطوب) با استفاده از مجموعه شاخص‌های nDepth nPerimeter nTraversals nDetour nDispersion nCohesion nProximity nSpin nGirth می‌تواند نشان دهد که چگونه پروفایل چندمعیاره شکل در این دو بافت از هم متمایز است و چه عناصر کالبدی سبب این تفاوت‌ها شده‌اند. چنین رویکردی علاوه بر ارائه دیدگاهی دقیق درباره تأثیر اقلیم بر فرم شهری، می‌تواند به سیاست‌گذاری برای حفاظت و بهبود بافت‌های تاریخی و نیز به طراحی توسعه‌های جدید همساز با اقلیم کمک کند.

۳. روش‌شناسی تحقیق

روش‌شناسی این پژوهش بر سنجش کمی مورفولوژی بلوک‌های تاریخی یزد (فراخشک) و آمل (مرطوب) و مقایسه‌ی دو شهر با اتکا به «شاخص‌های آمار کمی» و آزمون ناپارامتریک «یو-من-وایتنی» بنا شده است. واحد تحلیل چندضلعی بلوک Ω است؛ داده‌ها در دستگاه مختصات متریک مناسب هر شهر بازفراکنی، خطاهای توپولوژیک رفع، و تنها چندضلعی‌های تک‌بخشی معتبر نگه داشته می‌شود. پارامترهای مرجع شامل مساحت، $A = |\Omega|$ محیط P ، و مرکز هندسی $\mathbf{c} = \frac{1}{A} \iint_{\Omega} \mathbf{x} dA$ است. برای حذف اثر مقیاس، «دایره‌ی هم‌مساحت» با شعاع $r_0 = \sqrt{A/\pi}$ و محیط $P_0 = 2\pi r_0$ به عنوان مرجع نرمال‌سازی به کار می‌رود و قاعده‌ی عمومی

$$nX = \frac{X_{circle}}{X_{poly}}$$

تعریف می‌شود؛ مقدار نزدیک ۱ نشان‌دهنده‌ی شباهت به دایره (فشردگی/نظم) و کوچک‌تر شدن آن دلالت بر کشیدگی، پیچیدگی یا ناهمگنی دارد. برای نمونه‌برداری، مجموعه‌ی نقاط درونی $S = \{\mathbf{p}_i\}_{i=1}^N$ (شبکه‌ی شبه‌تصادفی متناسب با مساحت) و نقاط مرزی $B = \{\mathbf{b}_k\}_{k=1}^M$ گسسته‌سازی یکنواخت طول‌قوسی از $\partial\Omega$ استخراج می‌شود؛ به‌طور عملی $M \approx 500$ و N تابع اندازه‌ی بلوک است و برای پایداری عددی، مختصات با یک انتقال ثابت به حوالی مبدأ جابه‌جا می‌شود.

سنجه‌های شکلی که برای هر بلوک محاسبه و سپس بین دو شهر مقایسه می‌شوند عبارت‌اند از:

- چسبندگی (میانگین فاصله‌ی جفتی نقاط درونی)

$$\overline{D}_{\text{pair}} = \frac{2}{N(N-1)} \sum_{i < j} \| \mathbf{p}_i - \mathbf{p}_j \|, n\text{Coh} = \square.$$

- نزدیکی به مرکز

$$\mu_r = \frac{1}{N} \sum_i \| \mathbf{p}_i - \mathbf{c} \|, n\text{Prox} = \square.$$

- لختی نسبی/اسپین

$$J = \frac{1}{N} \sum_i \| \mathbf{p}_i - \mathbf{c} \|^2, n\text{Spin} = \square.$$

- محیط نرمال برای زبری مرز

$$nP = \frac{P_0}{P} \leq 1.$$

- عمق میانگین تا لبه

$$\overline{\delta} = \frac{1}{N} \sum_i d(\mathbf{p}_i, \partial\Omega), \overline{\delta}^{\text{circle}} = \frac{r_0}{3}, n\text{Depth} = \square.$$

- شعاع محاطی بیشینه

$$r_{\text{in}} = \max\{r: B(\mathbf{x}, r) \subseteq \Omega\}, n\text{Girth} = \frac{r_{\text{in}}}{r_0} \leq 1.$$

- فرورفتگی نسبت به پوش محدب

$$n\text{Detour} = \frac{P_h}{P} \leq 1, P_h = \text{Perim}(\text{hull}(\Omega)).$$

- ناهمگنی شعاعی مرز با $r_k = \| \mathbf{b}_k - \mathbf{c} \|$ ضریب تغییرات $CV = \sigma_B / \mu_B$ ، $\mu_B = \frac{1}{M} \sum \square$ ، $\sigma_B^2 = \frac{1}{M} \sum (r_k - \mu_B)^2$
- و نگاشت

$$n\text{Disp} = \frac{1}{1+CV} \in (0,1].$$

- کشیدگی محوری

$$d_{\text{max}} = \max_{i,j} \| \mathbf{b}_i - \mathbf{b}_j \|, n\text{Range} = \frac{2r_0}{d_{\text{max}}} \leq 1.$$

- مسیرپذیری درونی

$$\overline{L}_{\text{geo}} = \frac{2}{M(M-1)} \sum_{i < j} d_{\text{geo}}(\mathbf{b}_i, \mathbf{b}_j; \Omega), n\text{Trav} = \square.$$

- هسته‌ی مقاوم به لبه با فرسایش مورفولوژیک پهنای w :

$$A_w = |\Omega \ominus B(\mathbf{0}, w)|, A_w^{\text{circle}} = \pi(r_0 - w)^2 (w < r_0), n\text{Int} = \square.$$

شاخص‌های آمار کمی و توصیفی برای هر سنجه شامل مرکزگرایی (میانگین، میانه)، پراکندگی (انحراف معیار، IQR)، شکل توزیع (چولگی) و بازه‌ها (کمینه/بیشینه) است؛ جداول خلاصه برای هر شهر و نیز تفکیک خوشه‌ای برحسب اندازه‌ی بلوک ارائه می‌شود تا باقیمانده‌ی اثر مقیاس قابل ردیابی باشد.

مقایسه‌ی بین‌شهری برای هر سنجه با آزمون دونمونه‌ای ناپارامتریک Mann–Whitney انجام می‌شود. برای داده‌های دو شهر با حجم n_Y (یزد) و n_A (آمل)، پس از ادغام و رتبه‌دهی با میانگین‌رتبه برای گره‌های تساوی، مجموع رتبه‌های یزد را R_Y می‌نامیم؛ آنگاه

$$U_Y = n_Y n_A + \frac{n_Y(n_Y+1)}{2} - R_Y, U_A = n_Y n_A - U_Y, U = \min(U_Y, U_A).$$

فرض صفر H_0 بر برابری توزیع‌های دو جامعه و عدم اختلاف مکانی (location) است و آزمون به‌صورت دوطرفه اجرا می‌شود. میانگین و واریانس نرمال U به‌ترتیب $\mu_U = \frac{n_Y n_A}{2}$ و

$$\sigma_U^2 = \frac{n_Y n_A}{12} \left[(N+1) - \frac{\sum g(t_g^3 - t_g)}{N(N-1)} \right], N = n_Y + n_A$$

با تصحیح گره‌های تساوی t_g (بوده و نمره‌ی نرمال)

$$Z = \frac{U - \mu_U \pm 0.5}{\sigma_U}$$

برای تقریبی‌سازی p -value به‌کار می‌رود. برای گزارش قوت اثر، «دلتای کلیف» تعریف می‌شود:

$$\delta = \frac{2U}{n_Y n_A} - 1,$$

که $\delta \in [-1, 1]$ است (مثبت به سود یزد، منفی به سود آمل). همچنین «همبستگی دوجبهی رتبه‌ای» به صورت $r_{rb} = 1 - \frac{2U}{n_Y n_A}$ گزارش می‌شود تا تفسیر هم‌ارز و شهودی فراهم گردد. برآورد اختلاف مکانی مقاوم به برون‌داد ($\hat{\theta}$) با «برآوردگر هاجز-لمن» محاسبه می‌شود:

$$\hat{\theta} = \text{median}\{x_i - \bar{y}; x_i \in Y, y_j \in A\},$$

و بازه‌ی اطمینان ۹۵٪ آن با بوت‌استرپ بازنمونه‌گیری (مثلاً ۲۰۰۰ بار) یا روش‌های رتبه‌ای دقیق ارائه می‌گردد. چون چندین سنجه (مثلاً ۱۰-۱۲ متغیر) به‌طور هم‌زمان آزمون می‌شوند، کنترل نرخ کشف نادرست با روش بنجامینی-هوچبرگ بر p -value های دوبعدی اعمال می‌شود (آستانه‌ی $\alpha = 0.05$).

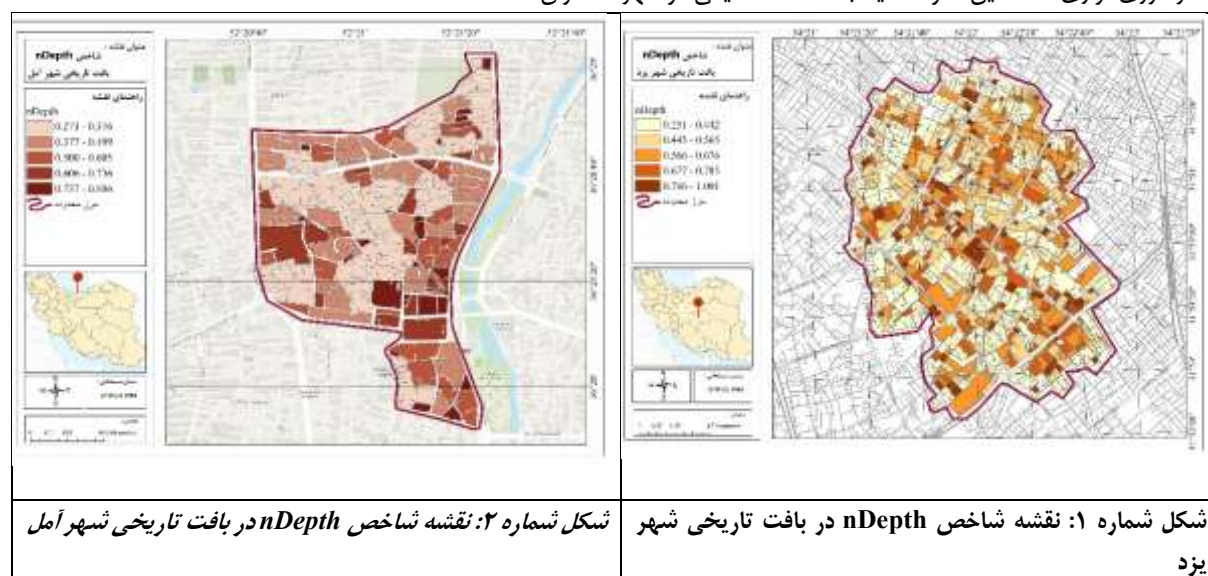
کنترل کیفیت شامل: افزایش چگالی مرز برای پایداری $nDepth$ و $nGirth$ تکرار نمونه‌برداری درونی برای کاهش واریانس $\bar{D}_{pair}$ و J و واریس دیداری برای تشخیص هندسه‌های مسأله‌دار است. خروجی نهایی، علاوه بر جدول آمار توصیفی، برای هر سنجه شامل $(U, p, \delta, r_{rb}, \hat{\theta})$ و وضعیت معناداری پس از FDR است؛ تفسیر نتایج به‌صورت «پروفایل چندشاخصی» انجام می‌شود تا تفاوت‌های اقلیمی مورد انتظار فشردگی و هسته‌ی قطورتر در یزد در برابر نفوذپذیری و کشیدگی بیشتر در آمل به‌صورت شفاف و مستقل از اندازه گزارش شود.

