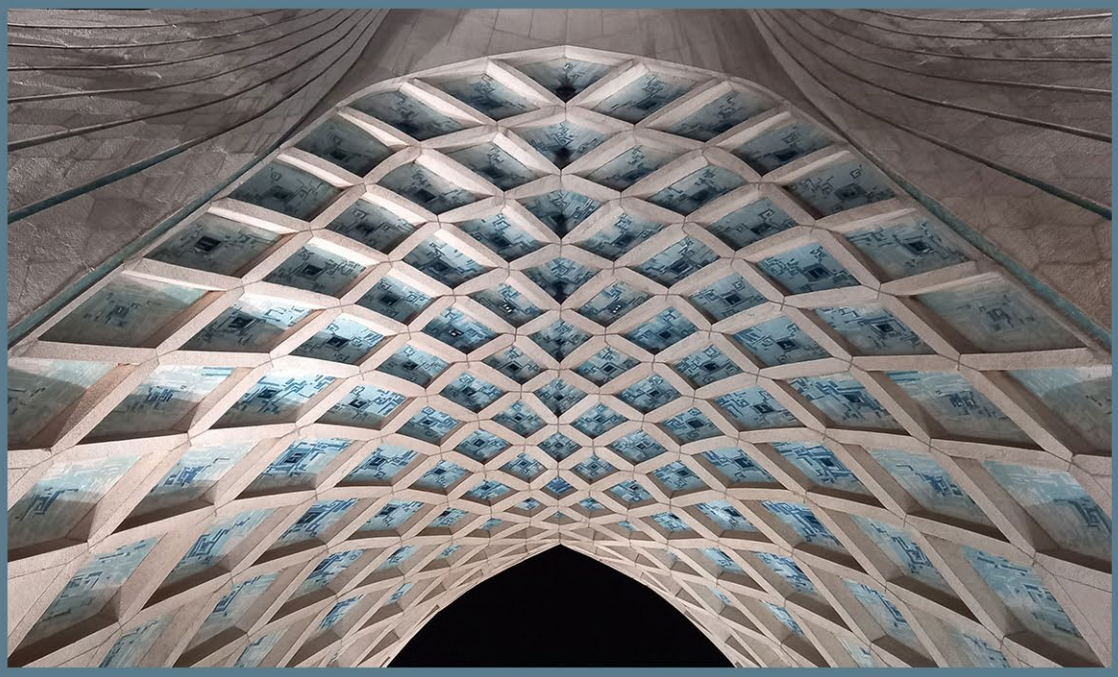
مطالعات معماری ایران ۲۹

دوفصلنامه علمی دانشکده معماری و هنر، دانشگاه کاشان

سال پانزدهم، شماره ۲۹، بهار و تابستان ۱۴۰۵



◆ تاریخ‌شناسی معماری مسجد جامع آمل و نسبت آن با شهر در سده‌های نخست هجری
● ذات‌الله نیک‌زاد

◆ بازتعریف محدودهٔ قیصریه در بازار کاشان و شکل‌گیری یک مرکز جدید شهری در نیمهٔ دوم دورهٔ قاجاریه
● یاسمن صفیان/ حمیدرضا جیحانی/ سید محمود سادات

◆ سنجش ارزش‌های قلعه‌رودخان به‌عنوان میراث جهانی از منظر منشور ایکوفورت و دستورالعمل اجرایی کنوانسیون میراث جهانی
● ابوذر جانعلی‌پور/ پیروز حناچی/ محمدحسن طالبیان

◆ بهبود حد نهایی پایداری جانبی سازهٔ یک دهانهٔ متشکل از طاق‌آهنگ بر روی پایه در صفحهٔ قوس
● فرزین ایزدپناه

◆ ارزیابی عملکرد پوستهٔ مشبک آجری در کنترل تابش و نور در اقلیم گرم و نیمه‌خشک دزفول
● کلثوم کامکار/ کورش مؤمنی/ اکبر موسی ئی جو

◆ از باغ به میدان: ظهور نرده و آشکار شدن فضای سلطنتی در شهر عصر ناصری
● کاوه رشیدزاده/ گلنار حکمت

◆ بررسی هندسی جلوه‌های گره‌چینی در نمونه‌های تاریخی ایران به روش الگوریتمی
● مهدی عزیزی همدانی/ مجتبی ثابت‌فرد

◆ ابعاد و ویژگی‌های مفهومی استدلال حدسی در عمل طراحی
● علی قریشوندی ابراکی/ علی علائی/ کیوان جورابچی/ سعید نوروزیان ملکی

◆ نقش پیکره‌بندی فضا در ایجاد اجتماع‌پذیری مراکز تجاری شهر اصفهان با مقیاس اجتماعی
● مریم گروهی/ نرگس دهقان/ منصوره کیان‌ارثی/ سمیه رفیعی

◆ ارزیابی پراگماتیک: فرصتی برای اصلاح سیاست‌ها و رویه‌های مداخله در محدوده‌های هدف (مورد انضمامی: سندملی بازآفرینی)
● مرتضی‌هادی جابری‌مقدم/ شیما سقندلی

◆ از رویدادسازی تا شخصیت‌پردازی موزه‌یادمان‌ها
● فائزه تفرشی/ منوچهر معظمی/ نیکلاس وایز

◆ اثر حذف درختان کهن‌سال در معماری معابر ایلام بر تغییر آسایش حرارتی عابران براساس دینامیک سیالات محاسباتی CFD
● کارن فتاحی/ نسرین سیاوش

مطالعات معماری ایران

دوفصلنامه علمی دانشکده معماری و هنر، دانشگاه کاشان

سال پانزدهم، شماره ۲۹، بهار و تابستان ۱۴۰۵
صاحب امتیاز: دانشگاه کاشان
مدیر مسئول: دکتر علی عمرانی‌پور
سردبیر: دکتر غلامحسین معماریان
مدیر داخلی: دکتر بابک عالمی

هیئت تحریریه (به‌ترتیب الفبا):
دکتر عباس اکبری. دانشیار دانشگاه کاشان
دکتر حمیدرضا جیحانی. دانشیار دانشگاه شهید بهشتی
دکتر پیروز حناچی. استاد دانشگاه تهران
دکتر شاهین حیدری. استاد دانشگاه تهران
دکتر مارکوس ریتر. استاد دانشگاه وین
دکتر محمدصادق طاهر طلوع دل. دانشیار دانشگاه تربیت دبیر شهید رجایی
دکتر بابک عالمی، دانشیار دانشگاه کاشان
دکتر علی عبد الرئوف. استاد دانشگاه حمد بن خلیفه قطر
دکتر علی عمرانی‌پور. دانشیار دانشگاه کاشان
دکتر فاطمه کاتب. استاد دانشگاه الزهرا (س)
دکتر حسین کلانتری. استاد جهاد دانشگاهی
دکتر اصغر محمد مرادی. استاد دانشگاه علم و صنعت ایران
دکتر غلامحسین معماریان. استاد دانشگاه علم و صنعت ایران
دکتر محسن نیازی. استاد دانشگاه کاشان

درجه علمی پژوهشی دوفصلنامه مطالعات معماری ایران طی نامه شماره ۱۶۱۶۷۶ مورخ ۱۳۹۰/۰۸/۲۱ دبیرخانه کمیسیون نشریات علمی کشور، وزارت علوم، تحقیقات و فناوری ابلاغ گردیده است.

پروانه انتشار این نشریه به شماره ۹۰/۲۳۰۳۰ مورخ ۹۱/۹/۷ از وزارت فرهنگ و ارشاد اسلامی صادر شده است.

این نشریه حاصل همکاری مشترک علمی دانشگاه کاشان با دانشکده معماری دانشگاه تهران، دانشگاه تربیت مدرس، دانشگاه الزهرا (س)، دانشگاه آزاد اسلامی واحد علوم و تحقیقات، دانشگاه شهید رجایی، پژوهشکده فرهنگ، هنر و معماری جهاد دانشگاهی و انجمن علمی انرژی ایران است.

نشریه مطالعات معماری ایران در پایگاه استنادی علوم کشورهای اسلامی (ISC)، پایگاه اطلاعات علمی جهاد دانشگاهی (SID)، پایگاه مجلات تخصصی نور (noormags.ir)، پرتال جامع علوم انسانی (ensani.ir) و بانک اطلاعات نشریات کشور (magiran.com) نمایه می‌شود.

تصاویر بدون استناد در هر مقاله، متعلق به نویسنده آن مقاله است.

(نسخه الکترونیکی مقاله‌های این مجله، با تصاویر رنگی در تارنمای نشریه قابل دریافت است.)

عکس روی جلد: علی عمرانی‌پور
(بنای میدان آزادی)

ویراستار ادبی فارسی: معصومه عدالت‌پور
همکار اجرایی: فائزه تفرشی

دورنگار: ۵۵۹۱۳۱۳۲-۰۳۱

نشانی دفتر نشریه: کاشان، بلوار قطب راوندی، دانشگاه کاشان، دانشکده معماری و هنر، کدپستی: ۵۳۱۵۳-۸۷۳۱۷

رایانامه: j.ir.arch.s@gmail.com
پایگاه اینترنتی: jias.kashanu.ac.ir

شاپای الکترونیکی: ۵۰۲۰-۲۶۷۶

فهرست

۵ **تاریخ‌شناسی معماری مسجد جامع آمل و نسبت آن با شهر در سده‌های نخست هجری**
ذات‌الله نیک‌زاد

۲۵ **بازتعریف محدودهٔ قیصریه در بازار کاشان و شکل‌گیری یک مرکز جدید شهری در نیمهٔ دوم دورهٔ قاجاریه**
یاسمن صفیان/ حمیدرضا جیحانی/ سید محمود سادات

۵۷ **سنجش ارزش‌های قلعه‌رودخان به‌عنوان میراث جهانی از منظر منشور ایکوفورت و دستورالعمل اجرایی کنوانسیون میراث جهانی**
ابوذر جانعلی‌پور/ پیروز حناچی/ محمدحسن طالبیان

۸۵ **بهبود حد نهایی پایداری جانبی سازهٔ یک دهانهٔ متشکل از طاق‌آهنگ بر روی پایه در صفحهٔ قوس**
فرزین ایزدپناه

۱۰۹ **ارزیابی عملکرد پوستهٔ مشبک آجری در کنترل تابش و نور در اقلیم گرم و نیمه‌خشک دزفول**
کلثوم کامکار/ کورش مؤمنی/ اکبر موسی ئی جو

۱۳۷ **از باغ به میدان: ظهور نرده و آشکار شدن فضای سلطنتی در شهر عصر ناصری**
کاوه رشیدزاده/ گلنار حکمت

۱۶۱ **بررسی هندسی جلوه‌های گره‌چینی در نمونه‌های تاریخی ایران به روش الگوریتمی**
مهدی عزیزی همدانی/ مجتبی ثابت‌فرد

۱۷۹ **ابعاد و ویژگی‌های مفهومی استدلال حدسی در عمل طراحی**
علی قریشوندی آبراکی/ علی علائی/ کیوان جورابچی/ سعید نوروزیان ملکی

۲۰۵ **نقش پیکره‌بندی فضا در ایجاد اجتماع‌پذیری مراکز تجاری شهر اصفهان با مقیاس اجتماعی**
مریم گروهی/ نرگس دهقان/ منصوره کیان‌ارثی/ سمیه رفیعی

۲۲۹ **ارزیابی پراگماتیک: فرصتی برای اصلاح سیاست‌ها و رویه‌های مداخله در محدوده‌های هدف (مورد انضمامی: سندملی بازآفرینی)**
مرتضی‌هادی جابری‌مقدم/ شیما سقندلی

۲۵۳ **از رویدادسازی تا شخصیت‌پردازی موزه‌یادمان‌ها**
فائزه تفرشی/ منوچهر معظمی/ نیکلاس وایز

۲۷۳ **اثر حذف درختان کهن‌سال در معماری معابر ایلام بر تغییر آسایش حرارتی عابران براساس دینامیک سیالات محاسباتی CFD**
کارن فتاحی/ نسرین سیاوش

۲۹۵ **بخش انگلیسی**

ارزیابی عملکرد پوستهٔ مشبک آجری در کنترل تابش و نور در اقلیم گرم و نیمه‌خشک دزفول*

کلثوم کامکار**
کورش مؤمنی***
اکبر موسی ئی جو****

تاریخ دریافت: ۱۴۰۴/۱۰/۱۴ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۵/۵/۱۹

علمی‌پژوهشی

چکیده

در اقلیم گرم و نیمه‌خشک دزفول، کنترل تابش خورشیدی برای ارتقای آسایش حرارتی و بصری الزامی است. با وجود ظرفیت بالای سطوح مشبک آجری در تعدیل نور روز و کاهش بارهای حرارتی، خلأ تحقیقاتی درخصوص این سطوح با فواصل مختلف از جداره‌ها مشهود است. هدف این پژوهش، بهینه‌سازی عملکرد سطوح مشبک آجری الهام‌گرفته از معماری بومی دزفول برای بهبود آسایش بصری و کاهش بار تابشی در ساختمان‌های معاصر است. روش تحقیق ترکیبی و مبتنی‌بر تحلیل تطبیقی و شبیه‌سازی کمی بوده و در آن، دوازده نمونه از سطوح مشبک آجری خانه‌های تاریخی دزفول شناسایی و بازطراحی شدند. چهار اتاقک با ابعاد ۱۲۰×۱۳۰×۱۳۰ سانتی‌متر مدل‌سازی شدند و الگوهای مشبک در فواصل مشخص از جدارهٔ شیشه‌ای آن‌ها قرار گرفتند. فرایند مدل‌سازی و شبیه‌سازی با استفاده از نرم‌افزارهای AutoCAD، Rhino و پلاگین‌های Grasshopper، Ladybug و Honeybee انجام شد. شاخص‌های نور روز شامل DLA، UDI در سه بازه، و تابش سطح برحسب کیلووات ساعت بر متر مربع با فواصل ۱۰ تا ۴۰ سانتی‌متری سطوح مشبک از جدارهٔ شیشه‌ای بررسی و تحلیل گردید. نتایج نشان داد الگو با طرح چلیپا، با نسبت پر به خالی ۶۷/۳ درصد با میانگین DLA، ۲۹/۸۷ درصد وLux UDI-100-2000 ، ۳۹/۰۲ درصد بهترین عملکرد را بین سایر نمونه‌ها دارد. همچنین فاصلهٔ ۱۰ سانتی‌متری از جدارهٔ شیشه‌ای بیشترین میزان DLA، ۲۳/۹۹ درصد و فاصلهٔ ۴۰ سانتی‌متری، ضعیف‌ترین عملکرد با ۱۶/۸۶ درصد را نشان داد. ازسوی دیگر، الگوی مربع با نسبت پر به خالی ۹۷/۷ درصد بیشترین میزان نور ناکافی یا Underlit با ۸۹/۰۶ درصد و کمترین تابش سطحی با میانگین معادل ۵۸/۰۵ کیلووات ساعت بر متر مربع را ثبت کرد. درمجموع، الگوی با طرح چلیپا در فاصلهٔ ۲۰ سانتی‌متری با مقدار DLA برابر ۳۱/۴۴ درصد تعادل مناسبی میان آسایش بصری و کاهش بار تابشی ایجاد نمود.

کلیدواژه‌ها:

سطوح مشبک، تابش خورشیدی، نورِ روز، شبیه‌سازی انرژی ساختمان، معماری سنتی دزفول.

مطالعات معماری ایران
دو فصلنامه معماری ایرانی
شماره ۲۹ ـ بهار و تابستان ۱۴۰۵
صفحات ۱۳۵-۱۰۹ ۱۰۹

* این مقاله برگرفته از رسالهٔ دکتری نویسندهٔ اول با عنوان *بازشناسی و تدوین مشخصات فیزیولوژیکی پوسته مشبک آجری به‌منظور کنترل تابش و حرارت در اقلیم گرم و نیمه‌خشک شهر دزفول* به راهنمایی نگارندهٔ دوم و مشاورهٔ نگارندهٔ سوم در دانشگاه آزاد اسلامی واحد اهواز است.

** گروه معماری، واحد اهواز، دانشگاه آزاد اسلامی، اهواز، ایران، k.kamkar@iau.ac.ir
*** گروه معماری، دانشکدهٔ معماری و شهرسازی، دانشگاه صنعتی جندی‌شاپور دزفول، دزفول، ایران، نویسنده مسئول، K_Momeni@jsu.ac.ir
**** گروه معماری، واحد اهواز، دانشگاه آزاد اسلامی، اهواز، ایران، Mousaeijoo404@iau.ac.ir

پرسش‌های پژوهش

۱. عملکرد فاصله‌های مختلف سطوح مشبک آجری از بدنهٔ شیشه‌ای بازشوی نما در کنترل میزان تابش و شاخص‌های نور روز DLA[1] و UDI[2] در خانه‌های تاریخی دزفول چگونه است؟

۲. عملکرد اشکال مختلف سطوح مشبک با درصدهای پر و خالی متفاوت در کنترل میزان تابش و شاخص‌های نور روز DLA و UDI در ساختمان‌های بافت تاریخی شهر دزفول چگونه است؟

مقدمه

جذب مستقیم تابش خورشیدی در اقلیم‌های گرم، یکی از چالش‌های اصلی در طراحی همساز با اقلیم است. ایجاد سایبان‌ها، تقویت جریان هوا، افزایش جرم حرارتی و دوپوسته‌سازیِ جداره‌ها ازجمله راهکارهای غیرفعال برای کاهش انتقال حرارت به شمار می‌روند (سخدان سرخابی و خان‌محمدی ۱۳۹۵). پوسته‌های ساختمانی به‌عنوان یک جداکننده میان فضای داخل و خارج، نقش مؤثری در تأمین آسایش حرارتی ساکنان بر عهده دارند (نوری‌وند و دیگران ۱۴۰۰). نمای ساختمان می‌تواند ۲۰ تا ۳۰ درصدِ تبادلات حرارتی را به خود اختصاص دهد که این میزان در ساختمان‌های قدیمی‌تر به‌تناسب بالاتر است (صریحی، فیضی، و مهدیزاده سراج ۱۴۰۱).

نماهای دوپوستهٔ مشبک در معماری سنتی ایران، نمونه‌ای شاخص از تلفیق زیبایی‌شناسی، عملکرد اقلیمی و هنر به شمار می‌آیند. این پوسته‌ها با الگوهای هندسیِ منظم یا پیچیده، ضمن ایجاد جلوه‌های متنوع نور و سایه، نقش مهمی در تعدیل تابش خورشید، تهویهٔ طبیعی و حفظ حریم خصوصی ایفا می‌کنند. سطوح مشبک از مصالحی همچون چوب، آجر و گچ در عناصر مختلفی مانند پنجره‌ها، درها، سقف‌ها و جان‌پناهِ بام به کار رفته‌اند و با تلطیف نور شدید، شرایط مناسبی برای آسایش محیط داخلی و ارتباط بصریِ کنترل‌شده میانِ فضای درون و بیرون فراهم کرده‌اند. در بافت تاریخی دزفول، آجر به‌عنوان مصالح غالب در جدارهٔ معابر و بناها، بستر شکل‌گیری انواع سطوح و آرایه‌های مشبک را فراهم آورده است (زرگرزاده دزفولی و دیگران ۱۳۹۴).

«فخر و مدین» جایگاه ویژه‌ای در گونه‌های مختلف معماری ایرانی داشته است. این عنصر از گذشته تا به امروز در معماری کاربرد داشته و فن و روشی در چیدمان مصالح، به‌ویژه آجر است. معماران از این فن برای ایجاد سایه‌روشن جهت زیبایی بصری و همچنین جلب نگاه به‌سمت نما بهره برده‌اند. پژوهش‌های معماریِ انجام‌یافته اغلب به شکل و ظاهر این فن توجه کرده و سایر جنبه‌های این عنصر مغفول واقع شده‌اند. از شاخصه‌های اصلی که براساس آن‌ها فخر و مدین مورد توجه معماران بوده است، می‌توان به امنیت، محرمیت، آسایش حرارتی، تهویه، زیبایی، تعامل بصری و نوررسانی اشاره کرد (کُرد مصطفی‌پور ۱۳۹۹). این نوع آجرکاری، سطحی مشبک ایجاد می‌کند که علاوه‌بر عبور نور و تهویه، باعث ایجاد سایه‌های منحصربه‌فرد در فضای داخلی می‌شود (مؤمنی، عطاریان، و میرزاوند ۱۳۹۵). سطوح مشبک خانه‌های تاریخی دزفول، علاوه‌بر اینکه یکی از عناصر شاخص در معماری سنتی این منطقه محسوب می‌شدند، نقش مهمی در کنترل تابش خورشید و نفوذ نور، دما و تهویهٔ فضاهای داخلی داشتند. این سطوح ترکیبی از هنر و فنون معماری بومی بودند و علاوه‌بر جنبه‌های تزیینی، واجد کارکردهای عملکردی متعددی بودند. هدف از این پژوهش، تحلیل تأثیر انواع سطوح مشبک آجری خانه‌های تاریخی دزفول و فواصل آن‌ها از بدنهٔ شیشه‌ایِ بازشو در کنترل تابش خورشید و بهینه‌سازی نفوذ نورِ روز بود. در این راستا، دوازده نمونه از سطوح مشبک آجری خانه‌های تاریخی دزفول شناسایی شد و میزان تابش و شاخص‌های نورِ روز (DLA و UDI) در فاصله‌های ۱۰ تا ۴۰ سانتی‌متری سطح مشبک از شیشهٔ بازشو مورد بررسی قرار گرفت.

