

تبیین فنی فایل Grasshopper در فرآیند مدلسازی پارامتریک و شبیه‌سازی نور روز

در راستای تبدیل چارچوب نظری و تحلیلی پژوهش به یک سامانه عملیاتی و قابل ارزیابی، از محیط **Grasshopper** در نرم‌افزار **Rhino** به‌عنوان بستر اصلی مدلسازی پارامتریک، تولید سناریوهای طراحی و اتصال به موتورهای شبیه‌سازی نور روز استفاده شد. انتخاب این محیط به دلیل توانایی آن در ایجاد ارتباط مستقیم میان متغیرهای هندسی پوسته، شاخص‌های عملکردی نور روز و الگوریتم‌های بهینه‌سازی بوده است. در این رویکرد، پوسته خارجی ساختمان نه به‌عنوان یک عنصر ایستا، بلکه به‌عنوان سامانه‌ای متغیر و پاسخگو تعریف می‌شود که ویژگی‌های آن از طریق پارامترهای عددی قابل کنترل است.

فایل **Grasshopper** تهیه‌شده در این پژوهش، صرفاً یک مدل هندسی برای ترسیم نما نیست، بلکه یک زنجیره تحلیلی یکپارچه است که از مرحله تعریف متغیرهای طراحی آغاز شده و تا مرحله استخراج شاخص‌های عملکردی مانند **UDI-Desirable**، **UDI-Low**، **UDI-High**، **DGP** و **sUDI** ادامه می‌یابد. به بیان دیگر، این فایل نقش واسط میان طراحی معماری و ارزیابی کمی عملکرد نور روز را ایفا می‌کند و امکان آن را فراهم می‌سازد که تأثیر هر تصمیم طراحی بر کیفیت روشنایی داخلی به‌صورت دقیق، قابل سنجش و قابل مقایسه ثبت شود.

اهمیت فایل گرسهاپر در این پژوهش از آن جهت است که فرآیند بررسی گزینه‌های طراحی را از حالت خطی و دستی خارج کرده و به یک نظام سیستماتیک و داده‌محور تبدیل می‌کند. در روش‌های متعارف، هر تغییر در ابعاد بازشو، عمق سایبان یا نحوه چیدمان روزنه‌ها مستلزم مدلسازی مجدد و اجرای جداگانه شبیه‌سازی است؛ در حالی که در ساختار پارامتریک طراحی‌شده، تمام این تغییرات در قالب یک مدل پویا تعریف شده و با تغییر مقادیر ورودی، مدل هندسی و نتایج شبیه‌سازی به‌طور هم‌زمان به‌روزرسانی می‌شوند. بدین ترتیب، فایل گرسهاپر به یکی از مهم‌ترین اجزای روش‌شناسی پژوهش تبدیل می‌شود.

۱. جایگاه فایل Grasshopper در ساختار روش تحقیق

فایل **Grasshopper** در این پژوهش، حلقه اتصال میان سه لایه اصلی تحقیق را تشکیل می‌دهد: لایه تعریف مسئله و متغیرهای طراحی، لایه تولید هندسه و سناریوهای پوسته، و لایه تحلیل عملکرد و بهینه‌سازی. در لایه نخست، متغیرهای اصلی پژوهش شامل نسبت سطح شفاف به دیوار، عمق سایبان افقی، زاویه بازشو، ارتفاع آستانه پنجره، تناوب روزنه‌ها و نسبت ابعاد بازشو تعریف می‌شوند. این متغیرها مستقیماً از پرسش‌های پژوهش و مبانی نظری استخراج شده‌اند و به‌عنوان ورودی‌های اصلی مدل در نظر گرفته می‌شوند.