۴. یافته‌ها

— مقایسه مکانی-آماری یزد و آمل با شاخص $nDepth$

شاخص $nDepth$ میانگین فاصله نقاط داخلی بلوک تا مرز را (نسبت به دایره هم‌مساحت) می‌سنجد؛ مقدار بالاتر به معنای «درون‌گرایی/عمق کالبدی» بیشتر است. نتایج نشان می‌دهد یزد در سطح بلوک به‌طور معناداری عمیق‌تر از آمل است: میانگین یزد ۰.۶۳۲ در برابر ۰.۵۷۵ در آمل است؛ میانه‌ها نیز این تفوق را تأیید می‌کنند (یزد ۰.۶۴۰، آمل ۰.۵۵۶). پراکندگی مشابه است (انحراف معیار: یزد ۰.۱۵۸، آمل ۰.۱۶۲) اما دامنه یزد گسترده‌تر بوده و تا ۱.۰۰۱ می‌رسد (کمینه: ۰.۲۵۱) در حالی که آمل در بازه ۰.۲۷۳-۰.۸۸۶ قرار دارد. آزمون Mann-Whitney تفاوت را معنادار گزارش می‌کند ($U=51517.0$, $p=0.000334$, $FDR-p=0.002004$) و اندازه اثر Cliff's $\delta=0.201$ (اثر متوسط) به نفع یزد است.

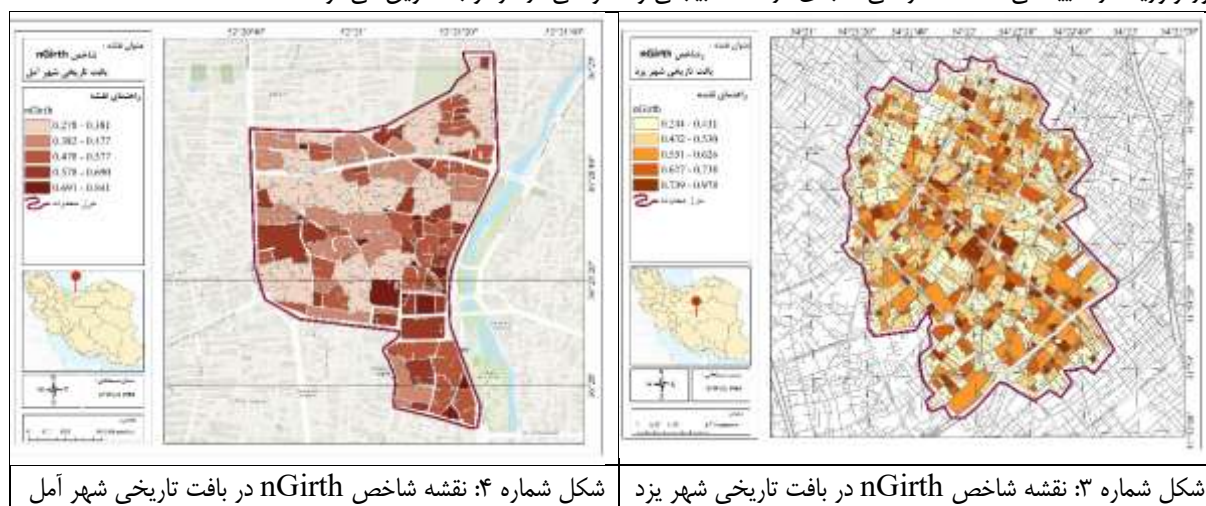
خوانش مکانی نقشه‌ها (پنج کلاس): در یزد، لکه‌ها و نوارهای $nDepth$ بالا در هسته تاریخی و امتداد محورهای اصلی به‌صورت پیوسته-لکه‌ای پدیدار است؛ این الگو نشان‌دهنده بلوک‌های قطور، محصوریت زیاد و تداوم سایه‌اندازی سازگار با اقلیم فراخشک است. در آمل، بیشینه‌ها عمدتاً در کمربند پیرامونی غرب و جنوب‌شرق و بخش‌هایی همجوار کریدور آبی-فضای باز مشاهده می‌شود و هسته مرکزی غالباً در طبقات میانی-پایین قرار دارد؛ الگوی مرطوب شهر (نیاز به تهویه و نفوذپذیری) به شکل عمق کمتر در مرکز و افزایش نسبی در لبه‌ها بازتاب یافته است. جمع‌بندی: یزد از نظر عمق کالبدی «فشرده‌تر و درون‌گراتر» است، در حالی که آمل «بازتر و کم‌عمق‌تر» بوده و عمق‌های بالاتر آن بیشتر مرزی/نواری است؛ این تفاوت دقیقاً با اقتضائات اقلیمی دو شهر همخوان است.



تحلیل مکانی-آماري یزد و آمل با شاخص nGirth

«nGirth ضخامت هسته بلوک» را نسبت به دایره هم‌مساحت می‌سنجد؛ مقدار بالاتر یعنی هسته فشرده‌تر و اثر لبه کمتر. یزد به‌طور معناداری از آمل بالاتر است: میانگین ۰.۵۹۵ در برابر ۰.۵۴۲ و میانه ۰.۵۹۲ در برابر ۰.۵۳۶؛ پراکندگی مشابه است (SD یزد=۰.۱۳۷، آمل=۰.۱۳۶). دامنه یزد وسیع‌تر بوده و تا ۰.۹۷۸ می‌رسد (کمینه ۰.۲۴۴)، در حالی که آمل در بازه ۰.۲۷۸-۰.۸۴۱ قرار دارد. آزمون Mann-Whitney تفاوت را تأیید می‌کند ($p=0.000168$, $U=51940.0$, $FDR-p=0.002004$) و اندازه اثر $Cliff's \delta=0.211$ (متوسط)، جهت‌دار به سود یزد.

خوانش نقشه‌ها نشان می‌دهد در یزد لکه‌های nGirth بالا به‌صورت خوشه‌های پیوسته-لکه‌ای در هسته تاریخی و امتداد محورهای اصلی ظاهر می‌شوند؛ این الگو ناشی از بلوک‌های قطور، حیاط‌های مرکزی و پیوستگی توده است که با اقتضای اقلیم فراخسک (نیاز به سایه، جرم‌حرارتی و تقلیل تبادل سطحی) هم‌خوانی دارد. در آمل، طبقات بالا بیشتر به‌صورت نوارهای پیرامونی و کانون‌های پراکنده در جنوب و شرق نمایان‌اند و بخش‌های مرکزی در طبقات میانی غالب‌اند؛ این الگو بازتاب اقلیم مرطوب و ترجیح بلوک‌های باریک‌تر و نفوذپذیرتر برای تهویه و دفع رطوبت است. به‌طور نتیجه‌ای، nGirth یزد تصویر «هسته‌های فشرده و مرزهای کم‌اثر» را ارائه می‌کند، در حالی که آمل با «هسته‌های نازک‌تر و تأکید لبه‌ای» شناخته می‌شود. این تفاوت، هم در اعداد (Δ میانگین ≈ 0.053) و هم در نقشه‌ها، سازوکاری اقلیمی-مورفولوژیک را تأیید می‌کند که فشردگی کالبدی در خشک‌بیابانی و گشودگی در مرطوب تشویق می‌شود.



شکل شماره ۴: نقشه شاخص nGirth در بافت تاریخی شهر آمل

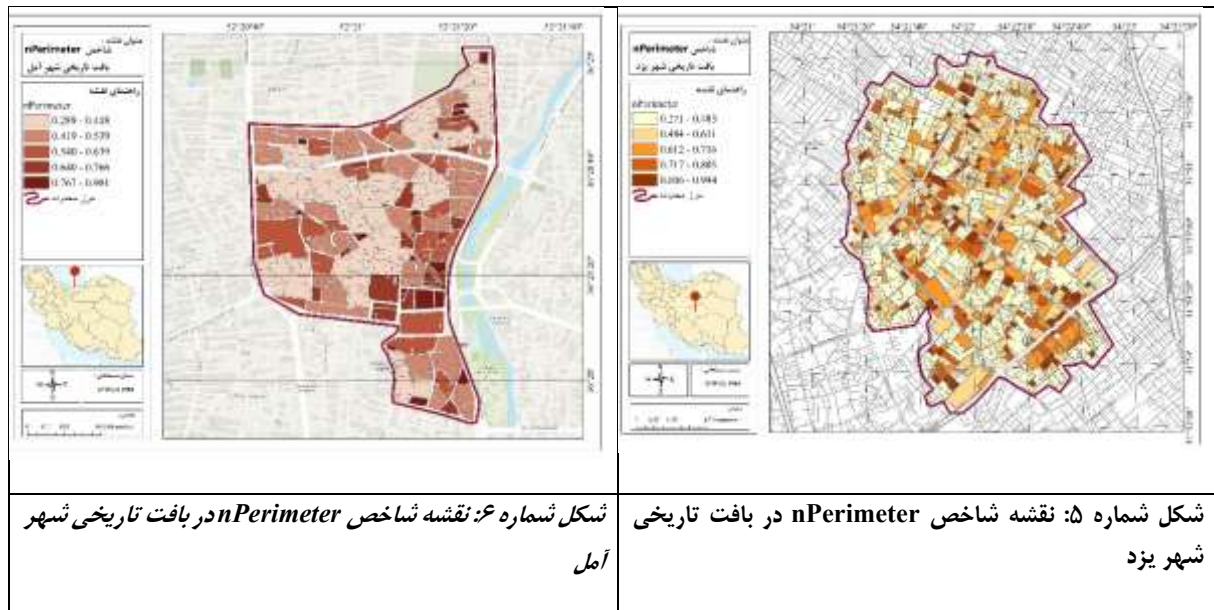
شکل شماره ۳: نقشه شاخص nGirth در بافت تاریخی شهر یزد

تحلیل مکانی-آماري یزد و آمل با شاخص nPerimeter

nPerimeter کارایی پیرامونی را نسبت به دایره هم‌مساحت می‌سنجد؛ هرچه به ۱ نزدیک‌تر، بلوک فشرده‌تر و لبه آن کم‌زبان‌تر است. یزد در این شاخص بر آمل برتری معنادار دارد: میانگین ۰.۶۶۰ در برابر ۰.۶۱۱ و میانه ۰.۶۸۵ در برابر ۰.۶۰۰؛ انحراف معیار مشابه است (یزد ۰.۱۵۴، آمل ۰.۱۶۱) و دامنه یزد گسترده‌تر است (۰.۲۷۱-۰.۹۹۴ در برابر ۰.۲۸۹-۰.۹۰۱). آزمون Mann-Whitney اختلاف را تأیید می‌کند ($p=0.002009$, $U=50316.0$, $FDR-p=0.008037$) و اندازه اثر $Cliff's \delta=0.174$ (اثر متوسط) جهت‌دار به سود یزد است؛ یعنی بلوک‌های یزد به‌طور سیستماتیک پیرامون کاراتری دارند.

خوانش مکانی نقشه‌ها (۵ کلاس) نشان می‌دهد در یزد لکه‌ها/نوارهای با مقدار بالا در هسته تاریخی و امتداد محورهای اصلی به‌صورت پیوسته-لکه‌ای ظاهر می‌شوند و کانون‌های خیلی بالا (تا ۰.۹۹) بیانگر بلوک‌های کم‌لبه و نزدیک به فرم‌های فشرده‌اند. در آمل، طبقات بالا بیشتر به‌صورت نوارهای پیرامونی و جنوبی-شرقی و کانون‌های پراکنده دیده می‌شوند و بخش‌های مرکزی غالباً در طبقات میانی قرار دارند؛ این به معنای پیرامون کم‌کارتر (شکل‌های با بریدگی/خمیدگی بیشتر) نسبت به یزد است.