۱. پیشینهٔ پژوهش

در پژوهشی، عملکرد نماهای خورشیدیِ متخلخل با هدف برقراری تعادل میان نورِ روز و بارهای حرارتی ساختمان‌های

اداری در اسپانیا بررسی شده است. در این مطالعه، با بهره‌گیری از شبیه‌سازی‌های رایانه‌ایِ نرم‌افزارهای Ecotect[۳] و Radiance[۴]، تناسبات هندسیِ تخلخل نما بهینه‌سازی شد. نتایج نشان داد که دستیابی به الگوی بهینهٔ تخلخل، علاوه‌بر بهبود ۵۰ درصدیِ توزیع نورِ روز، به کاهش ۵۰ درصدیِ تقاضای کل انرژی ساختمان منجر شد(Chi, Moreno Rangel, and Navarro Casas 2017) .

بهینه‌سازیِ طراحیِ فرم و نمای بنا در ساختمان‌های اداریِ اقلیم‌های گوناگون در مطالعه‌ای مورد ارزیابی قرار گرفت. در این پژوهش، متغیرهای کالبدی شامل ابعاد، جهت‌گیری، نسبت پنجره به دیوار و سیستم‌های سایه‌انداز با هدف بهبود هم‌زمانِ انرژی، روشناییِ روز، کیفیت دید و آسایش حرارتی بررسی شدند. یافته‌ها نشان داد که این ویژگی‌های هندسی نقش تعیین‌کننده‌ای بر عملکرد کلی ساختمان ایفا می‌کنند (Li et al. 2024). در مقاله‌ای دیگر، عملکرد نماهای انطباق‌پذیر در فضاهای آموزشی با بهره‌گیری از شبیه‌سازی‌های رایانه‌ای و الگوریتم‌های چندمعیاره ارزیابی شد. نتایج این مطالعه نشان داد که تنظیم زوایای چرخش در بازهٔ ۲۰ تا ۳۰ درجه و رعایت فاصلهٔ ۳۰ تا ۴۰ سانتی‌متری میان پوستهٔ مشبک و جدارهٔ اصلی، بیشترین بازدهی را برای ساختمان‌های آموزشی به همراه داشت (Yazdi Bahri et al. 2025).

در پژوهشی با محوریت بازخوانی و به‌کارگیری الگوهای فخر و مدین در معماری مسکونیِ اقلیم گرم و خشک، عملکرد این الگوها ازطریق روشی ترکیبی شامل مطالعات اسنادی، میدانی و شبیه‌سازی پارامتریک در محیط Rhino و Grasshopper در شهر کاشان ارزیابی شد. یافته‌های این مطالعه نشان داد که هندسه و نسبت پر و خالی، عوامل کلیدی در مدیریت کیفیت نورِ روز هستند. بر این اساس، الگوی شش‌ضلعی کمترین بازدهی و هندسهٔ ترکیبی بالاترین کارایی را به همراه داشت؛ به‌ویژه در جبههٔ جنوبی که استفاده از الگوی ترکیبی، کنترل مطلوبی بر تابش‌های زمستانی فراهم آورد (باسره، ابوفاضلی، و معتمدمنش ۱۴۰۴).

در یک مطالعهٔ تجربی دربارهٔ کارکرد حرارتیِ نمای خوون‌چینی در اقلیم بسیار گرم و نیمه‌خشک، تأثیر این نما بر دمای سطح داخلی دیوار جنوبی بررسی شد. برای این منظور، یک نقش خوون‌چینی روی دیوار آجریِ دو اتاقک اجرا شد؛ در یکی از اتاقک‌ها، نقش دارای برجستگی ۲ سانتی‌متری نسبت به زمینه بود و در دیگری بدون برجستگی اجرا شد. اندازه‌گیری‌های انجام‌شده طی هجده شبانه‌روز در دو فصل تابستان و زمستان نشان داد که بیشترین دمای روزانه سطح دیوار جنوبی در نمونه دارای خوون‌چینی، به‌ترتیب ۱ و ۱/۲ درجهٔ سلسیوس کمتر از دیوار فاقد آن بوده است. همچنین، میانگین کاهش دمای متوسط روزانه حدود ۰/۲ درجهٔ سلسیوس و میانگین افزایش کمترین دمای روزانه حدود ۰/۴ درجهٔ سلسیوس ثبت شد (دهار ۱۴۰۰).

عملکرد حرارتیِ خوون‌چینی بر جداره‌های جنوبی در اقلیم گرم و نیمه‌خشک خوزستان با استفاده از روشِ مدل‌سازی و تجربی ارزیابی شد. در این آزمایش، دو اتاقک مشابه بنا شد که دیوار جنوبی یکی از آن‌ها دارای طرح خوون‌چینی همراه با برجستگی و دیگری فاقد آن بود. نتایج این بررسی در فصل تابستان نشان داد که تعبیهٔ برجستگی در طرح خوون‌چینی به بهبود عملکرد حرارتیِ دیوار منجر شد؛ به‌طوری‌که دمای داخلی در اتاقک دارای برجستگی، در مقایسه با نمونهٔ بدون برجستگی، به‌ترتیب ۱ و ۰/۸ درجهٔ سلسیوس در طول فصل تابستان کاهش یافت (دهار، طاهباز، و تابان ۱۳۹۸).

در تحقیقی با رویکرد پیمایشی و تفسیری ـ تاریخی، الگوهای هندسی و زمینه‌های شکل‌گیری تزیینات در خانه‌های تاریخی دزفول مورد مستندسازی و تحلیل قرار گرفت. یافته‌های این مطالعه نشان داد که آرایه‌های تزیینی در این بناها، فراتر از کارکردهای زیبایی‌شناسانه، واجد عملکردهای کالبدی و اقلیمی متعددی هستند. این کارکردها شامل مواردی نظیر بهبود تهویهٔ طبیعی، سایه‌اندازی و دفع حرارت، حفظ محرمیت فضایی، محافظت از جداره‌ها در برابر بارش، ایجاد تنوع بصری و رعایت سلسله‌مراتب در تغییرات فرمی است (صراف‌زاده، دیده‌بان، و وثیق ۱۳۹۸).

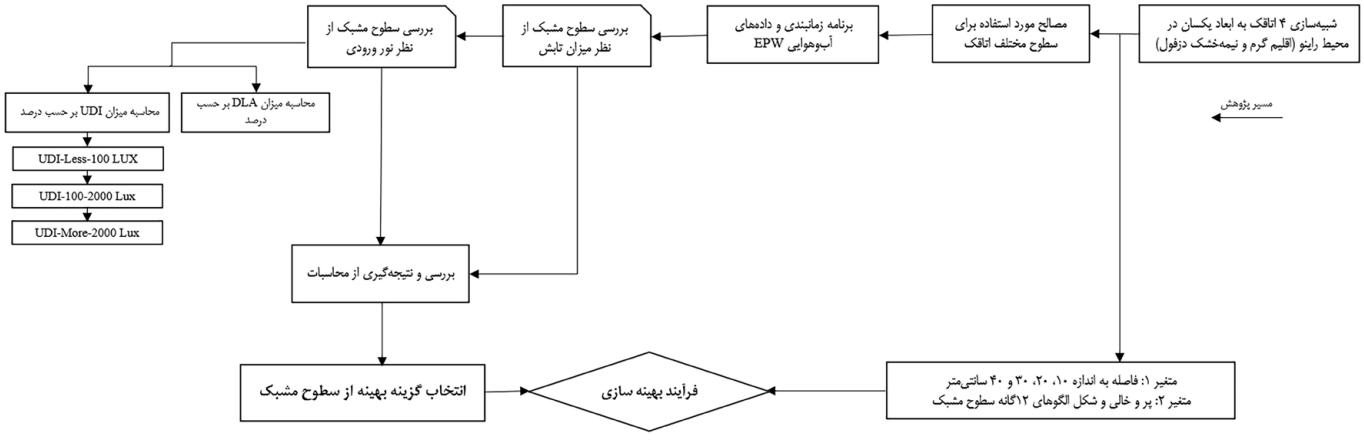
وجوه گرافیکیِ نقوش به‌کاررفته در تزیینات آجریِ بناهای سنتی دزفول و ریشه‌های شکل‌گیری این الگوها در تحقیقی مورد تحلیل و واکاوی قرار گرفت (جمالیان ۱۳۹۰). مطالعه‌ای با تمرکز بر محیط فیزیکی و کالبدیِ بافت تاریخی دزفول، به واکاوی مکانیسم‌های کنترل تابش و عوامل مؤثر بر ایجاد سایه در سطوح ساختمان، فضاهای داخلی

و محیط شهری پرداخت (تابان، مهرکی‌زاده، و نجاران ۱۳۹۸). در پژوهشی دربارهٔ خوون‌چینی‌های آجری در بافت تاریخی دزفول، نقش این الگوها در تعدیل شرایط اقلیمی و افزایش سایه‌اندازیِ جداره‌ها بررسی شد. در این مطالعه، نمونه‌های متداول خوون‌چینی انتخاب و میزان سایهٔ ایجادشده توسط آن‌ها در ساعات مختلف روز و جهت‌گیری‌های متفاوت، ازطریق شبیه‌سازی و پردازش تصویری تحلیل شد. نتایج نشان داد این الگوها می‌توانند میزان سایهٔ روی سطوح را حدود ۲/۵ تا ۴/۵ برابر افزایش دهند و علاوه‌بر جنبه‌های زیبایی‌شناختی، نقش مؤثری در بهبود عملکرد اقلیمیِ جداره‌ها ایفا کنند (تابان و دیگران ۱۳۹۱).

گرچه تحقیقات متعددی درزمینهٔ بهینه‌سازیِ نورِ روز، سایه‌اندازی، نماهای دوپوسته و متخلخل در داخل و خارج کشور، و پژوهش‌ها و مقالاتی درزمینهٔ آجرکاری و به‌طور خاص، معماری آجریِ شهر دزفول انجام شده است، اما تمرکز دقیق و ویژه‌ای بر این جزء خاصِ معماری گذشته در ادبیات علمی و بستر معماری دیده نمی‌شود. نوآوری اصلی این پژوهش، تمرکز دقیق بر متغیرهای کالبدیِ این عناصر و بررسی هم‌زمان آن‌هاست؛ به‌طوری‌که تأثیر دو متغیر مستقل شامل «هندسه و نسبت پر به خالی الگوهای بومی»، به‌ویژه «فاصلهٔ قرارگیری پوستهٔ مشبک از جدارهٔ شیشه‌ای در بازهٔ ۱۰ تا ۴۰ سانتی‌متر» ارزیابی می‌شود. این مطالعه با سنجش اثر این فاکتورها بر متغیرهای وابسته‌ای چون شاخص‌های نورِ روز DLA و UDI در سه بازهٔ عملکردی و میزان بار تابشی برحسب کیلووات ساعت بر متر مربع، نه‌تنها درک دقیقی از رفتار محیطی این میراث معماری ارائه می‌دهد، بلکه راهنمایی کاربردی برای بازآفرینی و استفادهٔ بهینه از آن‌ها جهت تأمین آسایش بصری و حرارتی در ساختمان‌های معاصر فراهم می‌سازد.

۲. روش پژوهش

روش پژوهش ازنظر هدف، کاربردی و بر پایهٔ روش‌شناسیِ تحلیلی ـ تطبیقی و شبیه‌سازی کمی انجام شده است. متغیر مستقل، ویژگی‌های سطوح مشبک آجری شامل شکل الگو، درصد پر و خالی و فاصلهٔ قرارگیری پوستهٔ مشبک از جدارهٔ شیشه‌ای در بازهٔ ۱۰ تا ۴۰ سانتی‌متر است. متغیرهای وابسته پژوهش عبارت‌اند از: شاخص‌های عملکرد نور روز و تابش شامل DLA و شاخص UDI در سه بازهٔ UDI<100Lux[۵]، معادل نور ناکافی یا Underlit[۶] UDI=100–2000Lux ، معادل نور مفید یا Useful و[۷] UDI>2000 Lux ، معادل نورOverlit و همچنین تابش سطحی برحسب کیلووات ساعت بر متر مربع (kWh/m²) است.



تصویر ۱: فرایند مدل‌سازی و انتخاب مدل برتر از سطوح مشبک

برای انجام این تحقیق، دوازده نمونه سطوح مشبک آجری خانه‌های واجد ارزش تاریخی دزفول شناسایی شدند. ابتدا اطلاعات اولیه درزمینهٔ ریخت‌شناسی سطوح مشبک آجری در معماری سنتی دزفول ازطریق مطالعات کتابخانه‌ای درزمینهٔ کتب مرتبط با معماری آجری دزفول و مطالعهٔ اسناد و منابع آرشیوی ادارهٔ میراث‌فرهنگی شهر دزفول انجام شده است. در ادامه، نمونه‌های به‌دست‌آمده از مطالعات کتابخانه‌ای با بازدید میدانی از خانه‌های تاریخی دزفول دارای سطوح مشبک آجری تدقیق شدند و از میان آن‌ها تعداد دوازده الگوی مشبک آجری انتخاب شدند. معیارهای انتخاب نمونه‌ها شامل اهمیت فرهنگی و تاریخی بنا و تنوع فرم سطوح مشبک بود. در ادامه با استفاده از نرم‌افزار اتوکد فرایند بازطراحی آن‌ها انجام گرفت و نقشه‌های دوبعدی و سه‌بعدی دوازده نمونه ترسیم شدند. سپس در راستای پاسخ به سؤالات پژوهش، با استفاده از شبیه‌سازی‌های نرم‌افزاری میزان تابش و شاخص‌های نور روز DLA و UDI در سه بازهٔ UDI-100-2000 Lux، UDI-More-2000 Luxو UDI-Less-100 LUX مورد سنجش قرار گرفت. شبیه‌سازی با نرم‌افزار Rhino و پلاگین‌های Grasshopper، Ladybug و Honeybee انجام شده است. یک مدل پایه و دوازده نمونه سطوح مشبک مورد سنجش قرار گرفته‌اند. تصویر ۱، فرایند مدل‌سازی و انتخاب مدل برتر از سطوح مشبک را نشان می‌دهد.

۳. مبانی نظری

۳. ۱. سطوح مشبک آجری

آجر در معماری ایران قدمتی دیرینه دارد و ازنظر اندازه، شکل و نحوهٔ کاربرد، در دوره‌های مختلف دچار تحول شده است. به‌طور کلی، آجر در دورهٔ پیش از اسلام بیشتر جنبهٔ استحکامی و کاربردی داشته است (زمرشیدی و صادقی حبیب‌آباد ۱۳۹۷). معماری شهر دزفول از دو منظر قابل بررسی است: نخست، کاربرد خاص و منحصربه‌فرد آجر در بناها، و دوم، ویژگی‌های معماری و نحوهٔ شکل‌گیری بافت شهری. کاربرد آجر در این شهر هم جنبهٔ کالبدی دارد و هم جنبهٔ تزیینی (جمالیان ۱۳۹۰). بافت تاریخی دزفول، با حضور گستردهٔ آجر در پوسته و کالبد بناها، ساختاری همگن و یکپارچه یافته است؛ به‌گونه‌ای که سیمای جداره‌های معابر و بناها در درون بافت، عموماً با آجر پوشیده شده و تنوع تزیینات آجری، از فضای داخلی بنا تا سردرها و معابر، گونه‌های غنی و متنوعی از نقوش هندسی را پدید آورده است (زرگرزاده دزفولی و دیگران ۱۳۹۴).

فخر و مدین از شیوه‌های آجرچینی در معماری ایران است. «مدین» به‌معنای فرورفتگی و «فخر» به‌معنای سفال پخته است. در این شیوه، نحوهٔ قرارگیری آجرها امکان شکل‌گیری سطوحی متشکل از بخش‌های پر و خالی را فراهم می‌کند؛ ازاین‌رو، می‌توان آن را از زمینه‌های ایجاد آجرکاری مشبک دانست. بر همین اساس، تکنیک مشبک در بسیاری از بناها، به‌ویژه برای درگاه‌های نور، به کار گرفته شده است (فلامکی، خواجه‌نوری، و کبودرآهنگی ۱۳۹۶). این تزیین در قالب‌هایی مانند جان‌پناه و جداره‌های انتهابسته به کار گرفته می‌شده است؛ به‌ویژه استفاده از آن به‌عنوان جان‌پناه در بام ساختمان، افزون بر تأمین ایمنی، موجب افزایش محرمیت، تسهیل کوران هوا و ایجاد سایه‌اندازی می‌شده است (دیده‌بان و دیگران ۱۴۰۱، ۹۹). شرایط اقلیمی ایران، شامل آفتاب شدید، باد، باران و طوفان، همراه با ملاحظات فرهنگی و مذهبی، موجب شده است که ساختمان‌ها علاوه‌بر در و پنجره، از عناصری برای حفاظت، کنترل نور، تهویه و حفظ محرمیت بهره ببرند؛ به‌گونه‌ای که در طول روز، فضای بیرون از داخل قابل رؤیت است، اما از بیرون دید مستقیمی به داخل وجود ندارد (بمانیان و نیکودل ۱۳۹۳).

سطوح مشبک یکی از انواع تزیینات آجری است که به‌صورت ترکیبی از بخش‌های پر و خالی به کار گرفته می‌شده است. این عنصر در معماری دزفول، با نقوش ظریف و متنوع، افزون بر ارزش زیبایی‌شناختی، کارکردی اقلیمی دارد. سطوح مشبک آجری با ساختار خاص خود، مانعی مؤثر در برابر تابش مستقیم خورشید ایجاد می‌کنند؛ به‌گونه‌ای که ضمن کاهش نفوذ پرتوهای مزاحم، با تعدیل نور، سایه‌ای نرم و مطلوب در فضا پدید می‌آورند. این ویژگی، با کمک به تهویه و کاهش بار حرارتی، سبب شده است که مشبک‌های آجری به‌عنوان راهکاری بومی و کارآمد در کنترل تابش و بهبود شرایط محیطی مورد توجه قرار گیرند.

۳. ۲. شاخص‌های نور روز مؤثر بر میزان آسایش کاربران فضای داخلی

یکی از پدیده‌های اقلیمی که در تعیین وضعیت حرارتی محیط نقش اساس دارد، تابش است. تابش به دو صورت تابش خورشیدی و تابش محیطی در شرایط آسایش انسان نقش دارد (طاهباز ۱۳۹۶، ۲۳). مفهوم سایه مترادف با عدم تابش مستقیم خورشید تلقی و تأکید شد که در مواقع گرم نیاز به سایه وجود خواهد داشت؛ لذا باید از ورود اشعهٔ مستقیم خورشید به داخل ساختمان جلوگیری کرد (رازجویان ۱۳۹۴، ۱۶۵). برای ارزیابی آسایش بصری کاربران در فضاهای داخلی، شاخص‌های متعددی در حوزهٔ نور روز معرفی شده است. این شاخص‌ها امکان سنجش کفایت و مطلوبیت نور طبیعی در فضا را فراهم می‌کنند و نشان می‌دهند که آیا نور روز تأمین‌شده، پاسخ‌گوی نیازهای بصری کاربران است یا خیر. بخش قابل توجهی از این شاخص‌ها در چارچوب مقررات، استانداردها و دستورالعمل‌های طراحی نور روز توسعه یافته‌اند.

شاخص‌های ارزیابی نور روز را می‌توان به‌طور کلی به دو دستهٔ ایستا و پویا تقسیم کرد. شاخص‌های ایستا، روشنایی طبیعی را در شرایط ثابت آسمان، مانند آسمان ابری یا صاف، ارزیابی می‌کنند. درمقابل، شاخص‌های پویا مبتنی‌بر داده‌های اقلیمی و تغییرات زمانی نور روز هستند و با در نظر گرفتن وضعیت آسمان، موقعیت خورشید و تغییرات سالانهٔ تابش، امکان تحلیل دقیق‌تری از عملکرد نور روز در فضای داخلی را فراهم می‌سازند. ازجمله شاخص‌های پویای نور روز می‌توان به DLA، شاخص نور مفید روز UDI، استقلال نور روز فضایی SDA[۸] و تابش سالانهٔ خورشید ASE[۹] اشاره کرد (فتح‌اله گندمی ۱۴۰۲). با توجه به هدف پژوهش، که ارزیابی عملکرد سطوح مشبک آجری در کنترل تابش و تأمین نور روز است، از میان شاخص‌های پویای نور روز، دو شاخص DLA و UDI انتخاب و تحلیل شده‌اند.