در لایه دوم، **Grasshopper** این متغیرها را به هندسه‌ای قابل مشاهده و قابل شبیه‌سازی تبدیل می‌کند. بر این اساس، نمای جنوبی ساختمان به‌صورت یک سطح پایه تعریف شده و سپس با استفاده از روابط پارامتریک، محل قرارگیری بازشوها، ابعاد آن‌ها، زاویه

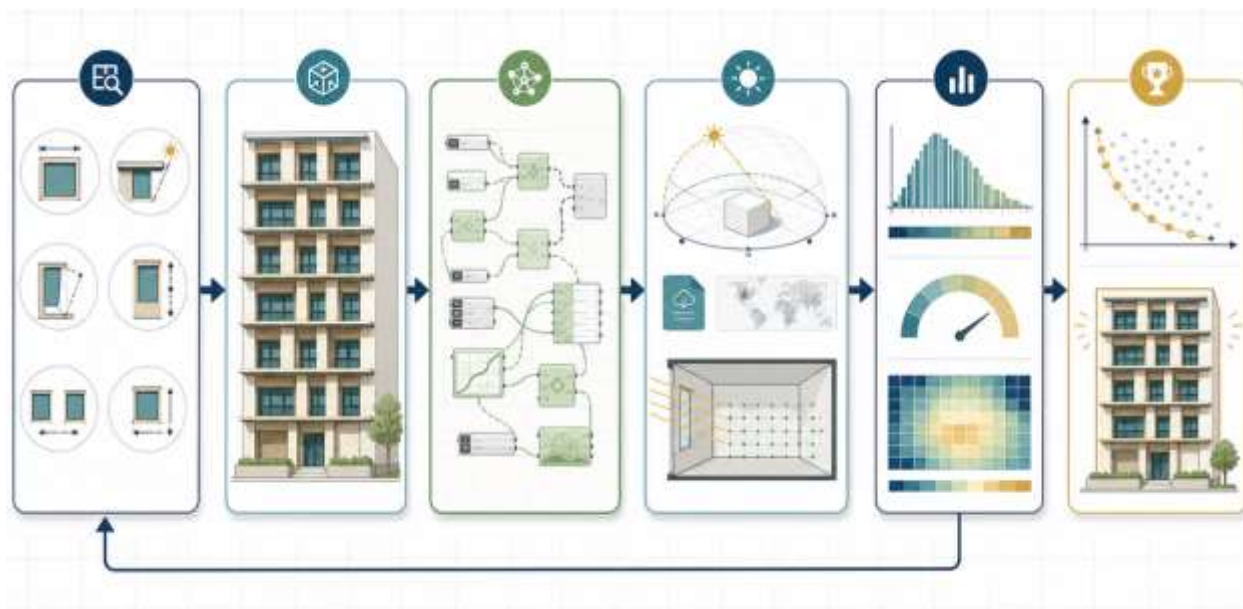
قرارگیری، عمق عناصر سایه‌انداز و الگوی تکرارشان روی نما تولید می‌گردد. به این ترتیب، هر سناریوی طراحی نه به صورت دستی، بلکه از طریق یک منطق الگوریتمی منسجم ساخته می‌شود.

در لایه سوم، مدل تولیدشده به افزونه‌های تحلیلی نور روز متصل می‌گردد تا عملکرد هر سناریو در شرایط اقلیمی تهران ارزیابی شود. در این مرحله، داده‌های اقلیمی، زمان‌های مورد مطالعه، بازه ساعات اشغال و موقعیت جغرافیایی وارد فرآیند تحلیل می‌شوند و خروجی به صورت شاخص‌های کمی استخراج می‌گردد. سپس نتایج برای مقایسه سناریوها، تحلیل حساسیت متغیرها و اجرای الگوریتم بهینه‌سازی مورد استفاده قرار می‌گیرد. از این منظر، فایل گرسهاپر نه فقط یک ابزار مدل‌سازی، بلکه هسته محاسباتی پژوهش محسوب می‌شود.