در اقلیم فراخسک یزد، فشردگی پیرامونی با کاهش تبادل گرمایی-تابشی و افزایش سایه سازگار است؛ در اقلیم مرطوب آمل، لبه‌های بازتر و شکل‌های کمتر فشرده تهویه و دفع رطوبت را تقویت می‌کند. بنابراین، هم عددها و هم نقشه‌ها تصویری همگرا ارائه می‌کنند: یزد فشرده‌تر و کاراتر؛ آمل بازتر و پرلبه‌تر از منظر nPerimeter.

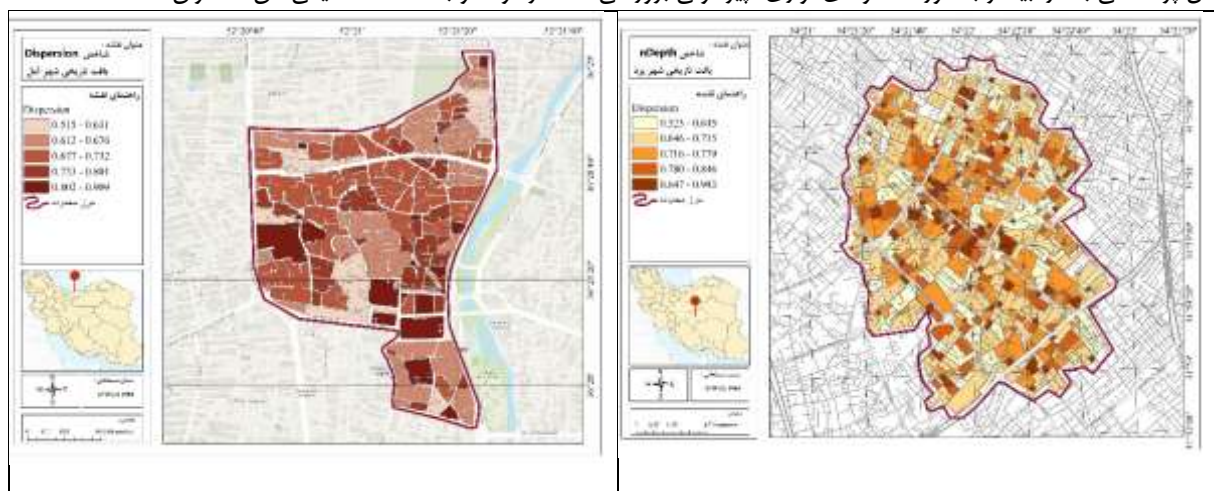


– تحلیل مکانی-آماري یزد و آمل با شاخص nDispersion

شاخص nDispersion میزان «پخش‌شدگی/غیرفشرده‌گی» بلوک را نسبت به دایره هم‌مساحت می‌سنجد؛ هرچه بزرگ‌تر، شکل کشیده‌تر/پراکنده‌تر و فاصله جرم از مرکز بیشتر است.

یزد در کل اندکی پراکندگی بیشتری از آمل دارد: میانگین 0.742 در برابر 0.718 و میانه 0.741 در برابر 0.717؛ پراکندگی دو شهر مشابه است (SD: یزد 0.092، آمل 0.084). دامنه یزد وسیع‌تر است (0.523-0.993) در برابر آمل (0.515-0.909). آزمون Mann-Whitney اختلاف را معنادار نشان می‌دهد ($U=49054.0$, $p=0.010319$, $FDR-p=0.030957$) و $\text{Cliff's } \delta=0.144$ (اثر کوچک) به سود یزد است؛ یعنی احتمال اینکه یک بلوک تصادفی در یزد nDispersion بالاتری از آمل داشته باشد، به‌طور معنادار اندکی بیشتر است. در یزد لکه‌های «بسیار بالا» به‌صورت خوشه‌های پیوسته-لکه‌ای در هسته تاریخی و برخی محورهای اصلی دیده می‌شود؛ نشانه بلوک‌های نسبتاً کشیده/لبه‌دار در میان بافت فشرده گرم‌خشک که به ایجاد سطوح سایه‌انداز و شکست تابش کمک می‌کند. در آمل، پهنه‌های «بالا» به‌صورت نوارهای پیرامونی و پیرامون کریدور آبی-فضای باز شرق شهر گسترش یافته‌اند؛ الگوی مرطوب و نیاز به تهویه طبیعی با شکل‌های بازتر و لبه‌های نفوذپذیرتر سازگار است.

شدت رنگ‌ها بین دو نقشه به‌دلیل کلاسه‌بندی مستقل هر شهر قابل مقایسه مستقیم نیست؛ قضاوت بین‌شهری باید بر اعداد بالا تکیه کند. جمع‌بندی: یزد، علیرغم فشردگی عمومی، در بخشی از بلوک‌ها «پخش‌شدگی لبه‌ای» بیشتری نشان می‌دهد (Δ میانگین ≈ 0.24)، در حالی که آمل پراکندگی بالا را بیشتر به‌صورت الگوهای نواری-پیرامونی بروز می‌دهد؛ هر دو الگو با اقتضائات اقلیمی‌شان همخوان است.



شکل شماره ۷: نقشه شاخص nDispersion در بافت تاریخی شهر یزد	شکل شماره ۸: نقشه شاخص nDispersion در بافت تاریخی شهر آمل
---	---

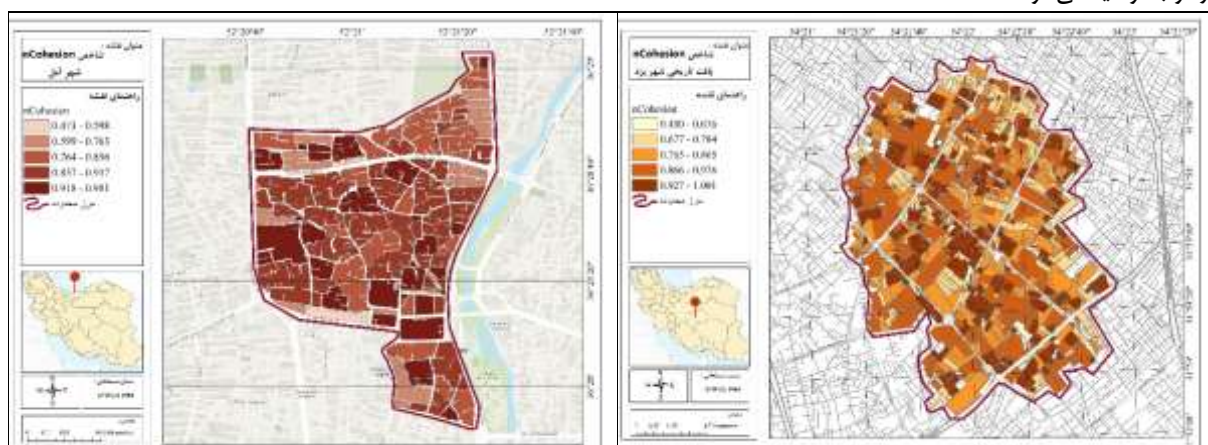
— تحلیل مکانی-آماري یزد و آمل با شاخص nCohesion

شاخص nCohesion سنجه یکپارچگی/فشرده‌گی شکل بلوک نسبت به دایره هم‌مساحت است؛ مقدار بالاتر یعنی مرز کم‌تورفتگی تر و توده منسجم‌تر.

یزد به‌طور میانگین بالاتر از آمل است: میانگین ۰.۸۶۷ در برابر ۰.۸۵۰ و میانه ۰.۸۹۳ در برابر ۰.۸۸۲؛ پراکندگی‌ها نزدیک‌اند (SD یزد=۰.۰۹۵، آمل=۰.۱۰۵) و دامنه‌ها به‌ترتیب ۰.۴۸۰-۱.۰۰۱ و ۰.۴۷۳-۰.۹۸۱. مقایسه ناپارامتری نشان می‌دهد تفاوت در سطح اسمی معنادار است اما پس از اصلاح چندآزمونی پایدار نیست: Mann-Whitney U=48020.0, p=0.047, FDR-p=0.106. اندازه اثر Cliff's $\delta=0.111$ (کوچک) و جهت‌دار به نفع یزد است.

در یزد لکه‌های با nCohesion بالا به‌صورت خوشه‌های پیوسته-لکه‌ای در هسته تاریخی و پیرامون محورهای اصلی دیده می‌شود و کمینه‌ها عمدتاً در نواحی مرزی در تماس با توسعه‌های متأخر قرار دارد؛ الگویی سازگار با اقلیم فراخشک که فشرده‌گی، سایه‌اندازی پیوسته و کاهش تبادل سطحی را مطلوب می‌کند. در آمل، نقشه تصویری یکنواخت‌تر و غالباً پرازش ارائه می‌کند (طبقات بالاتر رویه غالب)، اما pockets روشن‌تری پیرامون ستون فقرات بازار/گذرهای پرتدد و حاشیه شمالی دیده می‌شود؛ این الگو با اقلیم مرطوب و نیاز به نفوذپذیری و تهویه بیشتر همخوان است و اندک کاهش انسجام را نسبت به یزد توضیح می‌دهد.

هر دو بافت از نظر انسجام بالا هستند؛ یزد اندکی منسجم‌تر (Δ میانگین ≈ 0.017) اما تفاوت کوچک است. حفاظت در یزد باید بر صیانت از مرزهای کم‌تورفتگی و پیوستگی توده تأکید کند؛ در آمل، حفظ انسجام همراه با مدیریت روزنه‌ها/نفوذپذیری برای پشتیبانی تهویه اقلیم مرطوب توصیه می‌شود.



شکل شماره ۹: نقشه شاخص nCohesion در بافت تاریخی شهر یزد	شکل شماره ۱۰: نقشه شاخص nCohesion در بافت تاریخی شهر آمل
---	--

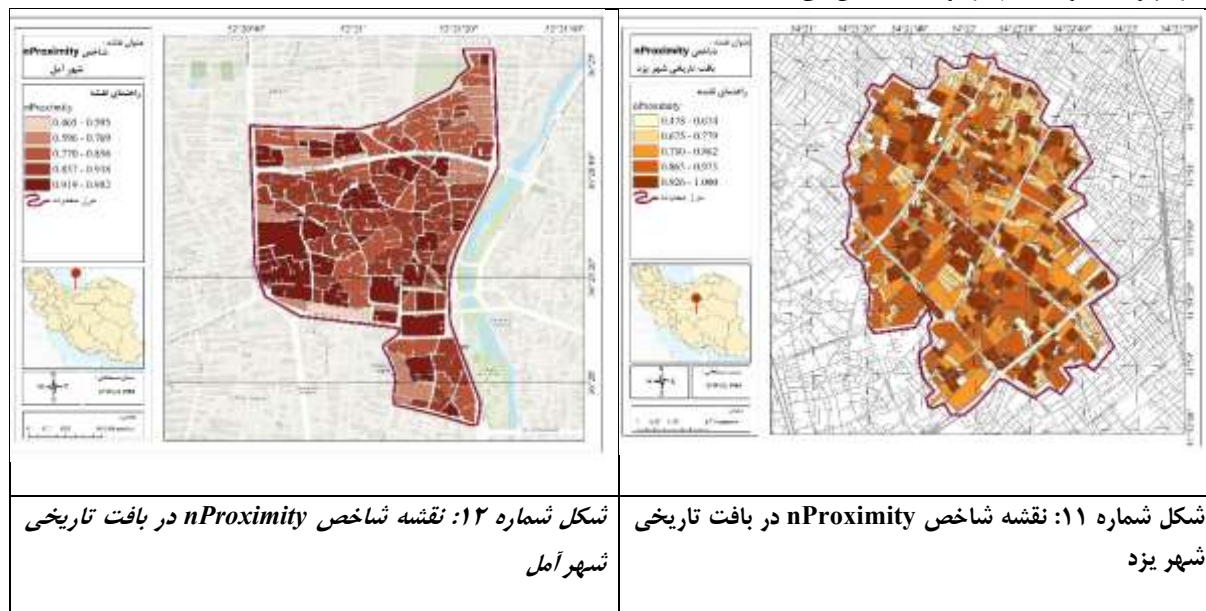
— تحلیل مکانی-آماري یزد و آمل با شاخص nProximity

شاخص nProximity سنجه «تمرکز شعاعی جرم بلوک پیرامون مرکز هم‌مساحت» است؛ مقدار بالاتر یعنی توده داخلی نزدیک‌تر به مرکز و فرم رادیال فشرده‌تر.