۳. ۲. ۱. شاخص DLA

این شاخص را نخستین‌بار انجمن سوئیس دی‌الکتریک در سال ۱۹۸۹ مطرح کرد، اما در سال‌های ۲۰۰۱ تا ۲۰۰۴ توسط رینهارت و والکنهورست بازنگری و اصلاح گردید. براساس پژوهش‌های IESNA[۱۰]، در نظر گرفتن آستانهٔ ۳۰۰ لوکس به‌عنوان حداقل روشنایی قابل قبول، نتایج آماری معتبری را برای تحلیل آسایش بصری به دست می‌دهد (Gherri 2015).

درمجموع، استفاده از DLA به‌عنوان یک معیار کمی، امکان ارزیابی دقیق عملکرد نور طبیعی و کاهش وابستگی به روشنایی مصنوعی را در ساختمان فراهم می‌سازد. فرمول این شاخص در ادامه آمده است:

$$DA = \frac{\sum_i (wf_i \times t_i)}{\sum_i t_i}$$

$$With\ wf_i = \begin{cases} 1\ if\ E_{Daylight} \geq E_{limit} \\ 0\ if\ E_{Daylight} < E_{limit} \end{cases}$$

Ti= مدت‌زمان اشغال، $E_{daylight}$= شدت روشنایی افقی ناشی از نور روز در نقطهٔ مورد نظر، E_{limit}= حد پایین روشنایی، Wfi ضریب براساس مقادیر E_{limit} و $E_{daylight}$

رابطهٔ ۱: فرمول شاخص DLA (Daylight Autonomy)

هرچه ضریب نفوذ نور روز یا DLA در فضاهای مسکونی بیشتر باشد، کیفیت روشنایی طبیعی و آسایش بصری ساکنان افزایش می‌یابد. به‌طور معمول، برای تأمین نور کافی و ایجاد فضایی دلنشین در فضاهای مسکونی، حداقل مقدار DLA برابر با ۵۰ درصد توصیه می‌شود (فتح‌اله گندمی ۱۴۰۲).

۳. ۲. ۲. شاخص UDI

این شاخص، توزیع روشنایی سالیانه در یک فضا را در محدوده‌های ازپیش‌تعیین‌شده (در بیش از ۵۰ درصد از زمان اشغال) برحسب لوکس نشان می‌دهد که در سال ۲۰۰۵ توسط نبیل و مردالیویک پیشنهاد شد. کارلوچی و همکاران UDI را به‌عنوان نورهایی محدود بین بازهٔ ۱۰۰ تا ۲۰۰۰ لوکس، که براساس داده‌های حاصل از مطالعات جامع رفتار ساکنان است، تعریف کرده‌اند. هرچه مقدار UDI بین ۱۰۰ تا ۲۰۰۰ لوکس بیشتر باشد، آسایش بصری بهتر خواهد بود (Tabadkani et al. 2019).

این شاخص به ما نشان می‌دهد که چه مقدار از نور روز دریافتی در یک فضا، واقعاً مفید و قابل استفاده برای فعالیت‌های روزانه است. با استفاده از شاخص UDI می‌توان طراحی ساختمان را به‌گونه‌ای تنظیم کرد که بیشترین بهره را از نور طبیعی گرفت و درعین‌حال از خیرگی و گرمایش بیش از حد جلوگیری کرد. بسیاری از استانداردهای ساختمان سبز، مانند LEED، برای ارزیابی عملکرد ساختمان‌ها درزمینهٔ استفاده از نور طبیعی، به شاخص UDI استناد می‌کنند. UDI به میزان روشنایی مفید و قابل استفاده در فضا اشاره دارد و اطلاعات دقیق‌تری در مورد کیفیت نور روز ارائه می‌دهد. دسته‌بندی رایج UDI براساس نور مفید به ترتیب زیر است:

UDI پایین (کمتر از ۱۰۰ لوکس): در این سطح، میزان نور طبیعی دریافتی بسیار کم است و برای انجام اکثر فعالیت‌های روزمره کافی نیست. این وضعیت معمولاً در فضاهایی که پنجره‌های کوچک یا بدون پنجره دارند، رخ می‌دهد.

UDI مفید (بین ۱۰۰ تا ۲۰۰۰ لوکس): در این سطح، میزان نور طبیعی دریافتی متوسط است و برای انجام بسیاری از فعالیت‌های روزمره مانند مطالعه، کار با کامپیوتر و فعالیت‌های خانگی کافی است.

UDI بالا (بیشتر از ۲۰۰۰ لوکس): در این سطح، میزان نور طبیعی دریافتی بسیار زیاد است. این وضعیت معمولاً در فضاهایی که پنجره‌های بزرگ و رو به جنوب دارند، رخ می‌دهد (U.S. Green Building Council 2023).

۳. ۳. تابش بر روی سطوح خارجی بنا

میزان تابش بر روی جداره‌های خارجی برحسب Kwh/m2 محاسبه می‌گردد. این مقدار سبب افزایش دمای جداره می‌گردد، به‌طوری‌که هرچه این مقدار بالاتر باشد، میزان حرارت دریافت‌شده از نور خورشید در جداره بیشتر است. مقدار بهینهٔ تابش به شرایط اقلیمی، جهت جغرافیایی، رنگ جداره، مصالح مصرفی در نمای بنا، ساعات تابش و فصل تابش بستگی دارد. در اقلیم‌های گرم، مقدار تابش با در نظر گرفتن حداقل نور دریافتی ساختمان، هرچقدر کمتر باشد، مطلوب‌تر است (همان).

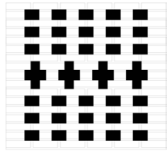
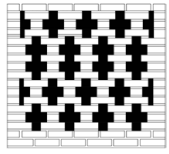
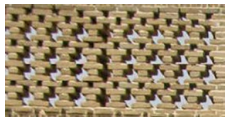
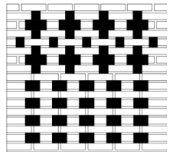
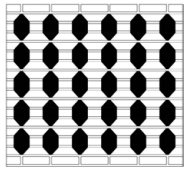
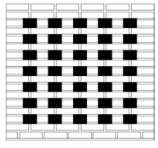
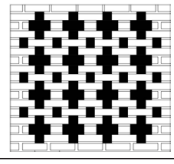
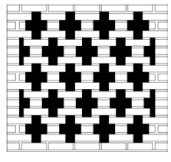
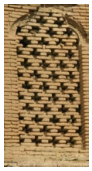
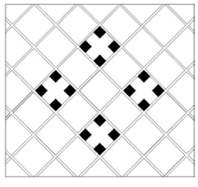
٤. معرفی و شبیه‌سازی سطوح مشبک منتخب خانه‌های سنتی دزفول

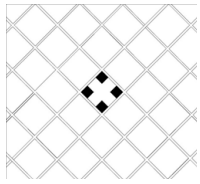
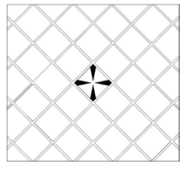
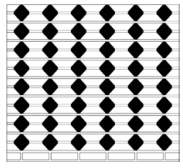
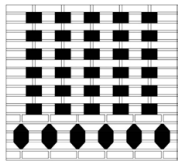
در این پژوهش، دوازده الگو از سطوح مشبک خانه‌های تاریخی دزفول انتخاب و برداشت شده است. این نمونه‌ها نمایانگر الگوهای هندسی متنوع در معماری خانه‌های تاریخی شهر دزفول هستند که از چیدمان فرم‌های مربع‌شکل و طرح‌های چلیپایی شکل گرفته‌اند (جدول ۱). کلیهٔ الگوهای سطوح مشبک، به طول ۱۳۰ و ارتفاع ۱۲۰ سانتی‌متر، به‌صورت دوبعدی مدل شده‌اند.

ابتدا با استفاده از شبیه‌سازی نرم‌افزاری، چهار اتاقک به ابعاد ۱۲۰×۱۳۰×۱۳۰سانتی‌متر طراحی شد تا میزان تابش و شاخص‌های نور روز DLA و UDI برای دوازده الگوی مشبک آجری با فواصل ۱۰ تا ۴۰ سانتی‌متر از سطح شیشه‌ای هر اتاقک مورد سنجش قرار گیرد.

ابعاد مدل‌های شبیه‌سازی‌شده به‌گونه‌ای انتخاب شد که با نمونه‌های فیزیکی ساخته‌شده در پژوهش مکمل این مطالعه هماهنگ باشد. در آن پژوهش، عملکرد مدل‌های سطوح مشبک ۶ و ۷ براساس دمای داخلی اتاقک‌های با همین اندازه بررسی شده بود؛ بنابراین، استفاده از ابعاد یکسان در مدل‌ها با هدف حفظ انطباق هندسی میان مدل شبیه‌سازی و نمونهٔ فیزیکی انجام شد.

جدول ۱: مشخصات سطوح مشبک آجری منتخب از خانه‌های سنتی شهر دزفول (بر مبنای آرشیو میراث‌فرهنگی دزفول)

شماره الگو	موقعیت الگو	شکل الگو	درصد پر به خالی	طرح دوبعدی الگو	تصویر الگو
۱	خانهٔ شاهرخی	چلیپای تک و مربع	۷۳/۷		
۲	خانه‌ای در دزفول	چلیپای تک و دوتایی	۶۹		
۳	خانه‌ای در دزفول	چلیپا و مربع	۷۲		
۴	خانهٔ بزی بزرگ	شش‌ضلعی معجر	۶۹/۴		
۵	خانهٔ کوهی‌نژاد	مربع معجر	۷۷		
۶	خانهٔ زرگر	چلیپا و مربع	۶۸		
۷	خانهٔ خلج قصاب	چلیپا	۶۷/۳		
۸	خانهٔ تیزنو	مربع ۴۵ درجه با آجر مطبق (خطایی)	۹۶/۳		

۹	خانهٔ سوزنگر	مربع ۴۵ درجه با آجر مطبق (خطایی)	۹۹		
۱۰	خانهٔ سید صدر	معجرگل	۹۹/۳		
۱۱	خانهٔ باغبان	مربع ۴۵ درجه	۷۶		
۱۲	خانهٔ فیروزی	شش‌ضلعی و مربع	۷۳/۷		

دلیل دوم انتخاب ابعاد مدل‌های شبیه‌سازی‌شده در این پژوهش، نزدیک بودن به ابعاد نمونه‌های فیزیکی به‌کاررفته در مطالعهٔ دهار (۱۳۹۸) بود. در پژوهش مذکور که به بررسی عملکرد حرارتی و سنجش دمای داخلی اتاقک‌های مجهز به نمای خوون‌چینی اختصاص داشت، ابعاد نما ۱۴۰ در ۱۴۵ سانتی‌متر در نظر گرفته شده بود. این نزدیکی ابعاد، امکان مقایسه‌پذیری مدل‌های دیجیتال با نمونه‌های فیزیکی واقعی را فراهم می‌کند.

الگوهای ارائه‌شده در جدول ۲، همان الگوهای معرفی‌شده در جدول ۱ هستند که در نرم‌افزار Rhino به‌صورت سه‌بعدی مدل‌سازی شده‌اند. درمجموع، ۱۲ مدل پایه ایجاد شد و هر مدل در فواصل تعیین‌شده از پوستهٔ اصلی قرار گرفت. مدل‌های شمارهٔ ۸ تا ۱۰، با اعمال تغییراتی و با توجه به تصویر ۲ طراحی شدند تا فضای داخلیِ پشت سطح مشبک، ضمن برخورداری از نورگیری مناسب، امکان اجرای آسان‌تری نیز داشته باشد. ازآنجاکه تصویر ۲ بیانگر الحاقات اعمال شده، در جدول ۱ ارائه نشده است.

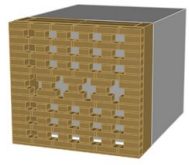
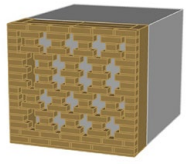
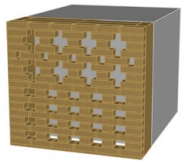
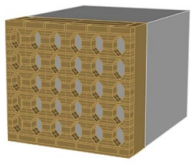
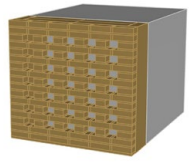
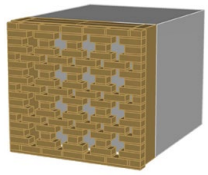
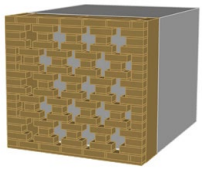
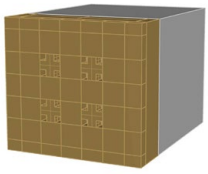
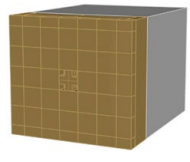
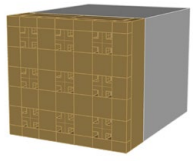
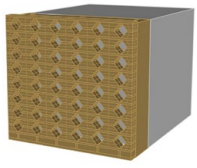
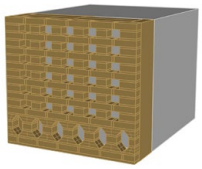


تصویر ۲: مشبک چهارخانه، خانهٔ چانه‌قرمز دزفول (آرشیو میراث‌فرهنگی دزفول)

٤. ١. روند مدل‌سازی و تنظیمات شبیه‌سازی

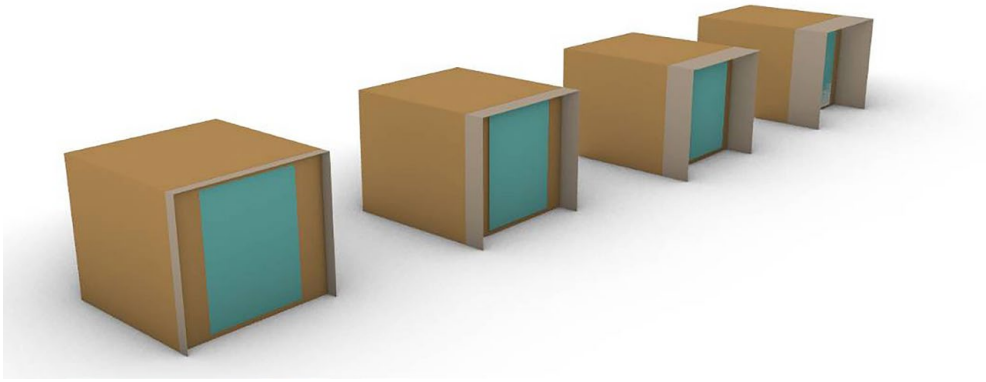
در این پژوهش، از نرم‌افزار Rhino 7 به‌همراه پلاگین‌های Grasshopper، Ladybug و Honeybee استفاده شد. مدل‌سازی هندسی پوسته‌ها و مدل پایه در محیط Rhino انجام گرفت و برای وارد نمودن داده‌های آب‌وهوایی مربوط به اقلیم شهر دزفول، از فایل استاندارد EPW[۱۱] مورد استفاده در پلاگین‌های Ladybug و Honeybee استفاده شد. این فایل بیانگر سال اقلیمی TMY[۱۲] بوده و به‌عنوان نمایندهٔ شرایط معمول و سالانهٔ اقلیمی منطقه در شبیه‌سازی‌ها استفاده شد. به‌منظور تحلیل عملکرد نور روز و تابش سطح، از پلاگین Honeybee با تکیه بر موتورهای شبیه‌سازی Radiance و Daysim[۱۳] بهره گرفته شد.

جدول ۲: معرفی انواع سطوح مشبک شبیه‌سازی‌شدهٔ آجری جلوی سطح شیشه‌ای نما

مدل ۱ پر به خالی: ۷۳/۷ درصد	مدل ۲ پر به خالی: ۶۹ درصد	مدل ۳ پر به خالی: ۷۲ درصد	مدل ۴ پر به خالی: ۶۹/۴ درصد
			
مدل ۵ پر به خالی: ۷۷ درصد	مدل ۶ پر به خالی: ۶۸ درصد	مدل ۷ پر به خالی: ۶۷/۳ درصد	مدل ۸ پر به خالی: ۹۱ درصد
			
مدل ۹ پر به خالی: ۹۷/۷ درصد	مدل ۱۰ پر به خالی: ۸۰ درصد	مدل ۱۱ پر به خالی: ۷۶ درصد	مدل ۱۲ پر به خالی: ۷۳/۳ درصد
			

ارزیابی عملکرد نور و تابش پوسته‌های آجرکاری مشبک (فخر و مدین) در اقلیم دزفول، طی یک فرایند شبیه‌سازی عددی چندمرحله‌ای انجام شد. در مرحلهٔ نخست، هندسهٔ پایهٔ پژوهش شامل یک اتاقک مرجع با پلان ۱/۳۰×۱/۳۰ ارتفاع ۱/۲۰ متر در محیط نرم‌افزار Rhino مدل‌سازی شد. به‌منظور سنجش تأثیر مشخصات کالبدی، ۱۲ نمونه پوستهٔ آجری مشبک با درصدهای گوناگون پر به خالی بازطراحی شد. این پوسته‌ها به‌عنوان جدارهٔ ثانویهٔ بیرونی، در چهار فاصلهٔ محاسباتی شامل ۱۰، ۲۰، ۳۰ و ۴۰ سانتی‌متری از سطح شیشه‌ای اتاقک در جبههٔ جنوبی مستقر شدند تا نقش عمق بر رفتار نور و تابش در فضا ارزیابی شود. شایان ذکر است که در تمامی مراحل شبیه‌سازی، کلیهٔ سطوح اتاقک،

شامل دیوار شمالی، شرقی و غربی و سطح شیشه‌ایِ جنوبی، ثابت نگه داشته می‌شوند و تنها سطوح مشبک آجری برای ایجاد فاصله‌های مورد نظر نسبت به جدارهٔ شیشه‌ای تغییر مکان می‌دهند (تصویر ۳). در ادامه، برای انجام محاسبات پارامتریک، مدل‌های هندسی ترسیم‌شده در Rhino به محیط افزونهٔ Grasshopper پیوند داده شدند.



تصویر ۳: نمونه اتاقک شبیه‌سازی‌شده با چهار فاصلهٔ ۱۰ تا ۴۰ سانتی‌متر قبل از قرارگیری سطوح مشبک

در بخش تنظیمات فنی مدل، برنامهٔ فیزیکی فضا بر پایهٔ کاربری مسکونی تنظیم شد و مشخصات مصالح جداره‌ها منطبق بر الگوهای رایج ساخت‌وساز شد؛ به‌طوری‌که برای دیوارهای جانبی، ساختار دولایهٔ بلوک سیمانی و اندود سیمانی، برای کف، ترکیب بتن و ملات سیمانی، و برای سقف، لایه‌های گچ و پلاستر محافظ در نظر گرفته شد. همچنین با هدف بررسی رفتار فضا در طول سال، برنامهٔ زمان‌بندی اشغال اتاقک به‌صورت مداوم برای تمامی ۸۷۶۰ ساعت سال اعمال شد و داده‌های اقلیمی شهر دزفول با فرمت استاندارد EPW ازطریق ابزار Ladybug فراخوانی و به مدل معرفی شد.

درنهایت، برای تحلیل توزیع و کیفیت نور روز در فضای داخلی، شبکهٔ مش‌بندی محاسباتی با ابعاد ۰/۲۵×۰/۲۵ متر در ارتفاع کارِ ۱۰ سانتی‌متری از سطح کف تعریف شد. در این فرایند ارزیابی، ابعاد اتاقک، ضخامت مصالح و ساعات بهره‌برداری به‌عنوان متغیرهای ثابت طراحی فرض شدند و تحلیل کارایی پوسته‌ها براساس شاخص نور (DLA) با آستانهٔ حداقل ۳۰۰ لوکس و شاخص دسترسی به نور روز مفید (UDI) در محدودهٔ آسایش ۱۰۰ تا ۲۰۰۰ لوکس صورت پذیرفت.