جدول ۴-۷. جایگاه فایل Grasshopper در فرآیند کلی پژوهش

ردیف	مرحله پژوهش	نقش فایل Grasshopper	نوع خروجی
۱	تعریف متغیرها	دریافت پارامترهای طراحی پوسته	ورودی‌های عددی
۲	تولید هندسه	ساخت خودکار مدل پارامتریک نما	هندسه دوبعدی و سه‌بعدی
۳	تعریف سناریوها	ایجاد ترکیب‌های مختلف متغیرها	سناریوهای طراحی
۴	اتصال به شبیه‌سازی	آماده‌سازی مدل برای تحلیل نور روز	مدل تحلیلی
۵	استخراج شاخص‌ها	محاسبه UDI، DGP و sUDI	داده‌های عملکردی
۶	بهینه‌سازی	ارزیابی هم‌زمان سناریوها و انتخاب گزینه برتر	راه‌حل‌های بهینه

این جدول نشان می‌دهد که فایل Grasshopper چگونه در تمام مراحل اصلی پژوهش حضور فعال دارد و تنها به تولید فرم محدود نمی‌شود. همان‌گونه که مشاهده می‌شود، این فایل از مرحله تعریف پارامترها تا استخراج نتایج عملکردی و حتی بهینه‌سازی، نقش محوری ایفا می‌کند. این پیوستگی، یکی از مهم‌ترین مزایای رویکرد پارامتریک در تحقیقات معماری عملکردگرا است؛ زیرا امکان ردیابی رابطه مستقیم میان ورودی‌ها و خروجی‌ها را فراهم می‌سازد.



شکل ۴-۶. جایگاه فایل Grasshopper در زنجیره روش تحقیق پژوهش

این شکل به صورت یک دیاگرام فرآیندی، جایگاه فایل گرسهاپر را در اتصال میان متغیرهای طراحی، تولید هندسه، شبیه سازی و بهینه سازی نشان می دهد. اهمیت این نمودار در آن است که منطق یکپارچه پژوهش را به صورت تصویری آشکار می سازد و نشان می دهد که تحلیل نور روز در این مطالعه نه به صورت جدا از طراحی، بلکه در دل فرآیند طراحی پارامتریک تعریف شده است.

۲. ساختار کلی فایل Grasshopper و منطق سازمان دهی آن

فایل Grasshopper این پژوهش بر پایه یک ساختار ماژولار طراحی شده است تا هر بخش از فرآیند، وظیفه مشخص و مستقلی داشته باشد و در عین حال با سایر بخش ها در ارتباط باشد. این ساختار ماژولار باعث می شود که فایل از نظر فنی خوانا، قابل توسعه و قابل دفاع باشد. به جای آن که تمام عملیات در یک جریان پیچیده و درهم انجام شود، مدل به چند خوشه یا ماژول اصلی تقسیم شده است که هر یک بخشی از منطق پژوهش را پوشش می دهند.

نخستین ماژول به تعریف ورودی ها و دامنه تغییرات متغیرها اختصاص دارد. در این بخش، اسلایدرها، پنل ها و کنترل کننده های عددی برای تعیین مقادیر WWR، عمق سایبان، زاویه بازشو، ارتفاع آستانه، تناوب روزنه ها و نسبت ابعاد بازشو قرار گرفته اند. این بخش عملاً همان فضای کنترل پژوهشگر بر مدل است و امکان می دهد هر متغیر به صورت مستقل یا ترکیبی تغییر داده شود.

ماژول دوم به تولید هندسه پوسته و بازشوها مربوط می شود. در این قسمت، سطح پایه نمای جنوبی تعریف شده و سپس با توجه به پارامترهای ورودی، بازشوها به صورت الگوریتمی روی سطح توزیع می شوند. این تولید هندسی شامل تعیین ابعاد هر بازشو،