هر دو بافت در سطح بالا قرار دارند و تفاوت اندک است: میانگین یزد ۰.۸۶۸ در برابر آمل ۰.۸۵۱ ($\Delta \approx 0.017$)؛ میانه‌ها ۰.۸۹۶ و ۰.۸۸۵. انحراف معیار مشابه است (یزد ۰.۰۹۸، آمل ۰.۱۰۸) و دامنه‌ها ۰.۴۷۸-۱.۰۰۰ در یزد و ۰.۴۶۵-۰.۹۸۲ در آمل. آزمون ناپارامتری نشان می‌دهد اختلاف پس از اصلاح چندآزمونی معنادار نیست: Mann-Whitney U=47538.0, p=0.0529, FDR-p=0.1058. اندازه اثر Cliff's $\delta=0.109$ (کوچک) و جهت‌دار به سود یزد.

در یزد لکه‌های «خیلی بالا» به صورت خوشه‌های هسته‌ای و نوارهای هم‌راستا با محورهای اصلی دیده می‌شود؛ نشانه فرم‌های درون‌گرا و فشرده که با اقلیم فراخشک (نیاز به سایه و کاهش تبادل تابشی) سازگار است. در آمل، گستره‌های وسیعی در طبقات بالا قرار دارند و pockets کم‌ارزش‌تر در امتداد ستون فقرات شبکه و حاشیه شمالی-میانی دیده می‌شود؛ الگوی مرطوب شهر با حفظ تمرکز کلی جرم و در عین حال نفوذپذیری برای تهویه همخوان است.

هر دو بافت تاریخی از نظر nProximity بسیار متمرکزند؛ یزد اندکی رادیال‌فشرده‌تر است، اما تفاوت کوچک و غیرمعنادار (FDR). پیام کاربردی: در یزد، حفاظت از فشردگی رادیال هسته‌ها مزیت اقلیمی را تداوم می‌بخشد؛ در آمل، حفظ این تمرکز همراه با مدیریت نفوذپذیری معابر، تهویه مطلوب اقلیم مرطوب را تضمین می‌کند.

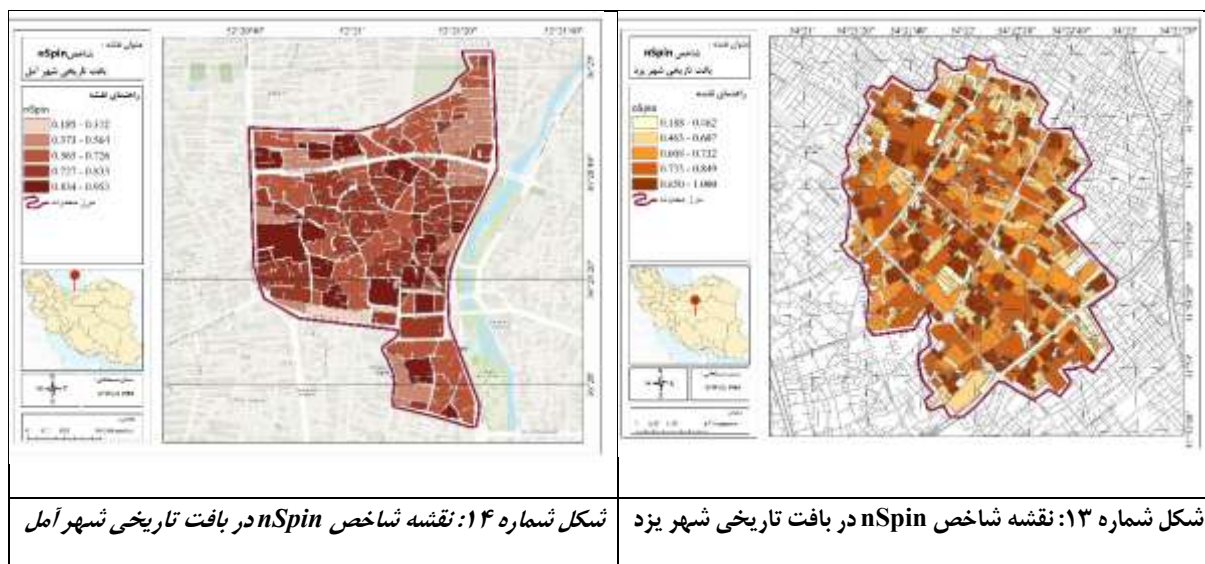


— تحلیل مکانی-آماري یزد و آمل با شاخص nSpin

شاخص nSpin سنج «تمرکز/چگالی جرم پیرامون مرکز هم‌مساحت» است؛ هرچه بزرگ‌تر، سهم حجم مرکزی بیشتر و فرم به دایره هم‌مساحت نزدیک‌تر (گرانیگاه پرمایه‌تر، لبه‌ها کم‌اثرتر).

هر دو بافت در سطح بالا قرار دارند و تفاوت بین‌شهری کوچک است. میانگین یزد ۰.۷۲۵ در برابر آمل ۰.۶۹۸ ($\Delta \approx 0.027$) و میان‌ها ۰.۷۶۵ و ۰.۷۴۰ است؛ SD تقریباً برابر (یزد ۰.۱۷۱، آمل ۰.۱۷۵) و دامنه‌ها ۰.۱۸۸-۱.۰۰۰ و ۰.۱۸۵-۰.۹۵۳. مقایسه ناپارامتری: Mann-Whitney U=47123.0، $p=0.0778$ ، $FDR-p=0.1335$ (پس از اصلاح معنادار نیست). اندازه اثر $Cliff's \delta=0.099 \rightarrow$ کوچک و جهت‌دار به نفع یزد.

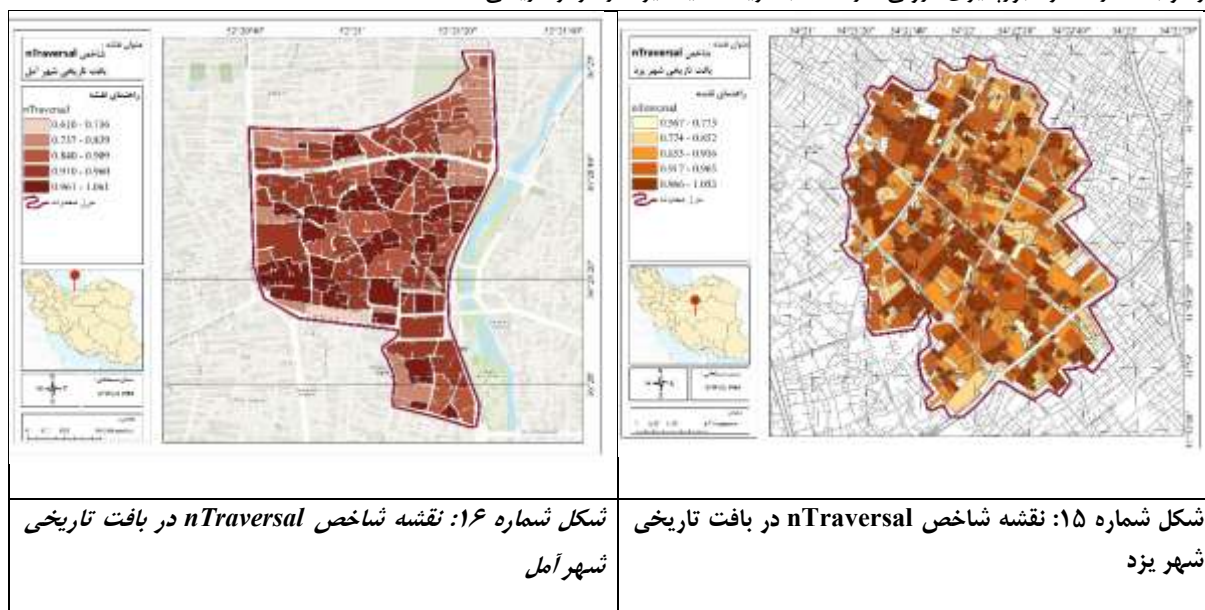
در یزد لکه‌های «بسیار بالا» به صورت خوشه‌های هسته‌ای و نوارهای هم‌راستا با محورهای تاریخی پدیدار است؛ نواحی «پایین» بیشتر در کمربندهای مرزی و قطعات در تماس با توسعه‌های متأخر دیده می‌شود. در آمل گستره وسیعی از بافت در طبقات بالا قرار دارد و pockets کم‌ارزش‌تر عمدتاً در شمال‌باختری و برخی قطعات میانی دیده می‌شود؛ یعنی تمرکز جرمی کلی بالاست، اما یک‌دست‌تر از یزد. برتری خفیف یزد در nSpin با منطق فراخشک (نیاز به توده مرکزی فشرده برای کاهش تبادل تابشی-حرارتی) سازگار است؛ در مرطوب آمل، گرچه تمرکز جرمی بالاست، پیکربندی‌ها اندکی بازتر می‌مانند تا تهویه تقویت شود. راهبردی: در یزد حفاظت از «هسته پرجرم» و پرهیز از برش‌های حفره‌ای؛ در آمل حفظ تمرکز همراه با مدیریت روزنه‌ها/گذرها جهت پایداری تهویه.



— تحلیل مکانی— آماری یزد و امل با شاخص nTraversal
 شاخص nTraversal کارایی «عبور کوتاه‌ترین مسیرها درون بلوک» را نسبت به دایره هم‌مساحت می‌سنجد؛ مقدار بزرگ‌تر یعنی نفوذپذیری درونی بیشتر و می‌ان‌برهای کوتاه‌تر (کارآمدی شکل برای عبور).
 هر دو بافت در سطح بسیار بالا قرار دارند و اختلاف اندک است. یزد: میانگین ۰.۹۱۹، میانه ۰.۹۳۸، $SD=0.074$ ، بازه -0.567 تا ۱.۰۵۳. امل: میانگین ۰.۹۰۷، میانه ۰.۹۳۶، $SD=0.083$ ، بازه 0.610 تا ۱.۰۶۱. آزمون ناپارامتری نشان می‌دهد تفاوت بین شهری پس از کنترل چندآزمونی معنادار نیست: Mann-Whitney $U=46751.0$, $p=0.1076$, $FDR-p=0.1615$ ؛ اندازه اثر Cliff's $\delta=0.090$ (کوچک، به نفع یزد).

در یزد پهنه‌های «خیلی بالا» به‌صورت لکه‌های پیوسته—لکه‌ای در هسته تاریخی و امتداد محورهای اصلی دیده می‌شود؛ مقادیر «پایین/میانی» بیشتر در کمربندهای مرزی و قطعات در تماس با توسعه‌های متأخر است. در امل، گستره بزرگی از بافت در طبقات بالا و خیلی بالا قرار دارد و جیب‌های کم‌ارزش‌تر محدود و پراکنده‌اند؛ الگوی یکدست نفوذپذیری بالا با ساختار معابر ریزدانه و بازتاب نیاز اقلیم مرطوب به تهویه سازگار است.

تبیین اقلیمی: با وجود فشردگی گرم‌خشک یزد، nTraversal بالا نشان می‌دهد شبکه درونی و تناسبات بلوک‌ها امکان عبور کارآمد را حفظ کرده‌اند؛ در امل، بازشدگی و پیوستگی معابر در خدمت تهویه، نفوذپذیری را در سطحی هم‌تراز نگه می‌دارد. نتیجه: تفاوت کوچک و غیرمعنادار؛ هر دو بافت از منظر عبورپذیری درونی کارآمدند، با مزیت خفیف یزد در مرکز تاریخی.