۵. تحلیل پارامترهای DLA، UDI و تابش ۱۲ مدل سطوح مشبک

پارامترهای کلیدی برای ارزیابی عملکرد پوسته‌های مشبک آجری در کنترل تابش خورشیدی و نفوذ نور روز، براساس شبیه‌سازی‌های انجام‌شده در اقلیم گرم و نیمه‌خشک دزفول تحلیل شده‌اند. این پارامترها شامل شکل الگوهای هندسی و درصد پر به خالی، فاصلهٔ پوسته از جدارهٔ شیشه‌ای در بازهٔ ۱۰ تا ۴۰ سانتی‌متر، شاخص‌های نور روز، مانند DLA و UDI در بازه‌های کمتر از ۱۰۰ لوکس، ۱۰۰ تا ۲۰۰۰ لوکس، و بیشتر از ۲۰۰۰ لوکس، و میزان تابش سطح دریافتی به واحد kWh/m^2 هستند. این پارامترها بر پایهٔ داده‌های جدول ۲ و نتایج شبیه‌سازی مانند جداول DLA، UDI و تابش سطح استخراج شده‌اند و نقش محوری در بهینه‌سازی عملکرد حرارتی و بصری ساختمان‌های سنتی ایفا می‌کنند. برای نمایش اولویت‌های اصلی در هر شاخص، نام الگوهای بهینه در جداولِ تحلیلِ ۳، ۴، ۵ و ۶، به تفکیک هر فاصله، به‌صورت پررنگ مشخص شده‌اند.

۵. ۱. تحلیل مدل‌ها از لحاظ شاخص DLA

جدول ۳ رتبه‌بندی ۱۲ مدل پوستهٔ مشبک آجری نما را براساس درصد نور روز یا DLA در فواصل مختلف ۱۰، ۲۰، ۳۰ و ۴۰ سانتی‌متر نشان می‌دهد.

جدول ۳: اولویت‌بندی کل نمونه‌ها براساس شاخص DLA به تفکیک در فواصل ۱۰، ۲۰، ۳۰ و ۴۰ سانتی‌متری

اولویت / فاصله	اول	دوم	سوم	چهارم	پنجم	ششم	هفتم	هشتم	نهم	دهم	یازدهم	دوازدهم
۱۰ cm	**مدل ۷**	**مدل ۲**	**مدل ٦**	مدل ۴	مدل ۳	مدل ۱	مدل ۱۲	مدل ۱۱	مدل ۵	مدل ۱۰	مدل ۸	مدل ۹
	۳۳/۹۶	۳۳/۴	۳۲/۵۶	۲۷/۸	۲۶/۴	۲۵/۴۸	۲۵/۴	۲۴/۹۲	۲۴/۸۸	۱۶/۲	۱۳/۲	۳/۷۲
۲۰ cm	**مدل ۷**	**مدل ۲**	**مدل ٦**	مدل ۴	مدل ۱	مدل ۳	مدل ۱۲	مدل ۱۱	مدل ۵	مدل ۸ و ۱۰	مدل ۹	
	۳۱/۴۴	۳۰/۹۶	۳۰/۸۸	۲۵/۹۲	۲۳/۸۴	۲۳/۶۴	۲۳/۲۸	۲۲/۲	۲۲/۰۴	۱۴/۵۲	۲/۲۸	
۳۰ cm	**مدل ۷**	**مدل ۲**	**مدل ٦**	مدل ۴	مدل ۳	مدل ۱	مدل ۱۲	مدل ۵	مدل ۱۱	مدل ۸ و ۱۰	مدل ۹	
	۲۷/۸۴	۲۷/۸۰	۲۶/۳۶	۲۱/۶۸	۲۰/۲	۱۹/۰۸	۱۸/۲۸	۱۷/۹۶	۱۷/۳۲	۹/۹۶	۱/۵۶	
۴۰ cm	**مدل ۷**	**مدل ٦**	**مدل ۲**	مدل ۴	مدل ۱	مدل ۵	مدل ۳	مدل ۱۲	مدل ۱۱	مدل ۱۰	مدل ۸	مدل ۹
	۲۶/۲۴	۲۵/۲۴	۲۴/۷۲	۲۰/۳۲	۱۸	۱۷/۸۸	۱۷/۵۶	۱۷/۰۴	۱۶/۱۶	۱۰/۳۲	۶/۵۶	۲/۳۲

اعداد درج‌شده در جدول ۳ بیانگر درصد زمان‌های سال، معادل تعداد ساعاتی از کل ۸۷۶۰ ساعت شبیه‌سازی سالانه هستند که طی آن روشنایی در نقاط شبکهٔ کف به آستانهٔ مطلوب ۳۰۰ لوکس رسیده است. واحد این مقادیر درصد است؛ برای مثال، مقدار ۳۳/۹۶ درصد برای مدل ۷ در فاصلهٔ ۱۰ سانتی‌متری نشان می‌دهد که این الگو توانسته است در ۲۹۷۵ ساعت از سال، معادل ۳۳/۹۶ درصد از ۸۷۶۰ ساعت، نور مطلوب بالای ۳۰۰ لوکس را در فضای داخلی، بدون نیاز به نور مصنوعی تأمین کند.

روند استخراج داده‌ها به‌این‌ترتیب بوده که ابتدا توزیع سالانهٔ روشنایی روی شبکهٔ نقاط محاسباتی کف شبیه‌سازی شده، سپس تعداد ساعات مطلوب برای هر نقطه محاسبه شده و درنهایت، میانگین درصد تحقق این شاخص در کل فضای اتاقک ثبت گردیده است. رتبه‌بندی جدول از اولویت اول تا دوازدهم، نشان‌دهندهٔ توانایی هر الگو در افزایش این ساعات، و دستیابی به مقادیر بالاترِ این شاخص است.

۵. ۱. ۱. فاصلهٔ ۱۰ سانتی‌متر

مدل ۷ با مقدار DLA برابر ۳۳/۹۶ درصد در اولویت نخست و مدل ۲ با ۳۳/۴ درصد در اولویت دوم قرار گرفتند؛ نتیجه‌ای که برتری الگوهای چلیپایی و شش‌ضلعی را با نسبت پر به خالی بهینه در حدود ۶۹ تا ۷۳ درصد نشان می‌دهد. درمقابل، مدل ۹ با DLA برابر۳/۷۲ درصد در رتبهٔ دوازدهم قرار گرفت که به‌دلیل تراکم بالای مصالح، نفوذ نور را به‌شدت محدود کرده و شرایط کم‌نوری را تشدید می‌کند. همچنین، میانگین DLA در این فاصله ۲۳/۹۹ درصد به دست آمد که بیانگر غلبهٔ انتقال مستقیم نور در فواصل نزدیک است.

۵. ۱. ۲. فاصلهٔ ۲۰ سانتی‌متر

مدل ۷ با مقدار DLA برابر ۳۱/۴۴ درصد عملکرد مناسب‌تری داشت و مدل ۲ با ۳۰/۹۶ درصد در رتبهٔ دوم قرار گرفت؛ امری که نشان‌دهندهٔ پایداری عملکرد این دو مدل با افزایش فاصله است. درمقابل، مدل ۹ با DLA برابر ۲/۲۸ درصد همچنان ضعیف‌ترین عملکرد را نشان داد.

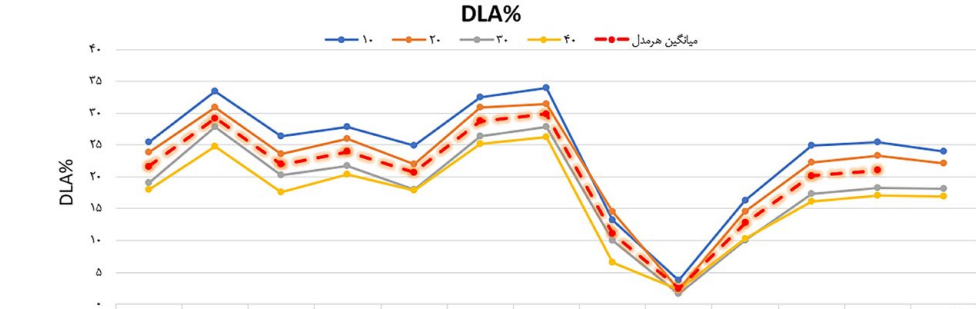
۵. ۱. ۳. فاصلهٔ ۳۰ سانتی‌متر

مدل ۷ با مقدار DLA برابر ۲۷/۸۴ درصد همچنان در اولویت نخست قرار داشت و مدل ۲ با ۲۷/۸۰ درصد در فاصله‌ای

نزدیک پس از آن جای گرفت. همچنین، میانگین DLA در این فاصله به ۱۸/۱۷ درصد رسید که نشان‌دهندهٔ تشدید اثر سایه‌اندازی با افزایش فاصله است. درمقابل، مدل ۹ با DLA برابر ۱/۵۶ درصد کمترین عملکرد را به خود اختصاص داد. این روند بیانگر آن است که در فواصل میانی، الگوهای پیچیده‌تر مانند مدل ۷، همچنان برتری خود را حفظ می‌کنند؛ هرچند نفوذ نور به‌طور کلی کاهش می‌یابد.

۵. ۱. ٤. فاصلهٔ ٤٠ سانتی‌متر

مدل ۷ با DLA، ۲۶/۲۴ درصد اول و مدل ۶ با ۲۵/۲۴ درصد دوم است که نشان‌دهندهٔ رقابت نزدیک بین الگوهای بهینه در فواصل عمیق‌تر است. میانگین DLA به ۱۶/۸۶ درصد کاهش می‌یابد، کاهش مطلق۷/۱۳ درصد نسبت به ۱۰ سانتی‌متر، که بیانگر حداکثر اثر سایه‌اندازی و پراکنش نور است. مدل ۹ با DLA، ۲/۳۲ درصد همچنان ضعیف‌ترین عملکرد را دارد.



	مدل یک	مدل دو	مدل سه	مدل چهار	مدل پنج	مدل شش	مدل هفت	مدل هشت	مدل نه	مدل ده	مدل یازده	مدل دوازده	میانگین هر فاصله
۱۰	۲۵/۴۸	۳۳/۴	۲۶/۴	۲۷/۸	۲۴/۸۸	۳۲/۵۶	۳۳/۹۶	۱۳/۲	۳/۷۲	۱۶/۲	۲۴/۹۲	۲۵/۴	۲۳/۹۹
۲۰	۳۳/۸۴	۳۰/۹۶	۲۳/۶۴	۲۵/۹۲	۲۲/۰۴	۳۰/۸۸	۳۱/۴۴	۱۴/۵۲	۲/۲۸	۱۴/۵۲	۲۲/۲	۲۳/۲۸	۲۲/۱۳
۳۰	۱۹/۰۸	۲۷/۸	۲۰/۲	۲۱/۶۸	۱۷/۹۶	۲۶/۳۶	۲۷/۸۴	۹/۹۶	۱/۵۶	۹/۹۶	۱۷/۳۲	۱۸/۲۸	۱۸/۱۷
۴۰	۱۸	۲۴/۷۲	۱۷/۵۶	۲۰/۳۲	۱۷/۸۸	۲۵/۲۴	۲۶/۲۴	۶/۵۶	۲/۳۲	۱۰/۳۲	۱۶/۱۶	۱۷/۰۴	۱۶/۸۶
میانگین هرمدل	۲۱/۶	۲۹/۲۲	۲۱/۹۵	۲۳/۹۳	۲۰/۶۹	۲۸/۷۶	۲۹/۸۷	۱۱/۰۶	۲/۴۷	۱۲/۷۵	۲۰/۱۵	۲۱	

دوازده نمونه پوسته تعریف شده از جدار اصلی

تصویر ۴: نمودار آنالیز شاخص DLA برای پوسته‌های تعریف‌شده در فواصل مختلف ۱۰، ۲۰، ۳۰ و ۴۰ سانتی‌متری از جدار اصلی

رتبه‌بندی مدل‌ها در فواصل مختلف نشان می‌دهد که مدل‌های ۷، ۲ و ۶ درمجموع بهترین عملکرد را ازنظر شاخص DLA داشته‌اند و میانگین این شاخص در آن‌ها به‌ترتیب ۲۹/۸۷، ۲۹/۲۲ و ۲۸/۷۶ درصد بوده است. در فاصلهٔ ۱۰ سانتی‌متری، مدل ۷ با مقدار ۳۳/۹۶ درصد بیشترین میزان را ثبت کرد. همچنین، مدل‌های ۲ و ۶ به‌ترتیب با مقادیر ۳۳/۴ و ۳۲/۵۶ درصد عملکرد مطلوبی نشان دادند.

این نتایج بیانگر آن است که الگوهای چلیپایی و شش‌ضلعی می‌توانند پراکنش متعادل نور را تسهیل کنند و هم‌زمان از شدت تابش مستقیم بکاهند. ازسوی دیگر، کاهش میانگین DLA از ۲۳/۹۹ درصد در فاصلهٔ ۱۰ سانتی‌متری به ۱۶/۸۶ درصد در فاصلهٔ ۴۰ سانتی‌متری، وجود رابطه‌ای معکوس میان فاصله و مقدار DLA را تأیید می‌کند. درمقابل، مدل ۹ با میانگین ۲/۴۷ درصد، به‌دلیل تراکم بالای مصالح، ضعیف‌ترین عملکرد را داشته است. همچنین، مدل‌های متراکم‌تر، مانند مدل ۱۱، کاهش سریع‌تری در مقدار DLA نشان می‌دهند، درحالی‌که مدل‌های بازتر، مانند مدل ۷، از پایداری بیشتری برخوردارند (تصویر ۴).

۵. ۲. تحلیل مدل‌ها از لحاظ شاخص UDI، UDI-Less-100 (Lux)

شاخص نور روز مفید یا Useful Daylight Illuminance (UDI) وضعیت روشنایی فضا را در بازه‌های مختلف شدت نور تحلیل می‌کند. نخستین بازهٔ مورد بررسی، UDI< 100 lux است که بیانگر سهم زمانی و مکانی شرایط کم‌نوری

یا Underlit در فضای داخلی است؛ بدین معنا که در این ساعات، میزان نور روز برای انجام فعالیت‌های بصری کافی نبوده و استفاده از نور مصنوعی اجتناب‌ناپذیر است.

اعداد درج‌شده در جدول ۴ نشان‌دهندهٔ میانگین درصد ساعاتی از کل ۸۷۶۰ ساعت سال هستند که طی آن، نقاط شبکهٔ محاسباتی کف روشنایی کمتر از ۱۰۰ لوکس دریافت کرده‌اند. این مقادیر ازطریق شبیه‌سازی سالانه و بر پایهٔ داده‌های آب‌وهوایی شهر دزفول استخراج شده‌اند. در این جدول، هرچه مقدار شاخص کمتر باشد، عملکرد پوسته در کاهش تاریکی فضا و تسهیل نفوذ نور روز مطلوب‌تر ارزیابی می‌شود.

جدول ۴: اولویت‌بندی کل نمونه‌ها براساس شاخص UDI-Less-100 (Lux) به تفکیک در فواصل ۱۰، ۲۰، ۳۰ و ۴۰ سانتی‌متری

فاصله	اولویت اول	دوم	سوم	چهارم	پنجم	ششم	هفتم	هشتم	نهم	دهم	یازدهم	دوازدهم
۱۰ cm	**مدل ۷**	**مدل ۲**	**مدل ٦**	مدل ۴	مدل ۱ و ۳	مدل ۵	مدل ۱۲	مدل ۱۱	مدل ۱۰	مدل ۸	مدل ۹	
	۵۳/۵۲	۵۳/۶۸	۵۳/۸	۵۵/۱۲	۵۶/۱۲	۵۶/۷۶	۵۶/۹۶	۶۵/۶۵	۶۵/۸۴	۶۸/۵۶	۸۶/۱۶	
۲۰ cm	**مدل ۷**	**مدل ۲**	**مدل ٦**	مدل ۴	مدل ۱۲	مدل ۱	مدل ۳	مدل ۵	مدل ۱۱	مدل ۱۰	مدل ۸	مدل ۹
	۵۳/۹۲	۵۳/۹۶	۵۴/۰۴	۵۵/۸۸	۵۶/۹۲	۵۷/۰۴	۵۷/۳۲	۵۸	۵۸/۴	۶۵/۵۲	۶۷/۰۴	۸۶/۶۴
۳۰ cm	**مدل ۷ و ۲**	**مدل ٦**	**مدل ٤**	مدل ۳	مدل ۱	مدل ۱۲	مدل ۵	مدل ۱۱	مدل ۱۰	مدل ۸	مدل ۹	
	۵۴/۷۶	۵۵/۲۸	۵۷/۴۴	۵۸/۵۶	۵۸/۶۴	۵۹/۶	۶۰/۷۲	۶۱/۷۲	۷۲/۰۸	۷۲/۳۲	۹۳/۱۲	
۴۰ cm	**مدل ۷**	**مدل ٦ و ۲**	**مدل ٤**	مدل ۳	مدل ۱	مدل ۱۲	مدل ۵	مدل ۱۱	مدل ۱۰	مدل ۸	مدل ۹	
	۵۵/۴	۵۵/۶	۵۸/۶۸	۶۰/۲	۶۰/۶۳	۶۱/۱۲	۶۱/۵۲	۶۲/۴۴	۷۲/۳۲	۷۹/۴۸	۹۰/۳۲	

مقادیر عددی این جدول، شاخص UDI < 100 lux را با واحد درصد نشان می‌دهند. این اعداد بیانگر مجموع ساعاتی از سال، معادل درصدی از کل ۸۷۶۰ ساعت هستند که طی آن فضای داخلی در وضعیت نور ناکافی قرار داشته است. برای مثال، مقدار ۵۳/۵۲ درصد برای مدل ۷ در فاصلهٔ ۱۰ سانتی‌متری بدین معناست که این فضا در ۴۶۰۱ ساعت از سال، معادل ۵۳/۵۲ درصد از ۸۷۶۰ ساعت، دچار کم‌نوری بوده و میزان روشنایی آن به آستانهٔ ۱۰۰ لوکس نرسیده است.

روند استخراج این داده‌ها بر پایهٔ تحلیل تفکیکی هریک از نقاط شبکهٔ محاسباتی کف در طول یک سال کامل، شامل ۸۷۶۰ گام زمانی، انجام شده و عدد نهایی، میانگین عملکرد کل سطح کف را گزارش می‌کند. اولویت‌بندی مدل‌ها براساس کمترین مقدار درصد صورت گرفته است؛ زیرا هدف در این بخش، به حداقل رساندن شرایط کم‌نوری در فضای داخلی است.

۵. ۲. ۱. فاصلهٔ ۱۰ سانتی‌متر

مدل ۷ با مقدار ۵۳/۵۲ درصد در اولویت نخست قرار گرفت که نشان‌دهندهٔ کمترین سهم نور ناکافی در میان مدل‌هاست و بر عملکرد برتر الگوهای چلیپایی در تسهیل نفوذ نور روز، بدون ایجاد سایه‌اندازی بیش از حد نسبت به سایر نمونه‌ها دلالت دارد. مدل‌های ۲ و ۶ به‌ترتیب با مقادیر ۵۳/۶۸ و ۵۳/۸۰ درصد در رتبه‌های بعدی قرار گرفتند. درمقابل، مدل ۹ با مقدار ۸۶/۱۶ درصد در رتبهٔ آخر جای گرفت که این امر حاکی از تراکم بالای مصالح و تشدید قابل‌توجه شرایط کم‌نوری یا Underlit است. همچنین، میانگین شاخص UDI < 100 lux در این فاصله حدود ۶۰/۶۹ درصد به دست آمد که نشان می‌دهد در فواصل نزدیک، برای کاهش نور ناکافی، استفاده از الگوهایی با تخلخل بیشتر ضروری است.

۵. ۲. ۲. فاصلهٔ ۲۰ سانتی‌متر

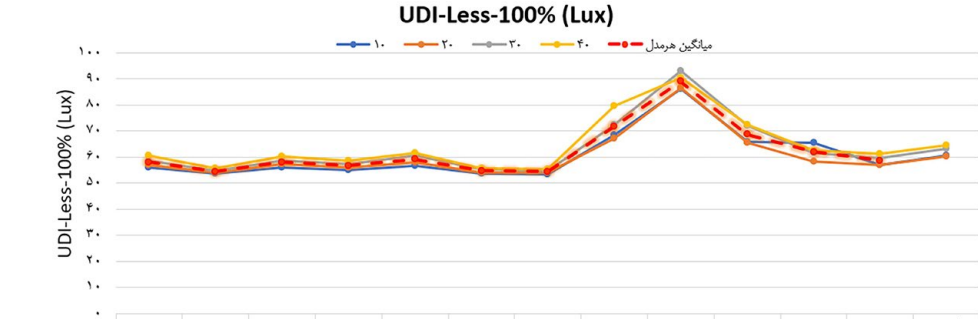
مدل ۷ با مقدار UDI < 100 lux برابر ۵۳/۹۲ درصد همچنان در اولویت نخست قرار داشت و مدل ۲ با ۵۳/۹۶ درصد در رتبهٔ دوم جای گرفت؛ امری که پایداری عملکرد این دو مدل را با افزایش فاصله تأیید می‌کند. همچنین، میانگین شاخص UDI < 100 lux در این فاصله به حدود ۶۰/۳۹ درصد افزایش یافت که نسبت به فاصلهٔ ۱۰ سانتی‌متری، ۰/۴۹ درصد افزایش را نشان می‌دهد. این تغییر ناشی از تشدید اثر سایه‌اندازی و کاهش نفوذ نور در اثر ایجاد فاصله میان دو جداره است. درمقابل، مدل ۹ با مقدار ۸۶/۶۴ درصد ضعیف‌ترین عملکرد را به خود اختصاص داد. این روند بیانگر حرکت تدریجی فضا به‌سوی شرایط کم‌نوری بیشتر با افزایش فاصله است؛ وضعیتی که با سازوکارهای پراکنش نور در نماهای مشبک هم‌راستاست.