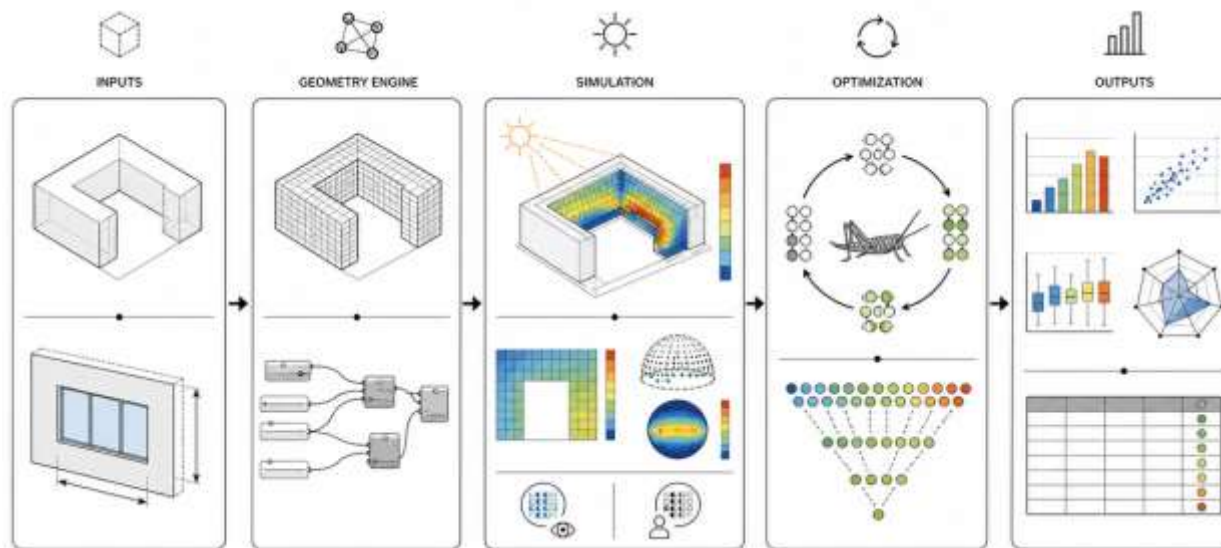
فاصله‌گذاری میان آن‌ها، محل قرارگیری آستانه، چرخش یا زاویه‌گیری بازشو و افزودن سایبان افقی است. نتیجه این مرحله، یک مدل هندسی پارامتریک است که در هر لحظه بازتاب مستقیم مقادیر ورودی است.

ماژول سوم به اتصال مدل هندسی به موتور شبیه‌سازی نور روز می‌پردازد. در این بخش، هندسه تولیدشده به فرمت قابل‌استفاده برای شبیه‌سازی تبدیل می‌شود، نقاط یا شبکه تحلیل در فضای داخلی تعریف می‌گردد، فایل اقلیمی تهران معرفی می‌شود و تنظیمات زمانی مطالعه مشخص می‌گردد. ماژول چهارم نیز به تحلیل داده‌ها، استخراج شاخص‌ها و نمایش نتایج مربوط است. این ماژول نتایج خام شبیه‌سازی را دریافت کرده و آن‌ها را به شاخص‌های تحلیلی تبدیل می‌کند. در صورت استفاده از الگوریتم ژنتیک، ماژول پنجم نیز برای بهینه‌سازی چندهدفه تعریف می‌شود.

جدول ۴-۸. ماژول‌های اصلی فایل Grasshopper و وظیفه هر یک

ردیف	نام ماژول	وظیفه اصلی	نوع داده
۱	Input Parameters	تعریف متغیرها و حدود تغییرات	داده عددی
۲	Facade Geometry Generator	تولید هندسه پوسته و بازشوها	هندسه
۳	Shading Control Module	ایجاد سایبان و کنترل عناصر سایه‌انداز	هندسه
۴	Daylight Simulation Setup	تنظیم اقلیم، زمان و شبکه تحلیل	داده تحلیلی
۵	Performance Calculation	استخراج شاخص‌های نور روز	داده عملکردی
۶	Optimization Module	جست‌وجوی پاسخ‌های بهینه	داده تصمیم‌گیری
۷	Result Visualization	نمایش نمودارها، رنگ‌گذاری و جداول	خروجی بصری