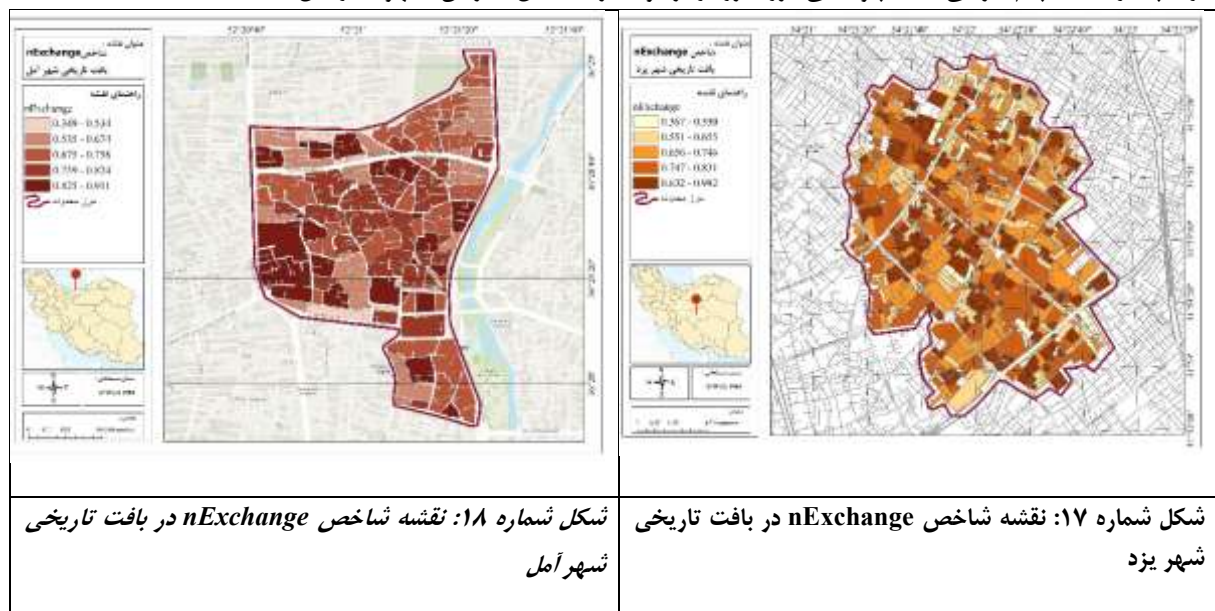
تحلیل مکانی-آماري یزد و آمل با شاخص nExchange

شاخص nExchange سنج «درجه تبادل/تماس فضایی» بلوک با پیرامون (هم‌نشینی و طول مرزهای مشترک، مستقل از اندازه) است؛ مقدار بالاتر به معنای ادغام‌پذیری بیشتر در شبکه بافت است.

از نظر آمار توصیفی یزد اندکی بالاتر از آمل است: میانگین 0.744 در برابر 0.727 و میانه 0.767 در برابر 0.756؛ انحراف معیار مشابه (یزد 0.120، آمل 0.124). دامنه یزد 0.367-0.992 و آمل 0.349-0.911 است که گستره تغییرات یزد را بیشتر نشان می‌دهد.

تفاوت بین‌شهری از نظر آزمون ناپارامتری معنادار نیست (Mann-Whitney U=45973, p=0.198, FDR-p=0.265). اندازه اثر Cliff's $\delta=0.064$ (کوچک، جهت‌دار به سود یزد) نشان می‌دهد احتمال برتری یک بلوک تصادفی در یزد نسبت به آمل اندک است. در یزد، لکه‌های «بالا/خیلی‌بالا» به‌صورت خوشه‌های پیوسته در هسته تاریخی و امتداد محورهای بازار-مسیرهای اصلی پدیدار است و مقادیر میانی-پایین عمدتاً در کمربندهای مرزی و نقاط در تماس با توسعه‌های متأخر دیده می‌شود؛ نشانه ریزدانی و تماس لبه‌ای فراوان که پاسخ اقلیم فراخشک به ایجاد سایه و پیوستگی فضایی است. در آمل، طبقات «بالا» به‌طور نسبتاً یکنواخت بر پهنه مرکزی-میانی غلبه دارد و جیب‌های میانی/پایین در شمال‌باختری و پیرامون کریدورهای باز مشاهده می‌شود؛ الگوی سازگار با اقلیم مرطوب که نفوذپذیری و تبادل هوا را تسهیل می‌کند.

هر دو بافت از نظر «nExchange ادغام‌پذیر و پرتماس» اند؛ یزد کمی متنوع‌تر و در هسته قوی‌تر است، اما اختلاف بین‌شهری از نظر آماری پایدار نیست. پیام طراحی: حفظ پیوستگی مرز-مرز در یزد و مدیریت تبادل همزمان با تهویه در آمل.



تحلیل مکانی-آماري یزد و آمل با شاخص nRange

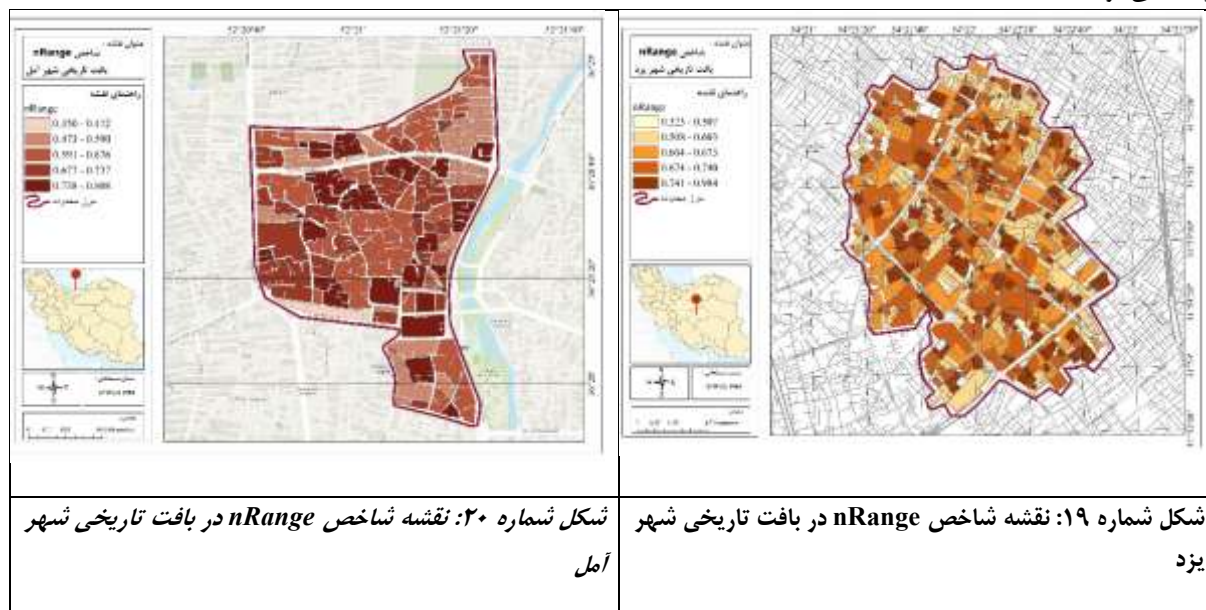
شاخص nRange دامنه پراکنش شعاعی جرم بلوک را نسبت به دایره هم‌مساحت می‌سنجد؛ مقدار بزرگ‌تر یعنی ناهمگنی بیشتر فاصله نقاط داخلی از مرکز (کشیدگی/پهنای دامنه شکل).

یزد اندکی بالاتر از آمل است: میانگین 0.666 در برابر 0.654 و میانه 0.682 در برابر 0.664؛ انحراف معیار مشابه (یزد 0.096، آمل 0.101). دامنه یزد 0.323-0.984 و آمل 0.350-0.808 است؛ یعنی یزد «دُم‌بلندتری» از بلوک‌های بسیار کشیده دارد.

اختلاف بین‌شهری معنادار نیست (Mann-Whitney U=45365, p=0.301, FDR-p=0.362). اندازه اثر Cliff's $\delta=0.058$ → (کوچک جهت‌دار به سود یزد).

در یزد لکه‌های «بسیار بالا» به‌صورت رشته-لکه در پیرامون و در امتداد محورهای کشیده تاریخی نمایان‌اند و بخش‌هایی از هسته در طبقات میانی قرار دارد؛ الگوی گرم‌خشک فشرده با حضور قطعات کشیده که مسیر سایه و جریان باد کانالی شده می‌سازند. در آمل، طبقات بالا به‌شکل پهنه‌های وسیع نسبتاً یکنواخت در بدنه میانی-مرکزی دیده می‌شوند و pockets پایین محدودند؛ با اقلیم مرطوب سازگار است که به کشیدگی ملایم/یکنواخت برای تهویه طبیعی نیاز دارد، هرچند سقف مقادیر (≥ 0.808) نشان می‌دهد کشیدگی‌های افراطی کمتر رخ می‌دهد.

تفاوت کلی nRange کوچک و غیرمعتادار است، اما یزد هتروژنی بالاتری (ماکزیمم ۰.۹۸۴) و استعداد شکل‌های بسیار کشیده دارد؛ حفاظت باید از افراط کشیدگی لبه‌ها در مجاورت هسته جلوگیری کند. در آمل، حفظ کشیدگی ملایم همراه با مدیریت نفوذپذیری برای پایداری تهویه توصیه می‌شود.



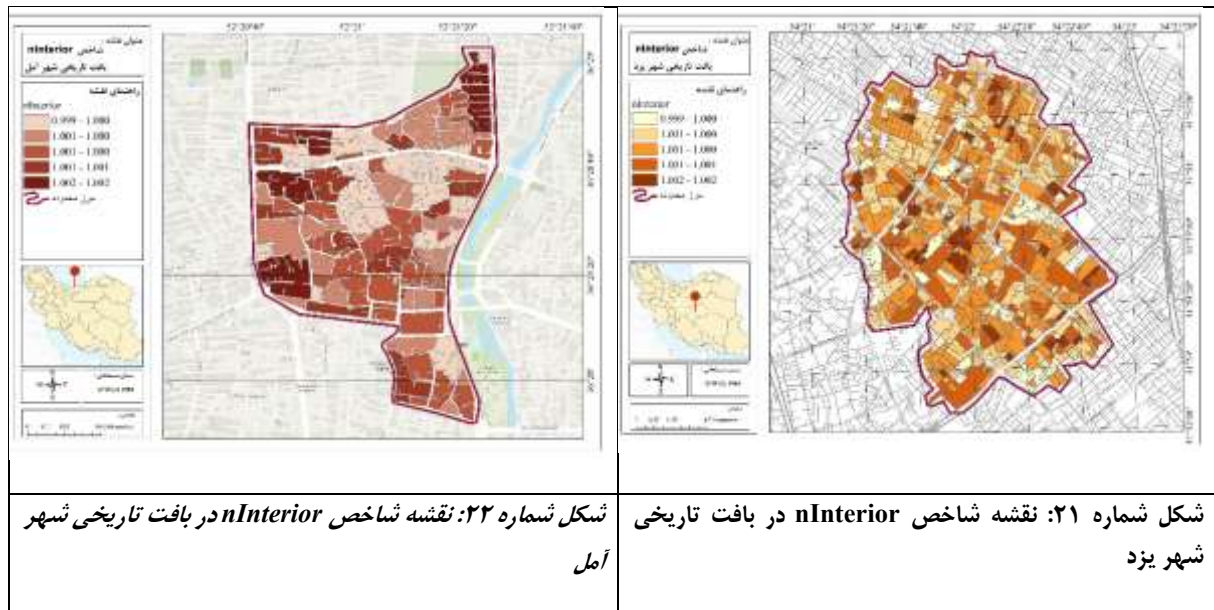
— تحلیل مکانی-آماري یزد و آمل با شاخص nInterior

شاخص nInterior نسبت وزن بخش‌های داخلی بلوک به مرز، نرمال شده با دایره هم‌مساحت (EAC) است؛ مقدار ۱ وضعیت مرجع، >1 غلبه «جرم داخلی» و <1 غلبه «لبه» را نشان می‌دهد.