۵. ۲. ۳. فاصلهٔ ۳۰ سانتی‌متر

مدل‌های ۷ و ۲ هر دو با مقدارUDI < 100 lux برابر ۵۴/۷۶ درصد به‌طور مشترک در اولویت نخست قرار گرفتند؛ امری که نشان‌دهندهٔ عملکرد یکسان این دو نمونه در این فاصله است. همچنین، میانگین شاخص UDI < 100 lux در این فاصله به حدود ۶۳/۲۵ درصد رسید که نسبت به فاصلهٔ ۱۰ سانتی‌متری، ۴/۲۲ درصد افزایش را نشان می‌دهد. این روند، شتاب‌گیری افزایش نور ناکافی را هم‌زمان با افزایش فاصله برجسته می‌سازد. درمقابل، مدل ۹ با مقدار ۹۳/۱۲ درصد همچنان ضعیف‌ترین عملکرد را داشت. این داده‌ها حاکی از آن است که در فواصل میانی، الگوهای پیچیده‌تر همچنان برتری نسبی خود را حفظ می‌کنند؛ بااین‌حال، افزایش کلی نور ناکافی، ضرورت تنظیم پارامترهای هندسی را برای حفظ روشنایی مفید فضا تأکید می‌کند.

۵. ۲. ٤. فاصلهٔ ٤۰ سانتی‌متر

مدل ۷ با مقدار UDI < 100 lux برابر ۵۵/۴ درصد در رتبهٔ نخست قرار گرفت و مدل‌های ۶ و ۲ هر دو با مقدار ۵۵/۶ درصد به‌طور مشترک در رتبهٔ دوم جای گرفتند. همچنین، میانگین شاخص UDI < 100 lux در این فاصله به حدود ۶۴/۴۵ درصد افزایش یافت که نسبت به فاصلهٔ ۱۰ سانتی‌متری، ۴/۵۵ درصد افزایش را نشان می‌دهد. این روند بیانگر حداکثر اثر سایه‌اندازی و تشدید شرایط نور ناکافی است. درمقابل، مدل ۹ با مقدار ۹۰/۳۲ درصد ضعیف‌ترین عملکرد را داشت، اما مدل‌های میانی، مانند مدل‌های ۴ و ۳، با مقادیری بین ۵۸/۶۸ تا ۶۰/۲ درصد، بهبود بسیار کم در کنترل نور ناکافی نشان دادند. این فاصله بیشترین ظرفیت را برای کاهش خیرگی فراهم می‌کند، اما این مزیت با افزایش نور ناکافی همراه است؛ وضعیتی که در طراحی برای اقلیم گرم و نیمه‌خشک باید به‌دقت متعادل شود.



میانگین هر فاصله	مدل دوازده	مدل یازده	مدل ده	مدل نه	مدل هشت	مدل هفت	مدل شش	مدل پنج	مدل چهار	مدل سه	مدل دو	مدل یک
۶۰/۶۹	۵۶/۹۶	۶۵/۶۵	۶۵/۸۴	۸۶/۱۶	۶۸/۵۶	۵۳/۵۲	۵۳/۸	۵۶/۷۶	۵۵/۱۲	۵۶/۱۲	۵۳/۶۸	۵۶/۱۲
۶۰/۳۹	۵۶/۹۲	۵۸/۴	۶۵/۵۲	۸۶/۶۴	۶۷/۰۴	۵۳/۹۲	۵۴/۰۴	۵۸	۵۵/۸۸	۵۷/۳۲	۵۳/۹۶	۵۷/۰۴
۶۳/۲۵	۵۹/۶	۶۱/۷۲	۷۲/۰۸	۹۳/۱۲	۷۲/۳۲	۵۴/۷۶	۵۵/۲۸	۶۰/۷۲	۵۷/۴۴	۵۸/۵۶	۵۴/۷۶	۵۸/۶۴
۶۴/۴۵	۶۱/۱۲	۶۲/۴۴	۷۲/۳۲	۹۰/۳۲	۷۹/۴۸	۵۵/۴	۵۵/۶	۶۱/۵۲	۵۸/۶۸	۶۰/۲	۵۵/۶	۶۰/۶۳
	۵۸/۶۵	۶۲/۰۵	۶۸/۶۴	۸۹/۰۶	۷۱/۸۵	۵۴/۴	۵۴/۶۸	۵۹/۲۵	۵۶/۷۸	۵۸/۰۸	۵۴/۵	۵۸/۱۱

دوازده نمونه پوسته تعریف شده از جدار اصلی

تصویر ۵: نمودار آنالیز شاخص‌های نور روز (UDI-Less-100 LUX) برای پوسته‌های تعریف‌شده در فواصل مختلف ۱۰، ۲۰، ۳۰ و ۴۰ سانتی‌متری از جدار اصلی

تحلیل کلی جدول ۴، رابطهٔ مستقیم میان افزایش فاصله و شاخص UDI < 100 lux را آشکار می‌سازد؛ به‌گونه‌ای که میانگین این شاخص از ۶۰/۶۹ درصد در فاصلهٔ ۱۰ سانتی‌متری به ۶۴/۴۵ درصد در فاصلهٔ ۴۰ سانتی‌متری افزایش یافته است؛ افزایشی معادل ۴/۵۵ درصد نسبت به فاصلهٔ ۱۰ سانتی‌متری که تشدید شرایط نور ناکافی را با افزایش فاصله نشان می‌دهد. مدل ۷ به‌دلیل هندسه چلیپایی بهینه، در تمامی فواصل عملکرد برتری داشته است؛ به‌طوری‌که مقدار UDI < 100 lux در این مدل از ۵۳/۵۲ درصد در فاصلهٔ ۱۰ سانتی‌متری به ۵۵/۴ درصد در فاصلهٔ ۴۰ سانتی‌متری رسیده و میانگین کلی ۵۴/۴ درصد را به خود اختصاص داده است که کمترین میزان نور ناکافی را در میان نمونه‌ها نشان می‌دهد. مدل ۲ با میانگین ۵۴/۵ درصد و مدل ۶ با میانگین ۵۴/۶۸ درصد عملکردی نسبتاً پایدار و مطلوب داشته‌اند. درمقابل، مدل ۹ با میانگین ۸۹/۰۶ درصد بیشترین میزان شرایط Underlit را نشان می‌دهد که این امر به‌دلیل نسبت پر به خالی بالا و تخلخل کمتر آن است و درنتیجه، شرایط بصری نامطلوب‌تری را در فضای داخلی ایجاد می‌کند (تصویر ۵).

۵. ۳. تحلیل مدل‌ها از لحاظ شاخص UDI-100-2000 (Lux)

شاخص روشنایی مفید روز یا Useful Daylight Illuminance (UDI) یکی از معیارهای مهم در ارزیابی کیفیت نور روز در فضای داخلی به شمار می‌آید. در این پژوهش، بازهٔ ۱۰۰ تا ۲۰۰۰ لوکس به‌عنوان محدودهٔ روشنایی مفید در نظر گرفته شده است؛ زیرا این دامنه بیانگر شرایطی است که در آن، نور طبیعی برای بخش عمده‌ای از فعالیت‌های روزمره مناسب بوده و درعین‌حال، احتمال بروز خیرگی ناشی از روشنایی بیش از حد محدود می‌شود. ازاین‌رو، هرچه مقدار این شاخص بیشتر باشد، عملکرد پوسته در تأمین روشنایی مفید روز مطلوب‌تر ارزیابی می‌شود.

جدول ۵: اولویت‌بندی کل نمونه‌ها براساس شاخص UDI-100-2000 (Lux) به‌تفکیک در فواصل ۱۰، ۲۰، ۳۰ و ۴۰ سانتی‌متری

اولویت / فاصله	اول	دوم	سوم	چهارم	پنجم	ششم	هفتم	هشتم	نهم	دهم	یازدهم	دوازدهم
۱۰ cm	**مدل ۱۱**	**مدل ۲**	**مدل ٦**	مدل ۷	مدل۴	مدل ۳ و ۱۲	مدل ۱	مدل ۵	مدل ۱۰	مدل ۸	مدل ۹	
	۳۹/۲	۳۸/۹۶	۳۸/۴۸	۳۸/۳۲	۳۸/۲۴	۳۷/۲۴	۳۶/۹۶	۳۶/۸۴	۳۰/۲۸	۲۸/۳۶	۱۲/۴۸	
۲۰ cm	**مدل ٦**	**مدل ٤**	**مدل ۷**	مدل ۲	مدل ۱۲	مدل ۱	مدل ۱۱	مدل ۵	مدل ۳	مدل ۸	مدل ۱۰	مدل ۹
	۳۹/۵۲	۳۹/۲۴	۳۹/۱۲	۳۸/۸	۳۸/۲۴	۳۸/۱۶	۳۷/۴	۳۷/۳۲	۳۷/۲	۳۱/۶۸	۳۰/۴۴	۱۲/۹۶
۳۰ cm	**مدل ۷**	**مدل ۲**	**مدل ٦**	مدل۴	مدل ۳	مدل ۱	مدل ۱۲	مدل ۵	مدل ۱۱	مدل ۸	مدل ۱۰	مدل ۹
	۳۹/۶۸	۳۹/۶۴	۳۹/۵۶	۳۷/۶۸	۳۶/۹۲	۳۶/۵۲	۳۵/۲۴	۳۴/۸۴	۳۴/۵۶	۲۵/۶۸	۲۴/۴۸	۶
۴۰ cm	**مدل ۲**	**مدل ٦**	**مدل ۷**	مدل ۴	مدل ۳	مدل ۱	مدل ۱۱	مدل ۱۲	مدل ۵	مدل ۱۰	مدل ۸	مدل ۹
	۳۹/۸۸	۳۹/۲۴	۳۸/۹۶	۳۷/۳۲	۳۵/۲۴	۳۵	۳۴/۲	۳۴/۱۲	۳۳/۸	۲۴/۳۶	۱۹/۰۴	۸/۲۴

مقادیر ارائه‌شده در جدول ۵ بیانگر شاخص UDI 100–2000 lux با واحد درصد هستند. این اعداد نشان می‌دهند که به‌طور میانگین، چه سهمی از ساعات سال، از مجموع ۸۷۶۰ ساعت شبیه‌سازی، نقاط شبکهٔ محاسباتی تعریف‌شده بر سطح کف فضا، روشنایی طبیعی در بازهٔ مفید ۱۰۰ تا ۲۰۰۰ لوکس را دریافت کرده‌اند.

این مقادیر بر پایهٔ شبیه‌سازی سالانه نور روز و با میانگین‌گیری از نتایج تمامی نقاط شبکهٔ محاسباتی به دست آمده‌اند. در این فرایند، روشنایی هر نقطه در کل ساعات سال محاسبه شد، سپس درصد ساعات قرارگیری آن در بازهٔ روشنایی مفید تعیین گردید و درنهایت، میانگین نتایج کل نقاط به‌عنوان مقدار نهایی هر مدل در هر فاصله گزارش شد. برای مثال، مقدار ۳۹/۲ درصد برای مدل ۱۱ در فاصلهٔ ۱۰ سانتی‌متری نشان می‌دهد که این مدل در حدود ۳۹/۲ درصد از ساعات سال، شرایط روشنایی مفید روز را در سطح تحلیل‌شده فراهم کرده است. در این جدول، مقادیر بالاتر نشان‌دهندهٔ عملکرد بهتر پوسته در تأمین روشنایی مفید روز هستند.

۵. ۳. ۱. فاصلهٔ ۱۰ سانتی‌متر

مطابق با نتایج مندرج در جدول ۵، مدل ۱۱ با کسب ۳۹/۲ درصد در شاخص UDI 100–2000 lux، در جایگاه نخست قرار می‌گیرد. این رتبه نشان‌دهندهٔ بالاترین میزان تأمین روشنایی مفید در این بازه است که به‌دلیل تخلخل بهینه و هندسهٔ خاص الگو، تعادل مطلوبی میان نفوذ نور روز و کنترل خیرگی ایجاد کرده است. در مرتبه‌های بعدی، مدل ۲ با ۳۸/۹۶ درصد و مدل ۶ با ۳۸/۴۸ درصد قرار دارند؛ نزدیکی عملکرد این دو مدل به مدل پیشتاز، مؤید کارایی برتر الگوهای چلیپایی و شش‌ضلعی است که براساس یافته‌های جدول ۲، از نسبت پر به خالی ۶۹ تا ۷۳ درصد برخوردارند.

درمقابل، مدل ۹ با مقدار ۱۲/۴۸ درصد در رتبهٔ انتهایی جدول قرار گرفته است؛ در این مدل، تراکم بالای مصالح و تخلخل اندک، نفوذ نور مفید را به حداقل ممکن کاهش داده است. میانگین شاخص UDI در فاصلهٔ ۱۰ سانتی‌متری برای تمامی مدل‌ها حدود ۳۴/۳۸ درصد محاسبه شده است که نشان‌دهندهٔ ظرفیت قابل‌توجه الگوهای برتر در فراهم‌سازی روشنایی استاندارد برای فعالیت‌های روزمره در اقلیم دزفول است.

۵. ۳. ۲. فاصلهٔ ۲۰ سانتی‌متر

در فاصلهٔ ۲۰ سانتی‌متری، مدل ۶ با کسب ۳۹/۵۲ درصد در شاخص UDI 100–2000 lux در جایگاه نخست قرار می‌گیرد که نشان‌دهندهٔ برتری عملکردیِ هندسهٔ شش‌ضلعی در این فاصله است. در رتبه‌های بعدی، مدل ۴ با ۳۹/۲۴ درصد و مدل ۷ با ۳۹/۱۲ درصد قرار دارند؛ تغییر در رتبه‌بندی مدل‌ها نسبت به فاصلهٔ ۱۰ سانتی‌متری، به‌وضوح نقش تعیین‌کنندهٔ «فاصلهٔ پوسته از جداره» را در تعدیل عملکرد نوری الگوها برجسته می‌سازد.

در این مرحله، میانگین کل شاخص به ۳۵ درصد افزایش یافته است که در مقایسه با فاصلهٔ قبلی، رشدی معادل ۱/۸ درصد را نشان می‌دهد. این صعود میانگین، ناشی از بهبود پراکنش نور و توزیع یکنواخت‌تر آن در پی افزایش فاصله است. در سوی دیگر طیف، مدل ۹ با ۱۲/۹۶ درصد همچنان ضعیف‌ترین عملکرد را به خود اختصاص داده است؛ درحالی‌که مدل‌های میانی، نظیر مدل‌های ۳ و ۸ با مقادیری در بازهٔ ۳۱/۶۸ تا ۳۷/۲ درصد، نقشی متوسط در تأمین روشنایی مفید ایفا می‌کنند. به‌طور کلی، این روند حاکی از بهینه‌سازی تدریجی شاخص UDI هم‌زمان با افزایش فاصلهٔ پوسته از درگاه نور است.

۵. ۳. ۳. فاصلهٔ ۳۰ سانتی‌متر

در فاصلهٔ ۳۰ سانتی‌متری، مدل ۷ با کسب ۳۹/۶۸ درصد در شاخص UDI 100–2000 lux در جایگاه نخست قرار می‌گیرد و مدل ۲ با ۳۹/۶۴ درصد در رتبهٔ دوم قرار دارد. این جابه‌جایی در رتبه‌بندی نشان می‌دهد که با افزایش فاصله، الگوهای چلیپایی بار دیگر برتری عملکردی خود را در تأمین روشنایی مفید روز بازیافته‌اند.

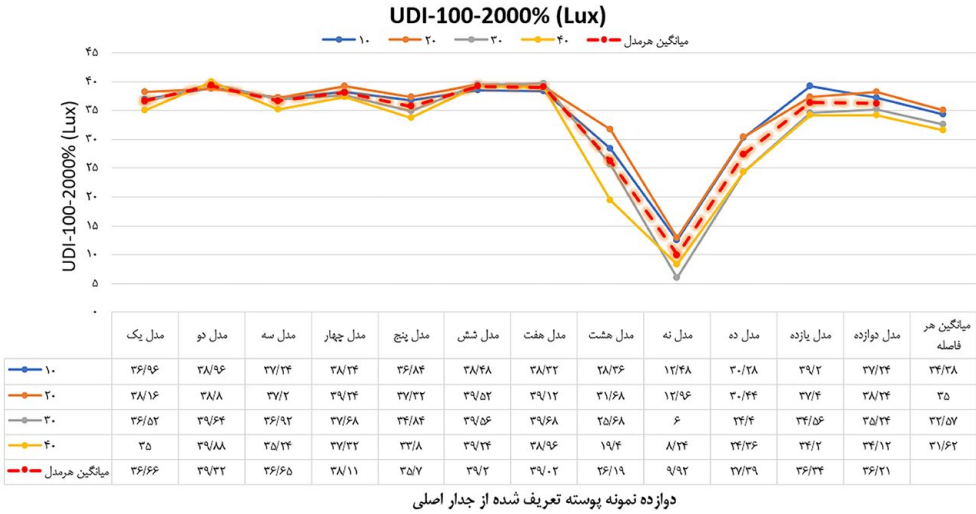
میانگین شاخص UDI 100–2000 lux در این فاصله به ۳۲/۵۷ درصد کاهش می‌یابد که نسبت به فاصلهٔ ۲۰ سانتی‌متری، کاهشی معادل ۶/۹۴ درصد را نشان می‌دهد. این افت را می‌توان ناشی از تشدید سایه‌اندازی پوسته و کاهش نفوذ نور مستقیم به فضای داخلی دانست. درمقابل، مدل ۹ با مقدار ۶ درصد همچنان پایین‌ترین عملکرد را به خود اختصاص داده است؛ درحالی‌که مدل‌های ۴ و ۳ با مقادیری در بازهٔ ۳۶/۹۲ تا ۳۷/۶۸ درصد همچنان توانسته‌اند شرایط نسبتاً قابل قبولی از روشنایی مفید را فراهم کنند. به‌طور کلی، این یافته‌ها نشان می‌دهند که در فواصل میانی، الگوهای دارای تخلخل متعادل، عملکرد مناسب‌تری در ایجاد تعادل میان نفوذ نور و کنترل سایه دارند.

۵. ۳. ٤. فاصلهٔ ٤۰ سانتی‌متر

در فاصلهٔ ۴۰ سانتی‌متری، مدل ۲ با کسب ۳/۸۸ درصد در شاخص UDI 100–2000 lux در جایگاه نخست قرار می‌گیرد و مدل ۶ با ۳۹/۲۴ درصد در رتبهٔ دوم قرار دارد. این الگو بیانگر آن است که با افزایش فاصله، عملکرد برخی الگوهای چلیپایی همچنان در تأمین روشنایی مفید روز برتری خود را حفظ می‌کند و به‌نوعی بر اثرپذیری عملکرد نوری از فاصلهٔ پوسته تأکید دارد.

میانگین شاخص UDI 100–2000 lux در این فاصله به ۳۱/۶۲ درصد کاهش می‌یابد که نسبت به فاصلهٔ ۳۰ سانتی‌متری، کاهشی معادل ۲/۹۲ درصد را نشان می‌دهد. این افت نشان‌دهندهٔ تشدید اثر سایه‌اندازی پوسته و کاهش

میزان روشنایی مفید در فضای داخلی است. درمقابل، مدل ۹ با مقدار ۸/۲۴ درصد کمترین عملکرد را به خود اختصاص داده است؛ بااین‌حال، مدل‌های میانی، ازجمله مدل ۴ و مدل ۳، به‌ترتیب با ۳۵/۲۴ و ۳۷/۳۲ درصد، همچنان نقش مؤثری در تأمین روشنایی مفید ایفا می‌کنند.