این جدول ساختار درونی فایل گرسهاپر را به صورت فشرده و منظم نشان می‌دهد. تقسیم مدل به ماژول‌های مستقل باعث می‌شود که هر بخش از فایل کارکرد مشخصی داشته باشد و در صورت نیاز، امکان اصلاح یا توسعه آن بدون برهم زدن کل ساختار وجود داشته باشد. این موضوع از دید روش‌شناختی نیز حائز اهمیت است، زیرا دفاع‌پذیری علمی فایل را افزایش می‌دهد.



شکل ۴-۷. ساختار ماژولار فایل **Grasshopper** برای مدلسازی و شبیه‌سازی نور روز

این شکل می‌تواند به صورت یک دیاگرام بلوکی ترسیم شود که ارتباط میان ماژول‌های ورودی، تولید هندسه، شبیه‌سازی، تحلیل و بهینه‌سازی را نمایش دهد. هدف از این نمودار، نشان دادن معماری داخلی فایل گرسهپار و نحوه حرکت داده از مرحله تعریف متغیرها تا تولید خروجی‌های نهایی است.

۳. پارامترهای ورودی فایل **Grasshopper**

هسته اصلی فایل گرسهپار این پژوهش بر پایه مجموعه‌ای از پارامترهای ورودی شکل گرفته است که هر یک نماینده یکی از متغیرهای اصلی پژوهش هستند. این پارامترها به گونه‌ای انتخاب شده‌اند که هم قابلیت بازنمایی واقعی تصمیمات طراحی در نمای ساختمان را داشته باشند و هم بتوانند در فرآیند شبیه‌سازی و بهینه‌سازی به صورت کمی تحلیل شوند. در واقع، هر پارامتر نوعی ترجمه هندسی از یک تصمیم معماری است.

پارامتر نخست، **نسبت سطح شفاف به دیوار (WWR)** است که به عنوان مهم‌ترین متغیر مؤثر بر ورود نور روز در مدل تعریف شده است. این پارامتر تعیین می‌کند چه سهمی از سطح نما به بازشو اختصاص یابد و بنابراین مستقیماً بر حجم نور ورودی، احتمال خیرگی و توزیع روشنایی اثر می‌گذارد. پارامتر دوم، **عمق سایبان افقی** است که نقش آن کنترل تابش مستقیم، به‌ویژه در ساعات اوج تابش در جبهه جنوبی است.

از سوی دیگر، **زاویه بازشو و ارتفاع آستانه پنجره** دو پارامتر کلیدی برای کنترل نحوه توزیع عمودی نور در فضای داخلی هستند. زاویه بازشو مسیر هدایت نور را تغییر می‌دهد و ارتفاع آستانه تعیین می‌کند که نور در چه ترازهایی از فضای داخلی شود.

همچنین تناوب روزنه‌ها و نسبت ابعاد بازشو به عنوان دو متغیر هندسی دیگر، الگوی تکرار و شکل بازشوها را تنظیم می‌کنند و در نتیجه بر یکنواختی روشنایی و شاخص SUDI اثر گذارند.

جدول ۴-۹. پارامترهای اصلی ورودی در فایل Grasshopper

ردیف	نام پارامتر	تعریف	واحد	نقش در تحلیل
۱	WWR	نسبت سطح شفاف به کل سطح نما	درصد	کنترل شدت ورود نور
۲	Horizontal Shading Depth	عمق سایبان افقی	سانتی متر	کنترل تابش مستقیم و خیرگی
۳	Opening Angle	زاویه بازشو نسبت به افق	درجه	هدایت و توزیع نور در عمق فضا
۴	Sill Height	ارتفاع آستانه پنجره از کف	سانتی متر	تنظیم توزیع عمودی روشنایی
۵	Opening Interval	فاصله یا تناوب بین بازشوها	سانتی متر	کنترل یکنواختی توزیع نور
۶	Aspect Ratio	نسبت عرض به ارتفاع بازشو	بدون واحد	کنترل الگوی هندسی و پخش نور