هر دو بافت عملاً در حوالی ۱ قرار دارند: یزد (میانگین $=1.000$ ، میانه $=1.000$ ، $SD \approx 0.000$ ، بازه $1.002-0.999$) و آمل (میانگین $=1.000$ ، میانه $=1.000$ ، $SD=0.001$ ، بازه $1.002-0.999$). واریانس بسیار ناچیز ($CV \ll 1\%$) بیانگر اثر سقف و هم‌شکلی بالا در این سنجه است.

تفاوت بین‌شهری معنادار نیست ($Mann-Whitney U=40795.0$ ، $p=0.388$ ، $FDR-p=0.423$)، اندازه اثر Cliff's $\delta=-0.049$ (کوچک) و بی‌اهمیت از نظر عملی است؛ یعنی احتمال برتری یکی بر دیگری تقریباً برابر است.

در هر دو نقشه، مقادیر عمدتاً در طبقات میانی-بالا حول ۱ توزیع شده‌اند و تنها جیب‌های بسیار محدود با انحراف مثبت/منفی دیده می‌شود؛ تفاوت بصری پررنگ بخشی ناشی از کلاسه‌بندی مستقل هر شهر است و نباید به تنهایی مبنای قضاوت بین‌شهری قرار گیرد. چون nInterior به‌طور ذاتی به اشکال نسبتاً فشرده/هم‌ویلاي تاریخی حساسیت اندکی دارد، تفاوت اقلیمی فراخشک-مرطوب در این شاخص بروز نمی‌کند. برای تمایز اقلیمی، شاخص‌های حساس به لبه و عمق مانند nDepth، nGirth و nPerimeter کاراترند. توصیه می‌شود برای افزایش قدرت تفکیک، تحلیل حساسیت مقیاس شبکه و استخراج nInterior در پنجره‌های کوچک‌تر یا همراه با شاخص‌های لبه‌محور انجام شود.



تحلیل مکانی-آماري یزد و آمل با شاخص nDetour

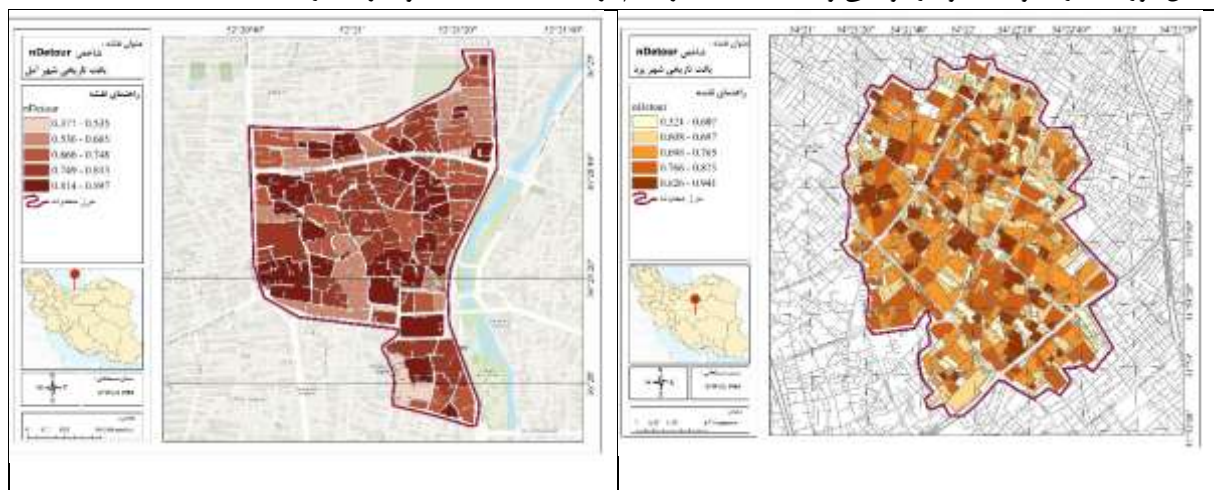
شاخص nDetour نسبت «محیط واقعی» به «محیط پوسته محدب» (نرمال شده) است؛ هرچه بزرگتر، لبه نامنظم تر/تورفتگی بیشتر و مسیر عبور پیرامونی پریچ وخم تر.

هر دو بافت در بازه نسبتاً بالا قرار دارند. یزد: میانگین 0.731، میانه 0.746، $SD=0.091$ ، دامنه 0.324-0.941. آمل: میانگین 0.728، میانه 0.756، $SD=0.110$ ، دامنه 0.377-0.897. بنابراین یزد گستره بیشتری از لبه های بسیار نامنظم دارد (ماکزیمم=0.941) و آمل پراکندگی بیشتری درون دامنه معمول نشان می دهد (SD بالاتر).

اختلاف بین شهری معنادار نیست ($Mann-Whitney U=41210.0$, $p=0.4896$, $FDR-p=0.4896$). اندازه اثر Cliff's $\delta=-0.039$ (کوچک)؛ با وجود میانگین کمی بالاتر در یزد، شکل توزیعها باعث می شود احتمال مقادیر بزرگتر در آمل اندکی بیشتر باشد (میانه آمل بالاتر).

در یزد لکه های «خیلی بالا» به صورت کانون های پراکنده در کمربندهای مرزی و امتداد برخی محورهای تاریخی دیده می شود؛ نشانه لبه های دنداندار در تماس با توسعه های متأخر. در آمل، طبقات «بالا» به طور یکنواختتری بر بخش های مرکزی-میانی غالب اند؛ الگوی شبکه ریزدانه و اتصال های فرعی متعدد. چون کلاسه بندی هر نقشه مستقل است، مقایسه بصری رنگ ها بین شهرها معتبر نیست و باید به اعداد تکیه کرد.

برخلاف شاخص هایی چون $nDepth/nGirth/nPerimeter$ که اثر اقلیم را واضح نشان دادند، منشأ «لبه نامنظمی» بیش از اقلیم، به تداخل دوره های رشد و ساخت و ساز موضعی وابسته است؛ لذا اثر اقلیم بر $nDetour$ ضعیف و غیرمعنادار مشاهده شد.



شکل شماره ۲۳: نقشه شاخص nDetour در بافت تاریخی شهر یزد	شکل شماره ۲۴: نقشه شاخص nDetour در بافت تاریخی شهر آمل
--	--

۵. بحث

برآیند ۱۲ شاخص نرمال‌شده نشان می‌دهد تفاوت اقلیمی «فراخشک یزد» و «مرطوب آمل» بیش از همه در سنجه‌های عمق و فشردگی بلوک‌ها بروز می‌کند. یزد در nDepth (میانگین ۰.۶۳۲ در برابر ۰.۵۷۵؛ $U=51517$ ؛ $FDR-p=0.002$ ؛ $\delta=0.202$ ، اثر متوسط)، nGirth (۰.۵۹۵ در برابر ۰.۵۴۲؛ $U=51940$ ؛ $FDR-p=0.002$ ؛ $\delta=0.211$ ، متوسط) و nPerimeter (۰.۶۶۰ در برابر ۰.۶۱۱؛ $U=50316$ ؛ $FDR-p=0.008$ ؛ $\delta=0.174$ ، متوسط) به‌طور پایدار بالاتر است. nDispersion نیز با اثری کوچک اما معنادار به سود یزد است (۰.۷۴۲ در برابر ۰.۷۱۸؛ $U=49054$ ؛ $FDR-p=0.031$ ؛ $\delta=0.144$). سایر شاخص‌ها از جمله nProximity، nInterior، nDetour، nRange، nExchange، nTraversal، nCohesion بین‌شهری نرسیدند (مثلاً nProximity: $U=47538$ ؛ $FDR-p=0.106$ ؛ $\delta=0.109$ ؛ nTraversal: $U=46751$ ؛ $FDR-p=0.162$ ؛ $\delta=0.090$).

خوانش مکانی نقشه‌ها این الگو را تقویت می‌کند: در یزد، دهک‌های بالایی nDepth/nGirth/nPerimeter به‌صورت خوشه‌های پیوسته-لکه‌ای در هسته تاریخی و امتداد محورهای اصلی پدیدار است؛ این پیکربندی با نیاز اقلیم فراخشک به سایه پیوسته، جرم حرارتی بالا و کاهش تبادل تابشی-حرارتی همخوان است (حسینی و همکاران، ۱۴۰۱؛ رضایی و همکاران، ۱۴۰۱؛ شیرین‌زاده و همکاران، ۱۴۰۰؛ غفاری و همکاران، ۱۴۰۲). در آمل، مقادیر بالا بیشتر به شکل نوارهای پیرامونی و در امتداد کریدورهای باز/آبی دیده می‌شود و هسته مرکزی غالباً در طبقات میانی قرار دارد؛ این الگوی بازتر به تهویه طبیعی و دفع رطوبت یاری می‌رساند (کریمی و همکاران، ۱۴۰۳؛ ابراهیمی و رحیمی، ۱۴۰۱). بنابراین، تفاوت اقلیمی نه فقط در میانگین‌ها، بلکه در ریخت‌شناسی فضایی لکه‌ها و نوارهای شاخص‌ها نیز انعکاس می‌یابد. از منظر سازوکار، برتری یزد در nDepth ($\Delta \approx 0.057$ ؛ میانه ۰.۶۴۰ در برابر ۰.۵۵۶) با «درون‌گرایی کالبدی» سازگار است: حیاط مرکزی، دیوارهای ستبر و نسبت H/W بزرگ‌تر در معابر تاریخی، مسیرهای عمیق‌تر و هسته‌های فشرده‌تر می‌سازد (حسینی و همکاران، ۱۴۰۱؛ رضایی و همکاران، ۱۴۰۱). nPerimeter و nGirth بالاتر نیز به «هسته‌های قطور و پیرامون کارآمد» اشاره دارد؛ منطقی‌ترین پاسخ به تابش شدید، شکل‌های کم‌لبه‌تر و فشرده‌تر است. در آمل با وجود مقادیر مطلقاً بالا این سنجه‌ها پایین‌تر می‌مانند، زیرا فرم‌های باریک‌تر و نفوذپذیرتر جریان هوای مرطوب را تسهیل می‌کنند و از ماندگاری رطوبت میکاهند (کریمی و همکاران، ۱۴۰۳؛ ابراهیمی و رحیمی، ۱۴۰۱). nDispersion اندکی بزرگ‌تر در یزد نشان می‌دهد بخشی از بلوک‌ها ضمن فشردگی کلی، کشیدگی لبه‌ای دارند که شکست تابش و تولید سایه‌های خطی را ممکن می‌کند.