	مدل یک	مدل دو	مدل سه	مدل چهار	مدل پنج	مدل شش	مدل هفت	مدل هشت	مدل نه	مدل ده	مدل یازده	مدل دوازده	میانگین هر فاصله
۱۰	۳۶/۹۶	۳۸/۹۶	۳۷/۲۴	۳۸/۲۴	۳۶/۸۴	۳۸/۴۸	۳۸/۳۲	۲۸/۳۶	۱۲/۴۸	۳۰/۲۸	۳۹/۲	۳۷/۲۴	۳۴/۳۸
۲۰	۳۸/۱۶	۳۸/۸	۳۷/۲	۳۹/۲۴	۳۷/۳۲	۳۹/۵۲	۳۹/۱۲	۳۱/۶۸	۱۲/۹۶	۳۰/۴۴	۳۷/۴	۳۸/۲۴	۳۵
۳۰	۳۶/۵۲	۳۹/۶۴	۳۶/۹۲	۳۷/۶۸	۳۴/۸۴	۳۹/۵۶	۳۹/۶۸	۲۵/۶۸	۶	۳۴/۴	۳۴/۵۶	۳۵/۲۴	۳۲/۵۷
۴۰	۳۵	۳۹/۸۸	۳۵/۲۴	۳۷/۳۲	۳۳/۸	۳۹/۲۴	۳۸/۹۶	۱۹/۴	۸/۲۴	۲۴/۳۶	۳۴/۲	۳۴/۱۲	۳۱/۶۲
میانگین هرمدل	۳۶/۶۶	۳۹/۳۲	۳۶/۶۵	۳۸/۱۱	۳۵/۷	۳۹/۲	۳۹/۰۲	۲۶/۱۹	۹/۹۲	۲۷/۳۹	۳۶/۳۴	۳۶/۲۱	

دوازده نمونه پوسته تعریف شده از جدار اصلی

تصویر ۶: نمودار آنالیز شاخص‌های نور روز(UDI-100-2000 LUX) برای پوسته‌های تعریف‌شده در فواصل مختلف ۱۰، ۲۰، ۳۰ و ۴۰ سانتی‌متری از جدار اصلی

تحلیل جامع جدول ۵ نشان‌دهندهٔ الگویی پیچیده اما معنادار در رابطهٔ میان فاصلهٔ پوسته و شاخص UDI 100–2000 lux است. براساس نتایج، میانگین این شاخص از ۳۴/۳۸ درصد در فاصلهٔ ۱۰ سانتی‌متری به ۳۱/۶۲ درصد در فاصلهٔ ۴۰ سانتی‌متری کاهش می‌یابد که بیانگر کاهش نسبی ۸/۰۳ درصد است. این روند کاهشی، هرچند به‌صورت غیرخطی رخ می‌دهد، به‌خوبی تأثیر فاصله را در تعدیل میزان روشنایی مفید روز نشان می‌دهد و با یافته‌های حاصل از مطالعات پارامتریک درزمینهٔ بهینه‌سازی نور روز همخوانی دارد. همچنین، نرخ تغییر متوسط حدود ۰/۰۷ – درصد در هر سانتی‌متر برآورد می‌شود که حاکی از اثر تدریجی اما قابل توجه افزایش فاصله بر کاهش روشنایی مفید است.

در میان نمونه‌های بررسی‌شده، مدل ۲ با میانگین ۳۹/۳۲ درصد و مدل ۷ با میانگین ۳۹/۰۲ درصد بالاترین میزان عملکرد را به دست آورده‌اند. این امر بیانگر کارایی مطلوب الگوهای چلیپایی در فواصل مختلف است. در این میان، مدل ۶ با الگوی چلیپا و مربع با میانگین ۳۹/۲۰ درصد عملکردی نسبتاً پایدار و نزدیک به بیشترین مقادیر از خود نشان می‌دهد. درمقابل، مدل ۹ با میانگین ۹/۹۲ درصد، به‌دلیل تراکم بالای مصالح و محدودیت در عبور نور، کمترین میزان روشنایی مفید را در میان تمامی نمونه‌ها فراهم کرده است.

نتایج تحلیل رگرسیون خطی نشان می‌دهد که مدل‌های دارای تخلخل متوسط، مانند مدل‌های ۲ و ۷، در حفظ شاخص UDI از پایداری بیشتری برخوردارند؛ درحالی‌که مدل‌های متراکم‌تر، به‌ویژه مدل ۹، با افزایش فاصله کاهش شدیدتری را تجربه می‌کنند. این الگوها نشان می‌دهند که در اقلیم دزفول، بازهٔ ۱۰ تا ۲۰ سانتی‌متر برای استقرار پوسته در مدل‌های برتر، به‌ویژه مدل‌های ۲، ۶ و ۷، مناسب‌تر است؛ زیرا در این محدوده، امکان حفظ مقادیر بالاتر UDI 100–2000 lux نسبت به سایر نمونه‌ها فراهم می‌شود (تصویر ۶).

۵. ٤. تحلیل مدل‌ها از لحاظ شاخص UDI-More-2000 (Lux)

بازهٔ UDI > 2000 lux در ارزیابی روشنایی روز، نشان‌دهندهٔ شرایط روشنایی بیش از حد در فضای داخلی است.

قرارگیری مقادیر روشنایی در این محدوده، از یک‌سو احتمال بروز خیرگی بصری را افزایش می‌دهد و ازسوی دیگر، می‌تواند موجب تشدید بارهای حرارتی ناشی از تابش مستقیم خورشید شود. بنابراین، کنترل این بازه در طراحی پوسته‌های مشبک آجری، به‌ویژه در اقلیم گرم و نیمه‌خشک دزفول، از اهمیت بالایی برخوردار است.

جدول ۶: اولویت‌بندی کل نمونه‌ها براساس شاخص UDI-More-2000 (Lux)به‌تفکیک در فواصل ۱۰، ۲۰، ۳۰ و ۴۰ سانتی‌متری

اولویت / فاصله	اول	دوم	سوم	چهارم	پنجم	ششم	هفتم	هشتم	نهم	دهم	یازدهم	دوازدهم
۱۰ cm	**مدل ۹**	**مدل ۸**	**مدل ۱۰**	مدل ۱۱	مدل ۱۲	مدل ۵	مدل۴	مدل ۳	مدل ۱	مدل ۲	مدل ۶	مدل ۷
	۱/۳۶	۳/۰۴	۳/۸۴	۴/۲۴	۵/۸۴	۶/۲۸	۶/۴۴	۶/۶	۶/۷۶	۷/۲۸	۷/۶۴	۸/۱۲
۲۰ cm	**مدل ۹**	**مدل ۱۰**	**مدل ۸**	مدل ۱۱	مدل ۵	مدل ۱۲ و ۱	مدل ۴	مدل ۳	مدل ۶	مدل ۷	مدل ۲	
	۰/۳۲	۲/۴۴	۲/۷۲	۴/۲۴	۴/۶۴	۴/۷۶	۴/۹۶	۵/۳۶	۶/۴۸	۶/۸۴	۷/۲	
۳۰ cm	**مدل ۹**	**مدل ۱۰**	**مدل ۸**	مدل ۱۱	مدل ۳	مدل ۵	مدل ۱	مدل ۴	مدل ۱۲ و ۶	مدل ۷	مدل ۲	
	۰/۸۴	۲/۱۲	۲/۳۲	۳/۶۸	۴/۴	۴/۴۸	۴/۶۸	۴/۷۲	۵/۰۴	۵/۵۶	۵/۶۴	
۴۰ cm	**مدل ۹**	**مدل ۸**	**مدل ۱۰**	مدل ۱۱	مدل ۴	مدل ۳	مدل ۲	مدل ۵	مدل ۱	مدل ۶	مدل ۷	مدل ۱۲
	۱/۳۲	۱/۵۶	۳/۲	۳/۴	۴/۰۸	۴/۲۸	۴/۳۶	۴/۵۶	۴/۸۴	۵/۲	۵/۷۶	۶/۶۴

مقادیر عددی ارائه‌شده در این جدول، شاخص UDI > 2000 lux را با واحد درصد بیان می‌کنند. این مقادیر نشان می‌دهند که چه سهمی از ساعات سالانهٔ شبیه‌سازی، از مجموع ۸۷۶۰ ساعت، فضای داخلی در معرض روشنایی بیش از حد و در آستانهٔ بروز خیرگی قرار داشته است.

این نتایج بر پایهٔ شبیه‌سازی سالانهٔ نور روز و با بررسی تمامی نقاط شبکهٔ محاسباتی تعریف‌شده بر سطح کف به دست آمده‌اند. در این فرایند، روشنایی هریک از نقاط در تمام ساعات سال محاسبه شد، سپس مدت‌زمان قرارگیری آن‌ها در بازهٔ بیش از ۲۰۰۰ لوکس تعیین گردید و درنهایت، مقدار نهایی برای کل سطح کف گزارش شد. برای نمونه، مقدار ۱/۳۶ درصد برای مدل ۹ در فاصلهٔ ۱۰ سانتی‌متری بدین معناست که این فضا تنها در ۱/۳۶ درصد از ساعات سال، معادل حدود ۱۱۹ ساعت از ۸۷۶۰ ساعت شبیه‌سازی، در وضعیت روشنایی بیش از حد و مستعد خیرگی قرار داشته است. ازآنجاکه در این شاخص، هدف کاهش شرایط روشنایی بیش از حد است، رتبه‌بندی مدل‌ها از چپ به راست براساس کمترین مقدار درصد انجام شده است.

۵. ٤. ۱. فاصلهٔ ۱۰ سانتی‌متر

در فاصلهٔ ۱۰ سانتی‌متری، مدل ۹ با کسب ۱/۳۶ درصد در شاخص UDI > 2000 lux در جایگاه نخست قرار می‌گیرد. این مقدار نشان‌دهندهٔ کمترین میزان روشنایی بیش از حد در میان نمونه‌هاست و بیانگر آن است که تخلخل کمتر پوستهٔ مشبک، نفوذ نور شدید را به‌طور مؤثری محدود کرده است. پس از آن، مدل ۸ با ۳/۰۴ درصد و مدل ۱۰ با ۳/۸۴ درصد در رتبه‌های بعدی قرار دارند.

درمقابل، مدل ۷ با ۸/۱۲ درصد و مدل ۶ با ۷/۶۴ درصد در انتهای جدول قرار گرفته‌اند که این امر نشان‌دهندهٔ عملکرد ضعیف‌تر آن‌ها در کنترل روشنایی بیش از حد است. این وضعیت را می‌توان به تخلخل بیشتر و درنتیجه، پذیرش بالاتر نور مستقیم نسبت داد. میانگین شاخص UDI > 2000 lux در این فاصله حدود ۵/۶۲ درصد است که نشان می‌دهد برخی الگوها همچنان در معرض مقادیر بالاتر روشنایی بیش از حد قرار دارند و ازاین‌رو، بهینه‌سازی آن‌ها ازنظر کنترل خیرگی ضروری است.

۵. ٤. ۲. فاصلهٔ ۲۰ سانتی‌متر

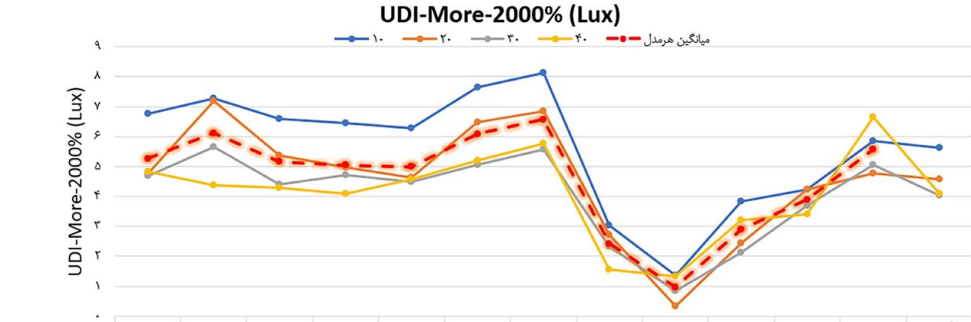
در فاصلهٔ ۲۰ سانتی‌متری، مدل ۹ با کسب ۰/۳۲ درصد در شاخص UDI > 2000 lux همچنان در جایگاه نخست قرار دارد که این امر، اثر افزایش سایه‌اندازی ناشی از فاصله را تأیید می‌کند. مدل ۱۰ با ۴۴/۲ درصد و مدل ۸ با ۷۲/۲ درصد به‌ترتیب در رتبه‌های دوم و سوم قرار دارند، درحالی‌که مدل ۲ با ۲/۷ درصد و مدل ۷ با ۶/۸۴ درصد در انتهای جدول جای می‌گیرند. میانگین شاخص UDI > 2000 lux در این فاصله به ۴/۵۶ درصد کاهش می‌یابد که نسبت به فاصلهٔ ۱۰ سانتی‌متری، کاهشی معادل ۱۸/۸۶ درصد را نشان می‌دهد. این روند بیانگر بهبود کلی در کاهش روشنایی بیش از حد با افزایش فاصله است.

۵. ٤. ۳. فاصلهٔ ۳۰ سانتی‌متر

در فاصلهٔ ۳۰ سانتی‌متری، مدل ۹ با کسب ۰/۸۴ درصد در شاخص UDI > 2000 lux همچنان کمترین میزان روشنایی بیش از حد را دارد که ثبات عملکرد آن را در فواصل متوسط تأیید می‌کند. مدل ۱۰ با ۲/۱۲ درصد و مدل ۸ با ۲/۳۲ درصد در رتبه‌های بعدی قرار دارند، درحالی‌که مدل ۲ با ۵/۶۴ درصد و مدل ۷ با ۵/۵۶ درصد در انتهای جدول جای می‌گیرند. میانگین شاخص UDI > 2000 lux در این فاصله به ۴/۰۴ درصد کاهش می‌یابد که نسبت به فاصلهٔ ۲۰ سانتی‌متری، کاهشی معادل ۱۱/۴ درصد را نشان می‌دهد. این داده‌ها بیانگر آن است که الگوهای متراکم‌تر در فواصل متوسط، بهترین عملکرد را نشان می‌دهند.

۵. ٤. ٤. فاصلهٔ ٤۰ سانتی‌متر

در فاصلهٔ ۴۰ سانتی‌متری، مدل ۹ با کسب ۱/۳۲ درصد در شاخص UDI > 2000 lux در جایگاه نخست قرار دارد که افزایش بسیار کم را نسبت به فواصل ۲۰ و ۳۰ سانتی‌متری نشان می‌دهد. مدل ۸ با ۱/۵۶ درصد و مدل ۱۰ با ۳/۲ درصد در رتبه‌های دوم و سوم قرار دارند، درحالی‌که مدل ۷ با ۵/۷۶ درصد و مدل ۶ با ۵/۲ درصد در انتهای جدول جای می‌گیرند. این فاصله بهینه‌ترین شرایط را برای کاهش روشنایی بیش از حد فراهم می‌کند، بااین‌حال نیاز به بررسی دقیق‌تر جهت‌گیری خورشید در این وضعیت مشهود است.



	مدل یک	مدل دو	مدل سه	مدل چهار	مدل پنج	مدل شش	مدل هفت	مدل هشت	مدل نه	مدل ده	مدل یازده	مدل دوازده	میانگین هر فاصله
۱۰	۶/۷۶	۷/۲۸	۶/۶	۶/۴۴	۶/۲۸	۷/۶۴	۸/۱۲	۳/۰۴	۱/۳۶	۳/۸۴	۴/۲۴	۵/۸۴	۵/۶۲
۲۰	۴/۷۶	۷/۲	۵/۳۶	۴/۹۶	۴/۶۴	۶/۴۸	۶/۸۴	۲/۷۲	۰/۳۲	۲/۴۴	۴/۲۴	۴/۷۶	۴/۵۶
۳۰	۴/۶۸	۵/۶۴	۴/۴	۴/۷۲	۴/۴۸	۵/۰۴	۵/۵۶	۲/۳۲	۰/۸۴	۲/۱۲	۳/۶۸	۵/۰۴	۴/۰۴
۴۰	۴/۸۴	۴/۳۶	۴/۲۸	۴/۰۸	۴/۵۶	۵/۲	۵/۷۶	۱/۵۶	۱/۳۲	۳/۲	۳/۴	۶/۶۴	۴/۱
میانگین هرمدل	۵/۲۶	۶/۱۲	۵/۱۶	۵/۰۵	۴/۹۹	۶/۰۹	۶/۵۷	۲/۴۱	۰/۹۶	۲/۹	۳/۸۹	۵/۵۷	

دوازده نمونه پوسته تعریف شده از جدار اصلی

تصویر ۷: نمودار آنالیز شاخص‌های نور روز (UDI-More-2000 LUX) برای پوسته‌های تعریف‌شده در فواصل مختلف ۱۰، ۲۰، ۳۰ و ۴۰ سانتی‌متری از جدار اصلی

تحلیل جدول ۶ نشان می‌دهد که با افزایش فاصله، مقادیر UDI > 2000 lux روندی کاهشی دارند؛ به‌طوری‌که میانگین این شاخص از ۵/۶۲ درصد در فاصلهٔ ۱۰ سانتی‌متر به ۴/۱ درصد در فاصلهٔ ۴۰ سانتی‌متر کاهش یافته است. مدل ۹ با میانگین ۰/۹۶درصد کمترین مقدار را ثبت کرده و به‌دلیل تراکم بیشتر، مناسب‌ترین عملکرد را در محدود کردن روشنایی بیش از حد نشان می‌دهد. مدل ۸ با میانگین ۲/۴۱ درصد و مدل ۱۰ با میانگین ۲/۹۰ درصد عملکرد مطلوبی داشته‌اند، درحالی‌که مدل ۷ با میانگین ۶/۵۷ درصد و مدل ۶ با میانگین ۶/۰۹ درصد به‌دلیل تخلخل بیشتر، بیشترین خیرگی را نشان می‌دهند. نتایج رگرسیون خطی تأیید می‌کند که الگوهای متراکم‌تر در کنترل روشنایی بیش از حد پایدارتر عمل می‌کنند، درحالی‌که الگوهای بازتر، با وجود کاهش تدریجی این شاخص در فواصل بیشتر، همچنان مستعد دریافت سطوح بالاتر نور هستند. بر این اساس، فاصلهٔ ۲۰ تا ۳۰ سانتی‌متر برای مدل‌های متراکم‌تر در اقلیم دزفول مناسب‌تر به نظر می‌رسد (تصویر ۷).

۵. ۵. مدل‌ها از لحاظ میزان تابش سطح

در جدول ۷، میزان تابش خورشیدی دریافت‌شده توسط جدار شیشه‌ای براثر استقرار ۱۲ مدل پوستهٔ مشبک آجری در فواصل ۱۰، ۲۰، ۳۰ و ۴۰ سانتی‌متری، برحسب کیلووات ساعت بر متر مربع (kWh/m^2) ارائه شده است.

جدول ۷: اولویت‌بندی کل نمونه‌ها براساس شاخص تابش به‌تفکیک در فواصل ۱۰، ۲۰، ۳۰ و ۴۰ سانتی‌متری

فاصله	اولویت	اول	دوم	سوم	چهارم	پنجم	ششم	هفتم	هشتم	نهم	دهم	یازدهم	دوازدهم
۱۰ cm		**مدل ۹**	**مدل ۸**	**مدل ۱۰**	مدل ۳	مدل ۴	مدل ۱۱	مدل ۵	مدل ۱۲	مدل ۷	مدل ۲	مدل ۶	مدل ۱
		۸۲/۴۴	۱۸۲/۳	۲۰۹/۷۲	۳۴۰/۷۶	۳۵۴/۰۲	۳۶۲/۲۴	۳۶۸/۶۱	۳۷۶/۱	۴۳۶/۴۹	۴۹۸/۶	۵۲۶/۹۲	۶۹۰/۹۲
۲۰ cm		**مدل ۹**	**مدل ۸**	**مدل ۱۰**	مدل ۳	مدل ۱	مدل ۵	مدل ۱۱	مدل ۱۲	مدل ۴	مدل ۲	مدل ۷	مدل ۶
		۶۹/۷۶	۱۴۰/۰۲	۲۰۰/۰۵	۲۶۸/۱۱	۲۶۹/۷۵	۲۸۲/۹۲	۳۰۱/۷	۳۲۶/۹۱	۳۴۱/۲۷	۳۶۰/۹۸	۳۸۵/۵۷	۳۹۰/۵۳
۳۰ cm		**مدل ۹**	**مدل ۱۰**	**مدل ۸**	مدل ۳	مدل ۱	مدل ۵	مدل ۴	مدل ۱۲	مدل ۱۱	مدل ۶	مدل ۲	مدل ۷
		۴۰/۴	۱۳۲/۸۰	۱۳۲/۸۱	۲۳۰/۴۸	۲۳۸/۶۵	۲۳۹/۸۶	۲۷۱/۲۲	۲۷۷/۷۲	۲۸۲/۹۳	۲۸۹/۳۵	۲۸۹/۳۶	۳۰۸/۶۷
۴۰ cm		**مدل ۹**	**مدل ۸**	**مدل ۱۰**	مدل ۵	مدل ۱۲	مدل ۴	مدل ۱۱	مدل ۳	مدل ۱	مدل ۶	مدل ۷	مدل ۲
		۳۹/۶	۷۲/۳۸	۱۰۹/۵۲	۱۶۴/۵۵	۱۶۵/۸	۱۸۳/۰۱	۱۸۷/۰۹	۲۰۳/۱۸	۲۰۳/۸۷	۲۴۷/۵	۲۵۹/۳۲	۲۶۰/۸۵

ارقام درج‌شده در جدول ۷، نشان‌دهندهٔ میزان تابش خورشیدی کل سالانهٔ دریافت‌شده توسط سطح شیشه‌ای جدار اصلی اتاقک آزمایش پس از عبور از پوسته‌های مشبک آجری است که برحسب کیلووات ساعت بر متر مربع سنجیده شده‌اند. این داده‌ها با فراخوانی فایل داده‌های اقلیمی سالانهٔ شهر دزفول، میزان تشعشع خورشید در طول ۳۶۵ روز سال محاسبه شده است. اولویت‌بندی نمونه‌ها در هر فاصله براساس کمترین میزان دریافت تابش انجام شده است؛ به‌طوری‌که رتبهٔ اول، بهینه‌ترین عملکرد را ازنظر کاهش بار حرارتی خورشیدی نشان می‌دهد و رتبهٔ دوازدهم، ضعیف‌ترین عملکرد را در کنترل حرارت دارد.