جدول فوق متغیرهای اصلی پژوهش را که در فایل گرسهپر به صورت ورودی تعریف شده‌اند، معرفی می‌کند. اهمیت این جدول در آن است که نشان می‌دهد فایل گرسهپر دقیقاً بر اساس همان متغیرهایی ساخته شده که در فصل تحلیل پژوهش مورد بررسی قرار گرفته‌اند. بنابراین، انسجام روش تحقیق از سطح نظری تا سطح مدل‌سازی و شبیه‌سازی حفظ شده است.

جدول ۴-۱۰. بازه تغییرات پارامترها در فایل Grasshopper

ردیف	پارامتر	حداقل مقدار	حداکثر مقدار	گام تغییر
۱	WWR	۲۰	۸۰	۱۵
۲	عمق سایبان	۰	۱۲۰	۳۰
۳	زاویه بازشو	۱۵	۶۰	۱۵
۴	ارتفاع آستانه	۵۰	۱۲۰	۳۵
۵	تناوب روزنه‌ها	۵۰	۱۵۰	۵۰
۶	نسبت ابعاد	۰,۵	۲	۰,۵

این جدول دامنه عددی تغییرات پارامترها را در مدل نشان می‌دهد. مقادیر انتخاب‌شده همان سطوحی هستند که مبنای تعریف سناریوهای پژوهش قرار گرفته‌اند. تنظیم این بازه‌ها در فایل گرسه‌پایر سبب می‌شود که تمام حالت‌های تحلیل‌شده در پژوهش به‌صورت سیستماتیک و بدون دخالت دستی تولید شوند.



شکل ۴-۸. نمای کلی بخش ورودی‌ها و اسلایدرهای کنترل پارامترها در فایل Grasshopper

این شکل بهتر است تصویری از قسمت ورودی فایل گرسه‌پایر باشد که در آن اسلایدرهای مرتبط با WWR، عمق سایبان، زاویه بازشو، ارتفاع آستانه، تناوب و نسبت ابعاد مشخص شده باشند. چنین شکلی به خواننده کمک می‌کند تا درک کند که چگونه متغیرهای پژوهش در محیط نرم‌افزار به عناصر کنترلی تبدیل شده‌اند.

۴. منطق تولید هندسه پوسته در فایل Grasshopper

در فایل طراحی‌شده، فرآیند تولید هندسه از تعریف **سطح پایه نمای جنوبی ساختمان** آغاز می‌شود. این سطح به‌عنوان بستر اصلی استقرار بازشوها و عناصر سایه‌انداز عمل می‌کند و متناسب با ابعاد واقعی ساختمان پنج‌طبقه مسکونی مورد مطالعه تعریف می‌گردد. انتخاب جبهه جنوبی به‌عنوان سطح پایه، ریشه در منطق اقلیمی پژوهش دارد؛ زیرا در اقلیم تهران، این جبهه مهم‌ترین سطح دریافت‌کننده تابش خورشیدی و در نتیجه اصلی‌ترین بستر کنترل نور روز به شمار می‌رود.

پس از تعریف سطح پایه، فایل گرسه‌پایر با استفاده از روابط پارامتریک، آن را به یک شبکه منظم یا نیمه‌منظم برای استقرار بازشوها تقسیم می‌کند. این شبکه بر اساس دو پارامتر اصلی شکل می‌گیرد: یکی **تناوب افقی و عمودی روزنه‌ها** و دیگری **نسبت ابعادی**