یافته‌های حاضر با ادبیات داخلی درباره بافت‌های گرم‌خشک و درون‌گرا همسو است: نقش حیاط مرکزی، دیوارهای قطور و نسبت‌های H/W بزرگ در یزد به‌عنوان پاسخ اقلیمی بارها گزارش شده است (حسینی و همکاران، ۱۴۰۱؛ رضایی و همکاران، ۱۴۰۱؛ شیرین‌زاده و همکاران، ۱۴۰۰؛ غفاری و همکاران، ۱۴۰۲). در اقلیم مرطوب، کارایی تهویه طبیعی و تنظیم رطوبت به فرم‌های بازتر و پیوستگی مسیرهای باد نیاز دارد (کریمی و همکاران، ۱۴۰۳؛ ابراهیمی و رحیمی، ۱۴۰۱). در پژوهش‌های بین‌المللی نیز اثر شاخص‌های هندسی (مانند دید آسمان و نمای بنا) بر دمای سطح و آسایش حرارتی به‌صورت چندمقیاسی نشان داده شده است (Chan et al., 2024; Sun et al., 2024). اگرچه این مطالعه دما را مستقیماً نمی‌سنجد، الگوی «فشردگی بیشتر در یزد» و «بازشدگی نسبی آمل» با آن بدنه دانسته‌ها سازگار است. افزون بر این، همگرایی شاخص‌های شبکه‌محور (nTraversal/nExchange) با این ایده همخوان است که ریزدانه‌بودن تاریخی شبکه معابر در شهرهای متفاوت می‌تواند به سطحی از کارایی مشترک منجر شود (Durst et al., 2024).

از منظر روش‌شناختی، بهره‌گیری از EAC و سبکی از n-شاخص‌ها اجازه داده است مقایسه‌ای «مستقل از اندازه» انجام شود و شدت تفاوت‌ها با اندازه اثر δ Cliff's کنار p و FDR سنجیده شود؛ رویکردی که از اغراق چندآزمونی پیشگیری و تفسیر عملی نتایج را ممکن می‌کند (Yuan et al., 2025; He & Weng, 2025). در مقابل، سنجه‌هایی چون nRange و nDetour که نامنظمی لبه و دامنه شکل را بازتاب می‌دهند بیش از آنکه اقلیم‌محور باشند، به تاریخ توسعه، ریزتقسیم‌های ثبتی و الحاقات پیرامونی حساس‌اند؛ ازاین‌رو تفاوت معناداری بروز نکرد ($FDR-p \approx 0.49$ و ۰.۳۶). nInterior نیز به‌دلیل «اثر سقف» پیرامون ۱، توان تفکیک اقلیمی اندکی داشت. اعتبار ادعاها با سه قید بهبود یافته است: (۱) اتکا به آزمون‌های ناپارامتری و گزارش δ در کنار FDR؛ (۲) تفسیر نقشه‌ها با تأکید بر این‌که کلاسه‌بندی هر شهر مستقل است و مقایسه رنگ‌ها بین‌شهری از نظر بصری معتبر نیست؛ (۳) پایش سازگاری الگوها در سطح «میان‌ها»

علاوه بر میانگین‌ها. با این حال، نتایج به مقیاس شبکه حساس‌اند و انجام تحلیل حساسیت (مثلاً سلول‌های ۷۵×۷۵ و ۱۲۵×۱۲۵ متر) و پروفایل‌های شعاعی مرکز-حاشیه می‌تواند شیب‌های فضایی شاخص‌ها را آشکارتر سازد. در گام‌های آینده، استفاده از مدل‌های چندسطحی یا MGWR برای جداسازی اثرات اقلیم از کاربری زمین/اجتماع، و پیوند دادن شاخص‌های دوبعدی با سنج‌های سه‌بعدی (SVF/BVF) توصیه می‌شود.

پیامدهای طراحی و سیاستی به‌طور شاخص‌محور چنین جمع‌بندی می‌شود: در یزد، صیانت از پیوستگی سایه و هسته‌های فشرده و کنترل زبری لبه در قطعات با nDetour بالا؛ پرهیز از بازشوهای بزرگ رو به معابر باریک و تقویت نسبت H/W در محورهایی که nDepth پایین‌تری دارند. در آمل، حفظ راه‌بادها و پیوستگی فضاهای باز پیرامون کریدورهای آبی، و بهسازی «عمق کالبدی» هسته‌های کم‌عمق با رواق/سایه‌بان پیوسته و انتظام بدنه‌ها، بدون تضعیف نفوذپذیری شبکه. به‌طور کلی، اقلیم تفاوت‌های معناداری در عمق و فشردگی ایجاد کرده است، اما پیکربندی شبکه در هر دو بافت به سطحی از کارایی مشترک میل می‌کند. این جمع‌بندی، پلی میان روایت‌های کیفی محلی و چارچوب‌های کمی بین‌المللی می‌سازد و می‌تواند مبنای بازآفرینی شاخص‌محور و مکان‌مرجع در بافت‌های تاریخی هم‌اقلیم قرار گیرد.

۶. نتیجه‌گیری

این پژوهش با هدف سنجش نقش اقلیم در تفاوت‌های مورفولوژیک بافت‌های تاریخی یزد و آمل، از رویکرد دایره هم‌مساحت (EAC)، محاسبه ۱۲ شاخص نرمال‌شده مستقل از اندازه، تحلیل مکانی نقشه‌ها و آزمون‌های ناپارامتریک استفاده کرد. نتایج نشان داد که اثر اقلیم بیش از همه در شاخص‌های مرتبط با «عمق کالبدی»، «ضخامت هسته» و «فشردگی پیرامونی» آشکار می‌شود. بر این اساس، یزد در شاخص‌های nDepth، nGirth، nPerimeter به‌طور معناداری مقادیر بالاتری نسبت به آمل دارد؛ به‌ترتیب nDepth با میانگین ۰.۶۳۲ در برابر ۰.۵۷۵، $U=51517$ ، $FDR-p=0.002$ و $\delta=0.202$ ؛ nGirth با میانگین ۰.۵۹۵ در برابر ۰.۵۴۲، $U=51940$ ، $FDR-p=0.002$ و $\delta=0.211$ ؛ nPerimeter با میانگین ۰.۶۶۰ در برابر ۰.۶۱۱، $U=50316$ ، $FDR-p=0.008$ و $\delta=0.174$ ؛ nDispersion با اثری کوچک اما معنادار به سود یزد مشاهده شد؛ $U=49054$ ، $FDR-p\approx 0.031$ و $\delta=0.144$ ؛ در مقابل، شاخص‌هایی مانند nCohesion، nProximity، nTraversality، nExchange، nRange، nDetour و nInterior پس از کنترل چندآزمونی FDR تفاوت معناداری میان دو شهر نشان ندادند.

این یافته‌ها با هدف اصلی پژوهش، یعنی تبیین کمی تفاوت‌های مورفولوژیک دو بافت تاریخی در دو اقلیم متضاد، همسو است. نتایج نشان می‌دهد که اقلیم فراخشک یزد با شکل‌گیری بلوک‌های عمیق‌تر، فشرده‌تر و دارای هسته‌های قطورتر همراه است؛ الگویی که می‌تواند با نیاز به کاهش تابش، ایجاد سایه پیوسته، تقویت درون‌گرایی و کاهش تبادل حرارتی توضیح داده شود. در مقابل، در بافت تاریخی آمل، مقادیر پایین‌تر این شاخص‌ها و توزیع نواری - پیرامونی مقادیر بالا، با ویژگی‌های اقلیم مرطوب، ضرورت تهویه طبیعی، گشودگی فضایی و ارتباط با کریدورهای باز و آبی سازگار است. بنابراین، فرض اصلی پژوهش مبنی بر تأثیر اقلیم بر ابعاد مشخصی از مورفولوژی شهری تأیید می‌شود؛ با این توضیح که این تأثیر در همه شاخص‌ها یکسان نیست و بیشتر در شاخص‌های عمق و فشردگی بروز می‌کند.

از نظر مکانی، خوانش نقشه‌ها نشان داد که در یزد، دهک‌های بالای nDepth، nGirth، nPerimeter عمدتاً در هسته تاریخی و امتداد محورهای اصلی ظاهر می‌شوند و الگویی خوشه‌ای و پیوسته ایجاد می‌کنند. در آمل، مقادیر بالاتر بیشتر در قالب نوارهای پیرامونی و در مجاورت فضاهای باز یا کریدورهای آبی دیده می‌شوند. این تفاوت نشان می‌دهد که تمایز اقلیمی فقط در میانگین‌های آماری قابل مشاهده نیست، بلکه در الگوی استقرار فضایی شاخص‌ها نیز بازتاب دارد. با این حال، عدم معناداری nTraversality و nDetour نشان می‌دهد که عبورپذیری درونی و نامنظمی لبه‌ها بیش از آنکه صرفاً تابع اقلیم باشند، احتمالاً از ریزدانی تاریخی شبکه، دوره‌های توسعه، مداخلات کالبدی و منطق رشد موضعی بافت تأثیر می‌پذیرند. از این رو، یکی از نتایج مهم پژوهش آن است که اقلیم در شکل‌دهی به عمق و فشردگی بافت‌ها نقش معنادار دارد، اما کارایی شبکه در هر دو بافت تاریخی تا حدی به سطحی مشترک همگرا شده است.

سهم اصلی این پژوهش در حوزه مورفولوژی شهری و حفاظت بافت‌های تاریخی، ارائه یک چارچوب کمی و مقایسه‌پذیر برای تحلیل رابطه اقلیم و فرم شهری در ایران است. در حالی که بسیاری از مطالعات پیشین بر توصیف کیفی ویژگی‌های اقلیمی و معماری متمرکز بوده‌اند، این مطالعه با استفاده از شاخص‌های مستقل از اندازه، آزمون Mann-Whitney U، گزارش اندازه اثر Cliff's δ و اصلاح FDR، امکان ارزیابی دقیق‌تر و محتاطانه‌تر تفاوت‌های بین‌شهری را فراهم کرده است. از منظر کاربردی، نتایج نشان می‌دهد که در یزد، سیاست‌های حفاظت و بازآفرینی باید بر حفظ هسته‌های فشرده، تداوم سایه، کنترل زبری لبه‌ها و جلوگیری از گسست در ساختار درون‌گرایی بافت متمرکز شوند. در آمل، اولویت باید بر حفظ راه‌بادها، تداوم فضاهای باز، صیانت از کریدورهای آبی و ارتقای عمق کالبدی در هسته‌های کم‌عمق بدون تضعیف نفوذپذیری شبکه قرار گیرد.

با وجود این دستاوردها، پژوهش حاضر محدودیت‌هایی نیز دارد. نخست، نتایج می‌تواند به مقیاس شبکه ۱۰۰×۱۰۰ متر و شیوه کلاسه‌بندی نقشه‌ها حساس باشد؛ بنابراین مقایسه مستقیم رنگ‌ها میان نقشه‌های دو شهر باید با احتیاط انجام شود. دوم، پژوهش بر شاخص‌های دوبعدی مورفولوژی متمرکز است و سنجه‌های سه‌بعدی و خرداقلیمی مانند SVF، BVF، ارتفاع بناها، دمای سطحی، جریان باد و رطوبت به‌صورت مستقیم وارد تحلیل نشده‌اند. سوم، مطالعه بر دو نمونه شهری متمرکز است و تعمیم نتایج به همه بافت‌های تاریخی ایران نیازمند بررسی شهرهای بیشتر در طیف‌های اقلیمی متنوع‌تر است. همچنین، پروفایل‌های شعاعی مرکز - پیرامون در این مرحله بیشتر از طریق خوانش مکانی نقشه‌ها بررسی شده‌اند و نیاز به کمی‌سازی دقیق‌تر دارند.

بر این اساس، تحقیقات آینده می‌توانند با انجام تحلیل حساسیت در مقیاس‌های متفاوت شبکه، استخراج پروفایل‌های شعاعی کمی، به‌کارگیری مدل‌های چندسطحی یا MGWR، و ترکیب شاخص‌های دوبعدی EAC با سنجه‌های سه‌بعدی و داده‌های خرداقلیمی، سازوکارهای اثرگذاری اقلیم بر مورفولوژی شهری را دقیق‌تر آشکار کنند. جمع‌بندی نهایی پژوهش آن است که اقلیم در بافت‌های تاریخی مورد مطالعه، تفاوت‌های معناداری در عمق، ضخامت و فشردگی کالبدی ایجاد کرده است؛ اما همه ابعاد مورفولوژی به یک اندازه اقلیم‌پذیر نیستند و برخی شاخص‌های شبکه‌ای در دو شهر به سطحی نسبتاً مشابه همگرا شده‌اند. این نتیجه می‌تواند مبنایی برای بازآفرینی شاخص‌محور، مکان‌مرجع و همساز با اقلیم در بافت‌های تاریخی ایران فراهم سازد.