۵. ۵. ۱. فاصلهٔ ۱۰ سانتی‌متر

مدل ۹ با میزان تابش سطح دریافتی ۸۲/۴۴ kWh/m^2 به‌عنوان اولویت اول قرار دارد که نشان‌دهندهٔ کمترین جذب انرژی حرارتی و برتری در کنترل تابش خورشیدی است. مدل ۸ با ۱۸۲/۳ kWh/m^2 و مدل ۱۰ با ۲۰۹ /۷۲ kWh/m^2 در رتبه‌های بعدی هستند که عملکرد نسبی خوبی در کاهش تابش دارند. درمقابل، مدل ۱ با ۶۹۰/۹۲ kWh/m^2 و مدل ۶ با ۵۲۶/۹۲ kWh/m^2 در انتهای جدول قرار دارند که به‌دلیل تخلخل بالاتر، جذب تابش بیشتری را نشان می‌دهند. میانگین تابش در این فاصله حدود ۳۶۹/۰۹ kWh/m^2 است که بیانگر تأثیر قابل‌توجه نور مستقیم در فواصل نزدیک و لزوم استفاده از الگوهای متراکم‌تر را برجسته می‌سازد.

۵. ۵. ۲. فاصلهٔ ۲۰ سانتی‌متر

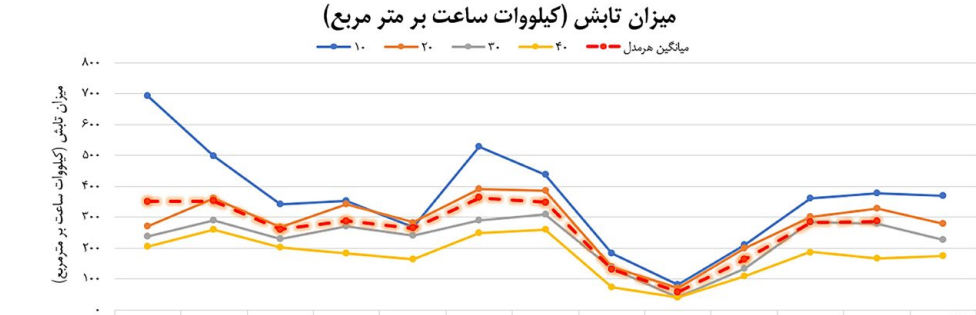
مدل ۹ با ۶۹/۷۶ kWh/m² همچنان کمترین تابش را دارد و اثر افزایش فاصله در کاهش جذب انرژی با کاهش ۱۵/۴ درصد نسبت به ۱۰ سانتی‌متر را نشان می‌دهد. مدل ۸ با ۱۴۰/۰۲ kWh/m² و مدل ۱۰ با ۲۰۰/۰۵ kWh/m² در رتبه‌های دوم و سوم هستند، درحالی‌که مدل ۶ با ۳۹۰/۵۳ kWh/m² و مدل ۷ با ۳۸۵/۵۷ kWh/m² در انتها قرار دارند. میانگین تابش به ۲۷۸/۱۳ kWh/m² کاهش می‌یابد؛ کاهش نسبی ۲۴/۶۶ درصد که حاکی از بهبود پراکنش نور و سایه‌اندازی با افزایش فاصله است. این داده‌ها نشان می‌دهند که الگوهای متراکم در فواصل متوسط، کارایی حرارتی بهتری دارند.

۵. ۵. ۳. فاصلهٔ ۳۰ سانتی‌متر

مدل ۹ با ۴۰/۴ kWh/m² اولویت اول است که کاهش چشمگیر ۴۲/۰۹ درصد نسبت به ۲۰ سانتی‌متر، اثر بهینه‌سازی سایه‌اندازی را تأیید می‌کند. مدل ۱۰ با ۱۳۲/۸ kWh/m² و مدل ۸ با ۱۳۲/۸۱ kWh/m² به‌ترتیب دوم و سوم هستند، درحالی‌که مدل ۷ با ۳۰۸/۶۷ kWh/m² و مدل ۲ با ۲۸۹/۳۶ kWh/m² در انتها قرار دارند. میانگین تابش به ۲۲۷/۸۵ kWh/m² می‌رسد؛ کاهش ۱۸/۰۸ درصد نسبت به ۲۰ سانتی‌متر، که نشان‌دهندهٔ تداوم کاهش تابش با افزایش فاصله است.

۵. ۵. ٤. فاصلهٔ ٤۰ سانتی‌متر

مدل ۹ با ۳۹/۶ kWh/m² کمترین تابش را دارد که ثبات عملکرد آن را در فواصل عمیق‌تر نشان می‌دهد. مدل ۸ با ۷۲/۳۸ kWh/m² و مدل ۱۰ با ۱۰۹/۵۲ kWh/m² دوم و سوم هستند، درحالی‌که مدل ۲ با ۲۶۰/۸۵ kWh/m² و مدل ۷ با ۲۵۹/۳۲ kWh/m² در انتها قرار دارند. میانگین تابش به ۱۷۴/۷۲ kWh/m² کاهش می‌یابد؛ کاهش ۲۳/۳۲ درصد نسبت به ۳۰ سانتی‌متر، که حداکثر اثر سایه‌اندازی را نشان می‌دهد. این فاصله برای کاهش بار حرارتی، به‌ویژه در الگوهای متراکم، بهینه است.



	مدل یک	مدل دو	مدل سه	مدل چهار	مدل پنج	مدل شش	مدل هفت	مدل هشت	مدل نه	مدل ده	مدل یازده	مدل دوازده	میانگین هر فاصله
۱۰	۶۹۰/۹۲	۴۹۸/۶	۳۴۰/۷۶	۳۵۴/۰۲	۲۶۸/۶۱	۵۲۶/۹۲	۴۳۶/۴۹	۱۸۲/۳	۸۲/۴۴	۲۰۹/۷۲	۳۶۲/۲۴	۳۷۶/۱	۳۶۹/۰۹
۲۰	۲۶۹/۷۵	۳۶۰/۹۸	۲۶۸/۱۱	۳۴۱/۲۷	۲۸۲/۹۲	۳۹۰/۵۳	۳۸۵/۵۷	۱۴۰/۰۲	۶۹/۷۶	۲۰۰/۰۵	۳۰۱/۷	۳۲۶/۹۱	۲۷۸/۱۳
۳۰	۲۳۸/۶۵	۲۸۹/۳۶	۲۳۰/۴۸	۲۷۱/۲۲	۲۳۹/۸۶	۲۸۹/۳۵	۳۰۸/۶۷	۱۳۲/۸۱	۴۰/۴	۱۳۲/۸	۲۸۲/۹۳	۲۷۷/۷۲	۲۲۷/۸۵
۴۰	۲۰۳/۸۷	۲۶۰/۸۵	۲۰۳/۱۸	۱۸۳/۰۱	۱۶۴/۵۵	۲۴۷/۵	۲۵۹/۳۲	۷۲/۳۸	۳۹/۶	۱۰۹/۵۲	۱۸۷/۰۹	۱۶۵/۸	۱۷۴/۷۲
میانگین هرمدل	۳۵۰/۸	۳۵۲/۴۵	۲۶۰/۶۳	۲۸۷/۳۸	۲۶۳/۹۹	۳۶۳/۵۸	۳۴۷/۵۱	۱۳۱/۸۸	۵۸/۰۵	۱۶۳/۰۲	۲۸۳/۴۹	۲۸۶/۶۳	

دوازده نمونه پوسته تعریف شده از جدار اصلی

تصویر ۸: نمودار آنالیز میزان تابش دریافتی برای پوسته‌های تعریف‌شده در فواصل مختلف ۱۰، ۲۰، ۳۰ و ۴۰ سانتی‌متری از جدار اصلی

تحلیل جامع جدول ۷ روند کاهشی قابل توجهی را در میزان تابش دریافتی سطح با افزایش فاصله آشکار می‌سازد؛ به‌طوری‌که میانگین از ۳۶۹/۰۹ kWh/m² در ۱۰ سانتی‌متر به ۱۷۴/۷۲ kWh/m² در ۴۰ سانتی‌متر کاهش می‌یابد که نشان‌دهندهٔ کاهش نسبی ۶۷/۵۲ درصد است. مدل ۹ با میانگین ۵۸/۰۵ kWh/m² به‌دلیل نسبت بیشترِ فضای پر به

خالی در پوستهٔ مشبک، کمترین تابش را دارد و به‌عنوان بهینه‌ترین انتخاب شناخته می‌شود. مدل ۸ با میانگین kWh/m² ۱۳۱/۸۸و مدل ۱۰ با میانگین kWh/m² ۱۶۳/۰۲ عملکرد خوبی نشان می‌دهند، درحالی‌که مدل ۱ با میانگین kWh/m² ۳۵۰/۸۱ و مدل ۲ با میانگین kWh/m² ۳۵۲/۴۵ به‌دلیل تخلخل بیشتر، بیشترین جذب تابش را دارند. ازنظر طراحی در اقلیم دزفول، فاصلهٔ ۳۰ تا ۴۰ سانتی‌متر برای مدل‌های متراکم ۸، ۹ و ۱۰ بهینه است (تصویر ۸).

٦. تحلیل یافته‌های عملکرد نور و تابش ۱۲ مدل و ٤ فاصلهٔ سطوح مشبک

براساس تحلیل چهار فاصلهٔ انتخاب‌شده، عملکرد بهینه در کل نمونه‌ها بررسی می‌شود. ابتدا فاصله‌ها ارزیابی، و فاصلهٔ بهینه براساس میانگین عملکرد نمونه‌ها تعیین می‌شود. سپس میانگین عددی شاخص‌های بررسی‌شده در الگوها تحلیل می‌شود. درنهایت، فاصله و الگو به‌صورت هم‌زمان ارزیابی، و الگوی منتخب با فاصلهٔ بهینه معرفی می‌شود.

فاصلهٔ ۱۰ سانتی‌متر با میانگین DLA، ۲۳/۹۹ درصد و UDI-100-2000 lux، ۳۴/۳۸ درصد بالاترین سطح نفوذ نور روز و روشنایی مفید را در میان فواصل ارائه می‌دهد که با اولویت‌های بصری و بهره‌وری انرژی در اقلیم دزفول هم‌راستاست. اگرچه شاخص UDI< ۱۰۰ lux با ۶۰/۶۹ درصد و تابش سطح با kWh/m² ۳۶۹/۰۹ بالاتر از حد ایدئال هستند، اما این موارد با مقادیر بالای DLA و UDI-100-2000 lux جبران می‌شوند؛ امری که برای تأمین آسایش ساکنان و کاهش نیاز به روشنایی مصنوعی مطلوب است. همچنین شاخص UDI > ۲۰۰۰ لوکس با ۵/۶۲ درصد در محدودهٔ قابل کنترل قرار دارد.

فاصلهٔ ۲۰ سانتی‌متر با UDI-100-2000 لوکس ۳۵ درصد و کاهش تابش تا kWh/m² ۲۷۸/۱۳ عملکردی نزدیک به بهینه دارد، اما کاهش DLA به ۲۲/۱۳ درصد این فاصله را در رتبهٔ دوم قرار می‌دهد. فواصل ۳۰ و ۴۰ سانتی‌متر به‌دلیل ایجاد سایه‌اندازی باعث کاهش شدید DLA و افزایش ساعات نور ناکافی یا UDI < ۱۰۰ لوکس، عملکرد ضعیف‌تری نشان می‌دهند. بنابراین فاصلهٔ ۱۰ سانتی‌متر با در نظر گرفتن تعادل کلی پارامترها، انتخاب بهینه برای کل نمونه‌ها در اقلیم دزفول محسوب می‌شود و درمقابل، فاصلهٔ ۴۰ سانتی‌متر ضعیف‌ترین عملکرد را دارد.

در ادامه، به بررسی و انتخاب الگوی بهینه پرداخته می‌شود. براساس تحلیل کلی حاصل از شبیه‌سازی، الگوی ۷ با هندسهٔ چلیپایی و درصد پر به خالی۶۷/۳ درصد، با دستیابی به میانگین DLA، ۲۹/۸۷ درصد بالاترین رتبه را در میان مدل‌ها کسب می‌کند. این مدل با میانگین UDI-100-2000 لوکس، ۳۹/۰۲ درصد رتبهٔ سوم کلی را با اختلافی بسیار اندک نسبت به رتبهٔ اول دارد و تعادل مطلوبی میان نفوذ نور و روشنایی مفید برقرار می‌کند؛ این ویژگی باعث افزایش آسایش بصری ساکنان بدون نیاز به روشنایی مصنوعیِ بیش از حد می‌شود. همچنین برای شاخص UDI < ۱۰۰ لوکس با میانگین ۵۴/۴ درصد که کمترین میزان در میان مدل‌هاست، نشان‌دهندهٔ حداقل شرایط نور ناکافی است، درحالی‌که میانگین ۶/۵۷ درصد برای UDI > ۲۰۰۰ لوکس و میزان تابش سطح kWh/m² ۳۴۷/۵۱، کنترل مناسبی بر خیرگی و بار حرارتی را نشان می‌دهد.

با توجه به اهمیت شاخص‌های DLA و UDI در بازهٔ ۱۰۰ تا ۲۰۰۰ لوکس در ساختمان‌های مسکونی دزفول، این دو شاخص در ارزیابی الگوها وزن بیشتری دارند. بااین‌حال، میزان تابش دریافتی، تعادل میان سایر شاخص‌ها و میانگین عملکرد مدل‌ها در فواصل مختلف نیز در انتخاب الگوی بهینه لحاظ شده است.

بر این اساس، بیشترین مقدار DLA در میان تمامی سطوح بررسی‌شده به مدل ۷ با هندسهٔ چلیپایی اختصاص یافت؛ به‌طوری‌که مقدار این شاخص در فواصل ۱۰ و ۲۰ سانتی‌متری از جدارهٔ شیشه‌ای، به‌ترتیب ۳۳/۹۶ و ۳۱/۴۴ درصد بود. با وجود بیشتر بودن مقدار DLA در فاصلهٔ ۱۰ سانتی‌متری، فاصلهٔ ۲۰ سانتی‌متری با فراهم کردن بالاترین سطح روشنایی مفید و نفوذ نور روز، عملکرد بهتری نشان می‌دهد؛ به‌گونه‌ای که مقدار شاخص UDI در بازهٔ ۱۰۰ تا ۲۰۰۰ لوکس در این فاصله برابر با ۳۹/۱۲ درصد بود که در مقایسه با مقدار ۳۸/۳۲ درصد در فاصلهٔ ۱۰ سانتی‌متری، افزایش یافته و درعین‌حال با ثبت مقدار ۸۴/۶ درصد برای شاخص UDI بالاتر از ۲۰۰۰ لوکس، خیرگی را به‌طور نسبی کاهش داده است. افزون بر این، میزان تابش سطحی در فاصلهٔ ۲۰ سانتی‌متری معادل ۳۸۵/۵۷ کیلووات ساعت بر متر مربع

ثبت شد که در مقایسه با ۴۳۶/۴۹ کیلووات ساعت بر متر مربع در فاصلهٔ ۱۰ سانتی‌متری، کاهش قابل توجهی را نشان می‌دهد. بنابراین، با توجه به تأمین هم‌زمان مقدار مناسب DLA، افزایش UDI در بازهٔ ۱۰۰ تا ۲۰۰۰ لوکس، کنترل خیرگی و کاهش تابش خورشیدی، فاصلهٔ ۲۰ سانتی‌متری به‌عنوان فاصلهٔ بهینهٔ استقرار مدل ۷ با طرح چلیپایی انتخاب شد. فواصل ۳۰ و ۴۰ سانتی‌متر، به‌دلیل افزایش سایه‌اندازی اگرچه تابش را بهینه‌تر می‌کنند، به‌دلیل کاهش DLA و افزایش ساعات نورِ ناکافی، نیاز به روشنایی مصنوعی را افزایش می‌دهند؛ بنابراین، برای طراحی بومیِ مسکونی مطلوب نیستند.

درمقابل، نمونهٔ ۹ با درصد پر به خالی ۹۷/۷ درصد، عملکردی ضعیف‌تر از سایر نمونه‌ها دارد. میانگین DLA در این مدل تنها ۲/۴۷ درصد و شاخص UDI در بازهٔ ۱۰۰ تا ۲۰۰۰ لوکس معادل ۹/۹۲ درصد است که نفوذ نورِ روز را به‌شدت محدود می‌کند و شرایط نورِ ناکافی را با میانگین ۸۹/۰۶ درصد در شاخص UDI < ۱۰۰ لوکس تشدید می‌کند. اگرچه این مدل در کنترل خیرگی، با ثبت ۰/۹۶ درصد در شاخص UDI > ۲۰۰۰ لوکس، و کاهش تابشِ سطح، با میانگین ۵۸/۰۵ kWh/m²، بهترین عملکرد را دارد، این مزایا نمی‌تواند کمبودهای بصری آن را جبران کند؛ ازاین‌رو، مدل ۹ برای کاربری‌های مسکونی نامناسب است، مگر در مواردی که هدف اصلی تنها کنترل حرارتیِ فضا باشد. روند این تغییرات در تصویر ۸ قابل مشاهده است.

نتیجه

عدم کارایی جداره‌های شیشه‌ای ساختمان‌های معاصر دزفول در کنترل تابش و نور روز، و مشخص نبودن رفتار دقیق نوری ـ حرارتی الگوهای مشبک آجری بومی در فواصل مختلف از نما، نیازمند یافتن هندسه و فاصلهٔ بهینه برای این سطوح است. هدف این پژوهش، تعیین الگو یا هندسه و فاصلهٔ بهینهٔ استقرار سطوح مشبک آجری از جدارهٔ شیشه‌ای نما، به‌منظور برقراری تعادل میان کاهش بارهای تابشی و تأمین آسایش بصری است. در این پژوهش، ابتدا فرایند بازطراحی دوازده نمونه از سطوح مشبکِ آجریِ خانه‌های تاریخی دزفول با استفاده از نرم‌افزار اتوکد انجام شد. سپس اتاقکِ آزمایشی به ابعاد ۱۲۰×۱۳۰×۱۳۰ سانتی‌متر طراحی شد و سطوح مشبک در فاصله‌های ۱۰ تا ۴۰ سانتی‌متری از جدارهٔ شیشه‌ای شبیه‌سازی شدند. شاخص‌های عملکرد نورِ روز و تابش، شامل DLA و شاخص UDI در سه بازهٔ UDI<100 لوکس، معادل نورِ ناکافی یا Underlit؛ UDI=100–2000 لوکس، معادل نورِ مفید یا Useful، و UDI>2000 لوکس، معادل نورِ بیش از حد یا Overlit، و تابشِ سطحی برحسب kWh/m² مورد سنجش قرار گرفتند. نرم‌افزارهای مورد استفاده در شبیه‌سازی و تحلیل‌ها نیز Rhino و افزونه‌های Grasshopper، Ladybug و Honeybee بودند.

با توجه به نتایج این پژوهش، عملکرد سطوح مشبکِ آجری در اقلیم گرم و نیمه‌خشک دزفول تا میزان زیادی تحت‌تأثیر هندسهٔ الگو و فاصلهٔ آن از جدارهٔ شیشه‌ای قرار داشت. فرایند ارزیابی عملکرد نمونه‌ها با تحلیل فواصل استقرار الگوها در فاصله‌های ۱۰، ۲۰، ۳۰ و ۴۰ سانتی‌متری آغاز شد تا مناسب‌ترین فاصله بر پایهٔ توازن میان شاخص‌های روشنایی روز، تأمین نور مفید، تعدیل تابش خورشیدی و کاهش تاریکی فضا مشخص شود. یافته‌ها نشان داد با افزایش فاصلهٔ سطح مشبک از جدارهٔ شیشه‌ای، به‌دلیل افزایش عمق سایه‌اندازی، میزان نور ورودی به فضای داخلی کاهش می‌یابد؛ درمقابل، کاهش فاصله باعث افزایش نفوذ نور طبیعی و روشنایی روز می‌شود. بنابراین، فاصلهٔ استقرار سطح مشبک یکی از عوامل اصلی در تنظیم میزان نور ورودی و تابش دریافتی ارزیابی شد.