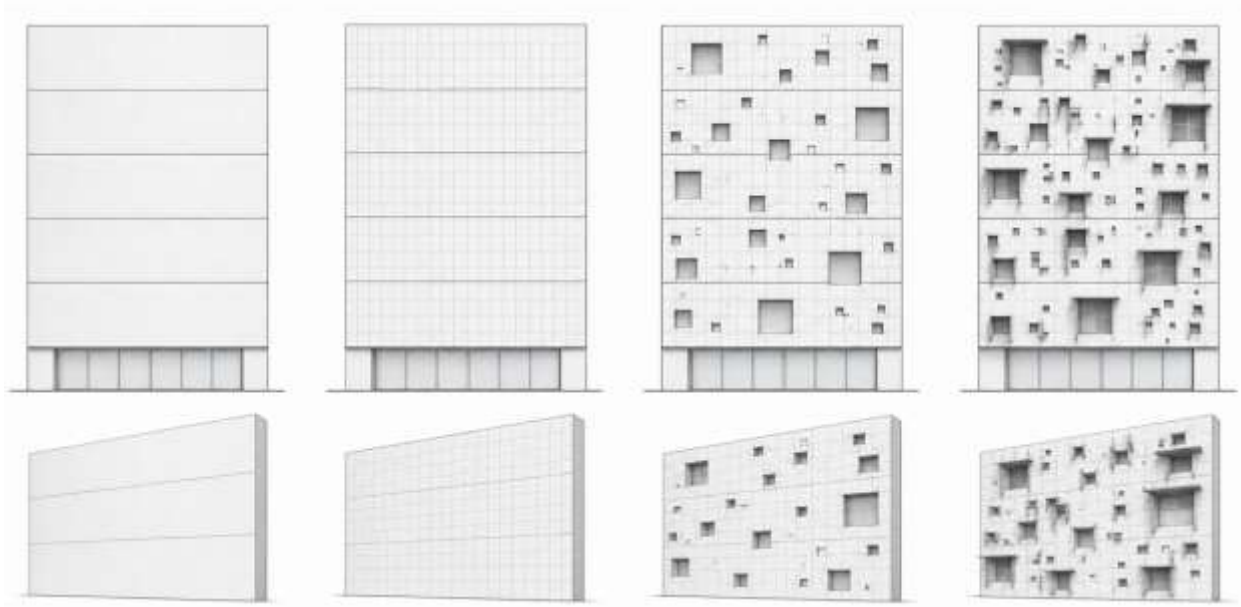
بازشوها. با تغییر این دو پارامتر، هم تعداد بازشوها و هم الگوی پراکندگی آن‌ها بر سطح نما تغییر می‌کند. در نتیجه، هندسه پوسته به صورت مستقیم و قابل مشاهده تابع متغیرهای پژوهش خواهد بود.

در مرحله بعد، **WWR** به عنوان کنترل کننده اصلی میزان شفافیت نما وارد فرآیند می‌شود. این پارامتر تعیین می‌کند که از مجموع سطح نما، چه بخشی به بازشو اختصاص یابد. در عمل، این موضوع از طریق تغییر ابعاد بازشوها یا نسبت سطح پر و خالی در شبکه پوسته تحقق پیدا می‌کند. سپس ارتفاع آستانه و زاویه بازشو به مدل افزوده می‌شوند تا نحوه استقرار بازشوها در مقطع عمودی نیز قابل کنترل باشد. در نهایت، سایبان افقی در بالای بازشوها با عمق متغیر تولید می‌شود و به عنوان عنصر کنترل کننده تابش مستقیم به هندسه افزوده می‌گردد.