۷. فهرست منابع

۱. حاجیلویی، حامد، ملازاده، کاظم و ملکی، مرتضی. (۱۴۰۳). تحلیل انطباق‌پذیری اقلیمی و تمهیدات گرمایشی و سرمایشی معماری مادی مجموعه نوشیجان. پژوهش‌های باستان‌شناسی ایران، ۱۴(۴۰)، ۹۳-۱۲۰.
۲. <https://doi.org/10.22084/nb.2023.27522.2568>
۳. حق نگهدار، کیمیا، شعله، مهسا، لطفی، سهند و صادقی، علیرضا. (۱۴۰۳). ارزیابی پیامدهای دگرگونی هندسه شهری بر شرایط خرد اقلیمی و آسایش حرارتی (مطالعه موردی: محله تاریخی سنگ سیاه). فصلنامه مطالعات شهری، ۱۴(۵۳)، ۳-۱۸.
۴. حق نگهدار، کیمیا، شعله، مهسا، لطفی، سهند و صادقی، علیرضا. (۱۴۰۳). واکاوی معیارهای مورفولوژی شهری همساز با اقلیم شهر شیراز مطالعه موردی: محله تاریخی سنگ سیاه، شیراز. پژوهش‌های جغرافیای برنامه‌ریزی شهری، ۱۲(۳)، ۱۲۱-۱۳۶.
۵. <https://doi.org/10.22059/jurbangeo.2024.379647.1972>
۶. دقیقی ماسوله، گیلدا و خاکپور، مژگان. (۱۴۰۱). تبیین عوامل اقلیمی ایجادکننده حس مکان؛ مطالعه تطبیقی در بافت تاریخی رشت و یزد، نشریه علمی معماری و شهرسازی ایران، ۱۳(۲)، ۲۸۰-۲۶۵.
۷. <https://doi.org/10.30475/isau.2022.191454.1249>
۸. عبدلی، سید سجاده، شهاب‌زاده، مرجان و اسکندری، حمید. (۱۴۰۳). تأثیر تناسبات و کشیدگی حیاط بر بازدهی تهویه فضای داخلی در خانه‌های حیاط‌مرکزی اقلیم گرم و مرطوب. باغ نظر، ۲۱(۱۳۶)، ۳۹-۴۸.
۹. <https://doi.org/10.22034/bagh.2024.457619.5605>
۱۰. کریم‌زاده، جمشید، مهدی نژاد درزی، جمال‌الدین و کریمی، باقر. (۱۴۰۰). سنجش عملکرد عناصر اقلیمی خانه‌های سنتی بافت تاریخی شیراز با رویکرد آسایش حرارتی؛ مورد پژوهی: ایوان. مطالعات معماری ایران، ۱۰(۲۰)، ۸۹-۱۱۵.
۱۱. <https://doi.org/10.22052/jias.2022.111875>
۱۱. مردانی، علی، روسائی، امین (۱۴۰۰). تأثیر الگوی هندسی حیاط مرکزی بر جریان هوا در خانه‌های سنتی شوشتر. (۴۳)، ۷-۸۰۱. <https://dorl.net/dor/20.1001.1.2228639.1399.10.40.59>
۱۲. مظفریان، سجاده، خیری، علی، محمدپور، عزاله. (۱۴۰۱). بررسی تطبیقی ساختمان‌سازی سنتی و مدرن در اقلیم گرم و خشک (نمونه موردی: یزد)، ۲۴(۲)، ۱۱۱-۲۰۱.
۱۳. مهدی نژاد گودرزی، زهرا، مهدی نژاد درزی، جمال‌الدین و مظفری قادیکلایی، فاطمه. (۱۴۰۱). تبیین اصول طراحی نمای ساختمان‌های مسکونی اقلیم گرم و مرطوب در راستای کاهش دمای هوای داخلی مبتنی بر معماری بومگرا. ۲-۹۷.
۱۴. <https://doi.org/10.30475/isau.2021.249604.1524>
۱۵. ناصحی، سعیده، یآوری، احمدرضا، صالحی، اسماعیل. (۱۴۰۱). بررسی ارتباط بین تغییرات مورفولوژی شهری با دمای سطح زمین به‌منظور مدیریت جزیره حرارتی شهری (مطالعه موردی: شهر تهران). جغرافیا و پایداری محیط، ۱۲(۳)، ۱۰۷-۱۳۰.

<https://doi.org/10.22126/ges.2022.7625.2517>. ۱۶

۱۷. یزدی، یاسمین، مفیدی شمی رانی، سید مجید، و اعتصام، ایرج. (۱۴۰۰). بررسی رابطه اجزای کالبدی خانه‌های بومی اقلیم گرم و خشک ایران (مطالعه موردی: خانه‌های قاجاری یزد). (۹۶)، ۶۹-۷۵.

<https://doi.org/10.22034/bagh.2020.170445.3984>. ۱۸

1. Al-Hajri, S. , Al-Ramadan, B. , Shafiullah, M. , & Rahman, S. M. (2025). Microclimate performance analysis of urban vegetation: Evidence from hot humid Middle Eastern cities. *Plants*, 14(4), 521.<https://doi.org/10.3390/plants14040521>
2. Arrar, F. H. , Kaoula, D. , Matallah, M. E. , Abdessemed-Foufa, A. , Taleghani, M. , & Attia, S. (2022). Quantification of outdoor thermal comfort levels under sea breeze in the historical city fabric: The case of Algiers Casbah. *Atmosphere*, 13(4), 575.<https://doi.org/10.3390/atmos13040575>
3. Benziada, R. , Kacemi, M. , Mokhtari, A. M. , Fezzioui, N. , Harrat, Z. R. , Chatbi, M. , Hilal, N. , Mansour, W. , & Sobuz, M. H. R. (2025). Optimizing urban thermal comfort through multi-criteria architectural approaches in arid regions: The case of Béchar, Algeria. *Sustainability*, 17(17), 7658.<https://doi.org/10.3390/su17177658>
4. Bouhidel Mohamed Abdelkrim Khaled, & Mahimoud Aissa. (2024). The impact of urban morphology on wind flow in a semi-arid climate: Case study: The old city of Constantine, Algeria. *International Journal of Innovative Technologies in Social Science*, 4(44). [https://doi.org/10.31435/ijitss.4\(44\).2024.2951](https://doi.org/10.31435/ijitss.4(44).2024.2951)
5. Costa, I. T. , Wollmann, C. A. , Writzl, L. , Iensse, A. C. , da Silva, A. N. , de Freitas Baumhardt, O. , Gobo, J. P. A. , Shooshtarian, S. , & Matzarakis, A. (2024). A systematic review on human thermal comfort and methodologies for evaluating urban morphology in outdoor spaces. *Climate*, 12(3), 30.<https://doi.org/10.3390/cli12030030>
6. Durst, N. J. , Sullivan, E. , & Jochem, W. C. (2024). The spatial and social correlates of neighborhood morphology: Evidence from building footprints in five U. S. metropolitan areas. *PLOS ONE*, 19(4), e0299713.<https://doi.org/10.1371/journal.pone.0299713>
7. Guergour, H. , Cheraitia, M. , Dechaicha, A. , & Alkama, D. (2024). Optimization of urban morphology to enhance outdoor thermal comfort: A microclimate analysis. *Journal of the Bulgarian Geographical Society*, 51, 107–130.<https://doi.org/10.3897/jbgs.e128961>
8. He, W. , & Weng, Q. (2025). Disparities of urban morphology effects on compound natural risks: A multiscale study across the USA. *npj Urban Sustainability*, 5, 39.<https://doi.org/10.1038/s42949-025-00233-9>

9. Karimian, Z. , & Mahdizadeh, S. (2025). Microclimate effects and outdoor thermal comfort of green roof types in hot and dry climates: Modelling in the historic city of Yazd, Iran. *PLOS ONE*, 20(6), e0325494.<https://doi.org/10.1371/journal.pone.0325494>
10. Labetski, A. , Vitalis, S. , Biljecki, F. , Arroyo Oho, K. , & Stoter, J. (2023). 3D building metrics for urban morphology. *International Journal of Geographical Information Science*, 37(1), 36–67.<https://doi.org/10.1080/13658816.2022.2103818>
11. Lai, B. , Fu, J. -M. , Guo, C. -K. , Zhang, D. -Y. , & Wu, Z. -G. (2025). Street geometry factors influencing outdoor pedestrian thermal comfort in a historic district. *Buildings*, 15(4), 613.<https://doi.org/10.3390/buildings15040613>
12. Liu, Y. , Zhang, Y. , Sharifi, E. , Liu, Y. , Liu, Q. , & Kroll, D. (2024). Outdoor thermal performance of urban development patterns in Greater Adelaide since the late 19th century. *Scientific Reports*, 14, 29207.<https://doi.org/10.1038/s41598-024-77433-3>
13. Ma, J. , & Mostafavi, A. (2024). Urban form and structure explain variability in spatial inequality of property flood risk among US counties. *Communications Earth & Environment*, 5, 172.<https://doi.org/10.1038/s43247-024-01337-3>
14. Mandjouda, L. K. , Roman, K. K. , Azam, H. , & Denis, M. (2025). Analyzing urban microclimate (UMC) parameters and comprehensive review of UHI and air quality interconnections. *Environments*, 12(4), 104.<https://doi.org/10.3390/environments12040104>
15. Mohite, S. , & Surawar, M. (2024a). Assessing pedestrian thermal comfort to improve walkability in the urban tropical environment of Nagpur city. *Geographica Pannonica*, 28(1), 71–84.<https://doi.org/10.5937/gp28-48166>
16. Mohite, S. , & Surawar, M. (2024b). Impact of urban street geometry on outdoor pedestrian thermal comfort during heatwave in Nagpur city. *Sustainable Cities and Society*, 108, 105450.<https://doi.org/10.1016/j.scs.2024.105450>
17. Rezaie, P. , Lopez-Cabeza, V. P. , Sola-Caraballo, J. , & Galan-Marin, C. (2025). Cooling heritage scenarios: Transforming historic squares for thermal comfort. *Buildings*, 15(4), 564.<https://doi.org/10.3390/buildings15040564>
18. Sanagar Darbani, E. , Rafieian, M. , Monsefi Parapari, D. , & Guldman, J. -M. (2023). Urban design strategies for summer and winter outdoor thermal comfort in arid regions: The case of historical,

- contemporary and modern urban areas in Mashhad, Iran. *Sustainable Cities and Society*, 89, 104339. <https://doi.org/10.1016/j.scs.2022.104339>
19. Wen, D. , Wang, L. , Cao, Q. , Hong, M. , Wang, H. , & Bian, G. (2024). A comparative study of the effects of urban morphology on land surface temperature in Chengdu and Chongqing, China. *Scientific Reports*, 14, 25130. <https://doi.org/10.1038/s41598-024-77036-y>
20. Yuan, B. , Zhou, L. , Hu, F. , & Wei, C. (2024). Effects of 2D and 3D urban morphology on land surface temperature: Contribution, response, and interaction. *Urban Climate*, 53, 101791. <https://doi.org/10.1016/j.uclim.2023.101791>
21. Zhu, S. , Ma, C. , Wu, Z. , Huang, Y. , & Liu, X. (2024). Exploring the impact of urban morphology on building energy consumption and outdoor comfort: A comparative study in hot-humid climates. *Buildings*, 14(5), 1381. <https://doi.org/10.3390/buildings14051381>