استقرار الگو در فاصلهٔ ۱۰ سانتی‌متری از جدارهٔ شیشه‌ای، بیشترین میزان نفوذ نور طبیعی را در میان فواصل بررسی‌شده نشان داد. در این موقعیت، میزان تابش دریافتی و برخی شرایط نامطلوب نوری همچنان نیازمند کنترل بود. بااین‌حال، برتری این فاصله تنها در شاخص‌های روشنایی روز موجب شد که در مقیاس کلی نمونه‌ها به‌عنوان مناسب‌ترین گزینه شناخته شود. درمقابل، فاصلهٔ ۲۰ سانتی‌متری عملکردی نزدیک به حالت بهینه داشت و با کاهش تابش دریافتی، تعادل بهتری ازنظر حرارتی ایجاد کرد، اما به‌دلیل افت نسبی روشنایی روز در رتبهٔ بعدی قرار گرفت. فواصل ۳۰ و ۴۰ سانتی‌متر نیز به‌علت افزایش سایه‌اندازی، اگرچه تابش خورشیدی را کاهش دادند، موجب

افت محسوس نفوذ نور طبیعی و افزایش شرایط نور ناکافی شدند؛ ازاین‌رو، برای فضاهای مسکونی گزینهٔ مطلوبی ارزیابی نشدند.

نتایج شبیه‌سازی و تحلیل الگوها نشان داد که میزان نور روز دریافتی و تابش نما، به شکل مستقیم با نسبت «پر و خالی» و «نوع هندسهٔ» سطوح مشبک در ارتباط است. به‌طور کلی، هرچه درصد پر بودن الگو بیشتر باشد، کنترل تابش و خیرگی بهتر انجام می‌شود، درمقابل، نور مفید کاهش یافته و فضا تاریک‌تر خواهد شد. الگوهای متراکم مربع ۴۵ درجه یا مربع ساده با مسدود کردن مسیر نور، کمترین تابش و بیشترین تاریکی را ایجاد کردند؛ درحالی‌که الگوهای شش‌ضلعی معجر عملکردی میانه داشتند. در این میان، الگوی چلیپا، مانند طرح‌های چلیپای ساده و چلیپا و مربع، به‌دلیل هندسهٔ متوازن خود، بهترین عملکرد را در کنترل تابش و توزیع یکنواخت نور روز نشان داد.

در انتخاب نهایی، تأثیر هم‌زمان فاصله، نوع الگو و درصد پر به خالی بررسی شد. از میان معیارها، میزان روشنایی مفید و کیفیت نور روز در بازهٔ مناسب برای فضاهای مسکونی اهمیت بیشتری داشتند؛ بنابراین وزن بیشتری به آن‌ها داده شد. بااین‌حال، میزان تابش دریافتی، کنترل خیرگی، کاهش زمان‌های کمبود نور و میانگین عملکرد مدل‌ها در فاصله‌های مختلف نیز در تصمیم‌گیری نهایی لحاظ شد. بنابراین اگرچه فاصلهٔ ۱۰ سانتی‌متری ازنظر میزان نور ورودی، بدون لحاظ تابش و خیرگی، بهترین عملکرد را داشت، اما در ارزیابی هم‌زمان متغیرهایی مانند فاصله، نوع الگو و درصد پر به خالی، الگوی ۷ با هندسهٔ چلیپایی و فاصلهٔ ۲۰ سانتی‌متری تعادل مطلوب‌تری میان روشنایی مفید، نفوذ نور روز و کاهش تابش خورشیدی برقرار کرد. این الگو با نسبت پر به خالی ۶۷/۳ درصد (خالی به پر ۳۲/۷ درصد)، برترین عملکرد را در میان الگوهای بررسی‌شده نشان داد. درمقابل، الگوی ۹ با نسبت پر به خالی ۹۷/۷ درصد (خالی به پر ۲/۳ درصد)، ضعیف‌ترین عملکرد نوری را در میان نمونه‌ها به ثبت رساند. این الگو اگرچه در کاهش تابش و کنترل خیرگی عملکرد مناسبی داشت، به‌دلیل محدود کردن شدید نفوذ نور طبیعی و افزایش شرایط نور ناکافی، برای فضاهای مسکونی مناسب تشخیص داده نشد. ازاین‌رو، کاربرد آن فقط در شرایطی قابل توصیه است که اولویت اصلی طراحی، کنترل حرارتی فضا باشد و تأمین نور طبیعی در مرتبهٔ دوم اهمیت قرار گیرد.

توصیه می‌شود در طراحی ساختمان‌های واقع در اقلیم‌های گرم، از پوسته‌های مشبکِ آجری به‌عنوان لایهٔ دوم نما برای کنترل تابش مستقیم خورشید و بهبود کیفیت روشنایی طبیعی استفاده شود. بااین‌حال، در فرایند طراحی لازم است توجه شود که کارایی این پوسته‌ها صرفاً به میزان سایه‌اندازی محدود نیست و ایجاد تعادل میان کنترل حرارتی، نفوذ نورِ روز و آسایش بصری باید به‌صورت هم‌زمان مدنظر قرار گیرد. همچنین، استفاده از فواصل میانی میان پوسته و جدارهٔ شیشه‌ای پیشنهاد می‌شود، زیرا این فاصله‌ها عملکرد متعادل‌تری نسبت به فواصل بسیار کم یا بسیار زیاد فراهم می‌کنند. بنابراین، در طراحی نماهای معاصر مبتنی‌بر الگوهای بومی، توجه هم‌زمان به هندسهٔ الگو، درصد پر و خالی، و نحوهٔ استقرار پوسته نسبت به جدارهٔ اصلی ضروری است.

پیشنهاد می‌شود در مطالعات آینده، عملکرد حرارتی این پوسته‌ها در کنار شاخص‌های نورِ روز و آسایش بصری به‌صورت هم‌زمان بررسی شود تا امکان ارزیابی جامع‌تر عملکرد محیطی آن‌ها فراهم گردد. همچنین، تحلیل تأثیر جهت‌گیری ساختمان، شرایط اقلیمی فصلی و مقیاس‌های واقعی ساختمانی می‌تواند به توسعهٔ کاربرد عملی این الگوها در معماری معاصر کمک کند. افزون بر این، بررسی رفتار کاربران، میزان مصرف واقعی انرژی و استفاده از سامانه‌های پوستهٔ تطبیق‌پذیر می‌تواند مسیر مناسبی برای پژوهش‌های آینده درزمینهٔ نماهای اقلیمیِ الهام‌گرفته از معماری بومی باشد.

پی‌نوشت‌ها

۱. Autonomy Daylight کفایت نور روز

۲. Illuminance Daylight Useful روشنایی قابل استفادهٔ نور روز

۳. اکوتکت

۴. رادیانس
۵. UDI کمتر از ۱۰۰ لوکس
۶. UDI در محدودهٔ ۱۰۰ تا ۲۰۰۰ لوکس
۷. UDI بالاتر از ۲۰۰۰ لوکس

8. Spatial Daylight Autonomy

9. Annual Sunlight Exposure

۱۰. انجمن مهندسی روشنایی آمریکای شمالی
۱۱. Weather EnergyPlus داده‌های هواشناسی نرم‌افزار انرژی پلاس
۱۲. Year Meteorological Typical دادهٔ اقلیمی یک‌ساله (۸۷۶۰ ساعته)
۱۳. دی سیم

منابع

ـ باسره، مهلا، محمدجواد ابوفاضلی، و مهدی معتمدمنش. ۱۴۰۴. معاصرسازی عنصر فخر و مدین جهت کاربرد در معماری شهر کاشان. مجلهٔ *هویت شهر* ۱۹ (۶۴): ۶۳ـ۷۶.

ـ بمانیان، محمدرضا، و فهیمه نیکودل. ۱۳۹۳. بررسی انواع نورگیری و روش‌های تأمین نور در مساجد دورهٔ قاجار تهران. مجلهٔ *پژوهش‌های معماری اسلامی* ۲ (۲): ۶۰ـ۷۴.

ـ تابان، محسن، محمد مهرکی‌زاده، و سارا نجاران. ۱۳۹۸. شناخت عناصر سایه‌انداز در مسکن سنتی دزفول. مجلهٔ *معماری و شهرسازی آرمان‌شهر* ۱۲ (۲۷): ۲۵ـ۴۱.

ـ تابان، محسن، محمدرضا پورجعفر، محمدرضا بمانیان، و شاهین حیدری. ۱۳۹۱. تأثیر اقلیم بر شکل تزیینات معماری با تکیه بر تحلیل میزان سایه‌اندازی (خوون‌چینی‌های آجری بافت تاریخی دزفول). مجلهٔ *نقش جهان* ۲ (۳): ۱ـ۱۱.

ـ جمالیان، روزیتا. ۱۳۹۰. بررسی ابعاد گرافیکی آجرکاری (خوون‌چینی) در بناهای سنتی ثبت‌شدهٔ دزفول و تعاملات گرافیکی آن‌ها. پایان‌نامهٔ کارشناسی ارشد، دانشگاه الزهرا.

ـ دهار، علی. ۱۴۰۰. بررسی دمای سطح داخلی دیوار جنوبی با نمای خوون‌چینی در اقلیم بسیار گرم و نیمه‌خشک ـ معتدل (تابستان و زمستان). مجلهٔ *مطالعات معماری ایران* ۱۰ (۱۹): ۲۱۵ـ۲۳۰.

ـ دهار، علی، منصوره طاهباز، و محسن تابان. ۱۳۹۸. بررسی اثر خوون‌چینی بر انتقال حرارت از نمای جنوبی در تابستان در اقلیم بسیار گرم و نیمه‌خشک خوزستان. مجلهٔ *معماری اقلیم گرم و خشک* ۷ (۱۰): ۱۱۹ـ۱۳۹.

ـ دیده‌بان، محمد، بهزاد وثیق، احمد صراف‌زاده، و کورش مؤمنی. ۱۴۰۱. *آشنایی با آمود و اندود در معماری سنتی ایران*. دزفول: انتشارات دانشگاه جندی‌شاپور.

ـ رازجویان، محمود. ۱۳۹۴. *آسایش در پناه معماری همساز با اقلیم*. چ۳. تهران: دانشگاه شهید بهشتی.

ـ زرگرزاده دزفولی، مجتبی، نجمه سالاری‌نسب، سید کیانوش لاری بقال، و مهناز بابایی مراد. ۱۳۹۴. خوون‌چینی، تکامل و تناسب ابعاد آجر در نماسازی‌های آثار معماری دزفول. مجلهٔ *مطالعات معماری ایران* ۵ (۹): ۴۷ـ۶۵.

ـ زمرشیدی، حسین، و علی صادقی حبیب‌آباد. ۱۳۹۷. آجر و هنر آجرکاری از دوران باستان تا امروز. مجلهٔ *مطالعات شهر ایرانی اسلامی* ۹ (۳۳): ۵ـ۱۸.

ـ سخدان سرخابی، زهرا، و محمدعلی خان‌محمدی. ۱۳۹۵. بهینه‌سازی عملکرد انرژی دیوارهای غیرقابل بازشو در جبهه‌های آفتابی. مجلهٔ *هویت شهر* (۲۳): ۷۳ـ۸۲.

ـ صراف‌زاده، احمد، محمد دیده‌بان، و بهزاد وثیق. ۱۳۹۸. طیف‌بندی و ریشه‌های عملکردی الگوهای هندسی در آرایه‌های تزیینی خانه‌های قاجار دزفول به روش ویکور. مجلهٔ *صفه* ۳۰ (۸۸): ۲۷ـ۴۲.

ـ صریحی، سعاد، محسن فیضی، و فاطمه مهدیزاده سراج. ۱۴۰۱. اولویت راهکارهای بهسازی نما به‌منظور بهره‌وری انرژی در

ساختمان‌های اداری موجود شهر تهران. مجلهٔ *منظر* ۱۴ (۵۹): ۳۰ـ۳۹.
ـ طاهباز، منصوره. ۱۳۹۶. *دانش اقلیمی طراحی معماری*. تهران: دانشگاه شهید بهشتی.
ـ فتح‌اله گندمی، انیس. ۱۴۰۲. *طراحی کلاس درس کارآمد انرژی در اقلیم گرم و نیمه‌مرطوب (ارزیابی تأثیر تناسبات بازشو بر نور دریافتی و آسایش بصری کاربران)*. پایان‌نامهٔ کارشناسی ارشد، دانشگاه صنعتی جندی‌شاپور دزفول.
ـ فلامکی، محمدمنصور، الهام خواجه‌نوری، و مینا کبودرآهنگی. ۱۳۹۶. چگونگی‌های شکل‌گیری و تکامل آجر در معماری ایرانی (ساختار فیزیکی ـ شیمیایی آجرها). مجلهٔ *نخبگان علوم و مهندسی* ۲ (۵): ۲۰۸ـ۲۳۵.
ـ کُرد مصطفی‌پور، یاسمن. ۱۳۹۹. *طراحی پوستهٔ ساختمان اداری در شهر یزد با استفاده از الگوی فخر و مدین با هدف کاهش بار سرمایشی و کنترل خیرگی*. پایان‌نامهٔ کارشناسی ارشد، دانشگاه یزد.
ـ مؤمنی، کورش، کورش عطاریان، و آذین میرزاوند. ۱۳۹۵. بررسی تطبیقی ویژگی‌های تزیینات آجرکاری خانهٔ آخوند ابوی خرم‌آباد و خانهٔ سوزنگر دزفول. مجلهٔ علمی فنی هنری *اثر* (۷۳): ۱۲۳ـ۱۴۲.
ـ نوری وند، شیرین، لیلا بلیلان اصل، داریوش ستارزاده، و مازیار آصفی. ۱۴۰۰. ارزیابی تأثیر افزایش عمق حفره و تعداد طبقات در عملکرد انرژی گونه‌های مختلف نمای دوپوسته در ۶۳ سناریوی متفاوت در ساختمان‌های اداری اقلیم سرد (نمونهٔ موردی: ساختمانی اداری در تبریز). مجلهٔ *علوم و تکنولوژی محیط‌زیست* ۲۳ (۷): ۱ـ۱۹.
- Chi, Doris A., David Moreno Rangel, and Jaime Navarro Casas. 2017. Design optimisation of perforated solar façades in order to balance daylighting with thermal performance. *Building and Environment*, no. 125: 383–400.
- Gherri, Barbara. 2015. Assessment of Daylight Performance in Buildings. Southampton, UK: WIT Press.
- Li, L., Z. Qi, Q. Ma, W. Gao, and X. Wei. 2024. Evolving multi-objective optimization framework for early-stage building design: improving energy efficiency, daylighting, view quality, and thermal comfort. *Building Simulation* 17 (11): 2097-2123.
- Tabadkani, A., M. Valinejad Shoubi, F. Soflaei, and S. Banihashemi. 2019. Integrated parametric design of adaptive facades for users' visual comfort. *Automation in Construction* (106): 102857.
- U.S. Green Building Council. 2023. LEED v4.1 BD+C: New Construction checklist. https://www.usgbc.org/leed/v41/bd. (accessed July 28, 2026).
- Yazdi Bahri, S. S., M. Alier Forment, A. Sanchez Riera, M. Heiranipour, and S. N. Hosseini. 2025. Kinetic facades as a solution for educational buildings: A multi-objective optimization simulation-based study. *Energy Reports* 13: 3915-3928.

Evaluation of the Performance of Brick Lattice Screens in Controlling Solar Radiation and Daylight in the Hot and Semi-Arid Climate of Dezful

Kolsoom Kamkar
Department of Architecture, Ahv.C, Islamic Azad University, Ahvaz, Iran

Kourosh Momeni
Department of Architecture, Faculty of Architecture and Urban Planning, Jundi-Shapur University of Technology, Dezful, Iran

Akbar Mousaeijoo
Department of Architecture, Ahv.C, Islamic Azad University, Ahvaz, Iran

In the hot and semi-arid climate of Dezful, controlling solar radiation is essential for improving thermal and visual comfort. Despite the high potential of brick lattice screens in moderating daylight and reducing thermal loads, a research gap is evident regarding the performance of these screens at varying distances from building façades. The aim of this study was to optimize the performance of brick lattice screens inspired by the vernacular architecture of Dezful in order to improve visual comfort and reduce solar radiation loads in contemporary buildings. The mixed research method employed in this study was based on comparative analysis and quantitative simulation whereby twelve samples of brick lattice screens from historic houses in Dezful were identified and redesigned. Later, four test chambers with dimensions of 120×130×130 cm were modeled, and the lattice patterns were placed at specified distances from their glass façade. The modeling and simulation process was carried out using AutoCAD and Rhino software as well as the Grasshopper, Ladybug, and Honeybee plugins. Daylight indices, including DLA and UDI in three ranges as well as surface radiation in kWh/m², were examined and analyzed for lattice screen distances of 10 to 40 cm from the glass façade. The results showed that the best performance among the studied samples was related to chalipa-pattern lattice, with a solid-to-void ratio of 67.3%, an average DLA of 29.87%, and UDI-100–2000 lux of 39.02%. Furthermore, the 10-cm distance from the glass façade recorded the highest DLA value at 23.99%, while the 40-cm distance showed the weakest performance at 16.86%. On the other hand, the square pattern, with a solid-to-void ratio of 97.7%, recorded the highest level of insufficient daylight, or underlit area, at 89.06%, and the lowest surface radiation, with an average value of 58.05 kWh/m². Overall, the chalipa-pattern lattice at a distance of 20 cm, with a DLA value of 31.44%, provided an appropriate balance between visual comfort and reduced solar radiation loads.

Keywords: Perforated Surfaces, Solar Radiation, Daylighting, Building Energy Simulation, Traditional Architecture of Dezful.

JIAS

Journal of Iranian Architecture Studies

University of Kashan
School of Architecture and Art

29

Vol. 29, Spring and Summer 2026
E-ISSN: 2676-5020

- **Historiography of the Architecture of Masjed-e Jāme' (Grand Mosque) of Amol and Its Relationship with the City in the Early Centuries after the Hijrah**
  Zatollah Nikzad
- **Redefinition of the Qaysariyyah Area in the Bazaar of Kashan and the Formation of a New Urban Center in the Second Half of the Qajar Period**
  Yasaman Safian, Hamidreza Jayhani, Seyed Mahmood Sadat Bidgoli
- **Assessing the Values of Rudkhan Castle as World Heritage from the Perspective of the ICOFORT Charter and the Operational Guidelines for the Implementation of the World Heritage Convention**
  Aboozar Janalipoor, Pirouz Hanachi, Mohammad-Hassan Talebian
- **Enhancement of Lateral Stability Threshold of Barrel Vault Supported by Walls**
  Farzin Izadpanah
- **Evaluation of the Performance of Brick Lattice Screens in Controlling Solar Radiation and Daylight in the Hot and Semi-Arid Climate of Dezful**
  Kolsoom Kamkar, Kourosh Momeni, Akbar Mousaeijoo
- **From Royal Garden to Urban Square: The Emergence of the Mahjar and the Reconfiguration of the Iranian Cityscape in the Late Naseri Era**
  Kaveh Rashidzadeh, Golnar Hekmat
- **Classification and Algorithmic Analysis of Articulation Types in Historical Iranian Girih Patterns**
  Mahdi Azizi Hamedani, Mojtaba Sabetfard
- **Conceptual Dimensions and Characteristics of Abductive Reasoning in Design Practice**
  Ali Qoreishvandi Abraki, Ali Alai, Keivan Jourabchi, Saeid Norouzian Maleki
- **The Role of Spatial Configuration in Creating Sociability in Social-Scale Shopping Centers in Isfahan**
  Maryam Gorouhi, Narges Dehghan, Mansoureh Kianersi, Somayeh Rafiei
- **Pragmatic Evaluation: An Opportunity to Reform Policies and Practices in Targeted Areas (Concrete Case: National Regeneration Policy in Iran)**
  Morteza Hadi Jaberi Moghaddam, Shima Saghandali
- **From Eventification to Characterization of Memorial Museums**
  Faezeh Tafreshi, Manoochehr Moazzami, Nicholas Wise
- **The Effect of Removing Old-Growth Trees in the Architecture of Ilam's Streets on Pedestrian Thermal Comfort Changes Based on Computational Fluid Dynamics (CFD)**
  Karen Fatahi, Nasrin Siavash