جدول . مراحل تولید هندسه پوسته در فایل Grasshopper

ردیف	مرحله	شرح عملیات	خروجی
۱	تعریف سطح پایه	ایجاد سطح نمای جنوبی بر اساس ابعاد ساختمان	سطح اولیه نما
۲	تقسیم بندی نما	تولید شبکه استقرار بازشوها	شبکه پارامتریک
۳	اعمال WWR	تنظیم میزان سطح شفاف نسبت به سطح کل	ابعاد بازشوها
۴	اعمال تناوب	کنترل فاصله بین بازشوها	الگوی تکرار
۵	اعمال نسبت ابعاد	تعیین شکل هندسی بازشوها	بازشوهای افقی، مربعی یا عمودی
۶	اعمال ارتفاع آستانه	تنظیم تراز شروع پنجره‌ها	موقعیت عمودی بازشو
۷	اعمال زاویه بازشو	چرخش یا انحراف سطح بازشو	جهت گیری نور
۸	افزودن سایبان	تولید سایبان افقی با عمق متغیر	عنصر سایه انداز

جدول فوق منطق مرحله به مرحله تولید پوسته را در فایل گرسهاپر نشان می‌دهد. این روند بیانگر آن است که شکل نهایی نما حاصل یک تصمیم صوری اتفاقی نیست، بلکه پیامد مستقیم مجموعه‌ای از عملیات تعریف شده و مرتبط با اهداف پژوهش است. چنین ترتیبی به خواننده اجازه می‌دهد منطق تبدیل متغیرهای پژوهش به فرم معماری را به وضوح دنبال کند.



شکل ۴-۹. روند مرحله‌ای تولید هندسه پوسته از سطح پایه تا بازشوهای نهایی

این شکل بهتر است به صورت توالی چند تصویر ترسیم شود؛ از سطح اولیه نما آغاز شده و سپس تقسیم‌بندی، اعمال بازشوها، تغییر نسبت سطح شفاف، تنظیم زاویه و افزودن سایبان را نمایش دهد. این توالی تصویری، رابطه میان تصمیمات پارامتریک و نتیجه هندسی را به روشنی نشان می‌دهد.

۵. اتصال فایل Grasshopper به موتور شبیه‌سازی نور روز

پس از تولید هندسه پوسته، مرحله بعدی در فایل گرسهپار، آماده‌سازی مدل برای شبیه‌سازی نور روز است. این بخش از فایل به گونه‌ای طراحی شده که مدل پارامتریک مستقیماً به موتورهای تحلیلی نور روز متصل شود. بسته به ساختار نرم‌افزاری مورد استفاده، این اتصال می‌تواند از طریق افزونه‌هایی مانند **Ladybug** و **Honeybee** انجام گیرد که امکان بهره‌گیری از داده‌های اقلیمی، تعریف شبکه تحلیل و محاسبه شاخص‌های نور روز را فراهم می‌کنند.

در این پژوهش، فایل اقلیمی تهران به عنوان ورودی محیطی وارد مدل می‌شود تا شرایط واقعی تابش خورشید، آسمان و شدت روشنایی در شبیه‌سازی لحاظ گردد. همچنین سه تاریخ کلیدی شامل **۲۱ مارس**، **۲۱ ژوئن** و **۲۱ دسامبر** برای بررسی رفتار پوسته در شرایط متفاوت فصلی تعریف شده‌اند. بازه زمانی تحلیل نیز مطابق با ساعات اشغال فضا، از **۸ صبح تا ۶ عصر** در نظر گرفته شده است. این تنظیمات سبب می‌شود که تحلیل نه در شرایط فرضی، بلکه در یک چارچوب اقلیمی و بهره‌برداری واقعی انجام شود.

در ادامه، در فضای داخلی ساختمان یک شبکه تحلیل تعریف می‌گردد که معمولاً در ارتفاع سطح کار قرار می‌گیرد. این شبکه وظیفه دارد میزان روشنایی، یکنواختی نور و احتمال خیرگی را در نقاط مختلف فضای داخلی ثبت کند. فایل گرسهاپر از طریق این شبکه، نتایج را به صورت ماتریس داده استخراج می‌کند و سپس آن‌ها را به شاخص‌های تحلیلی تبدیل می‌نماید. به این ترتیب، بین هندسه پوسته و پاسخ نوری فضای داخلی یک رابطه مستقیم و کمی برقرار می‌شود.

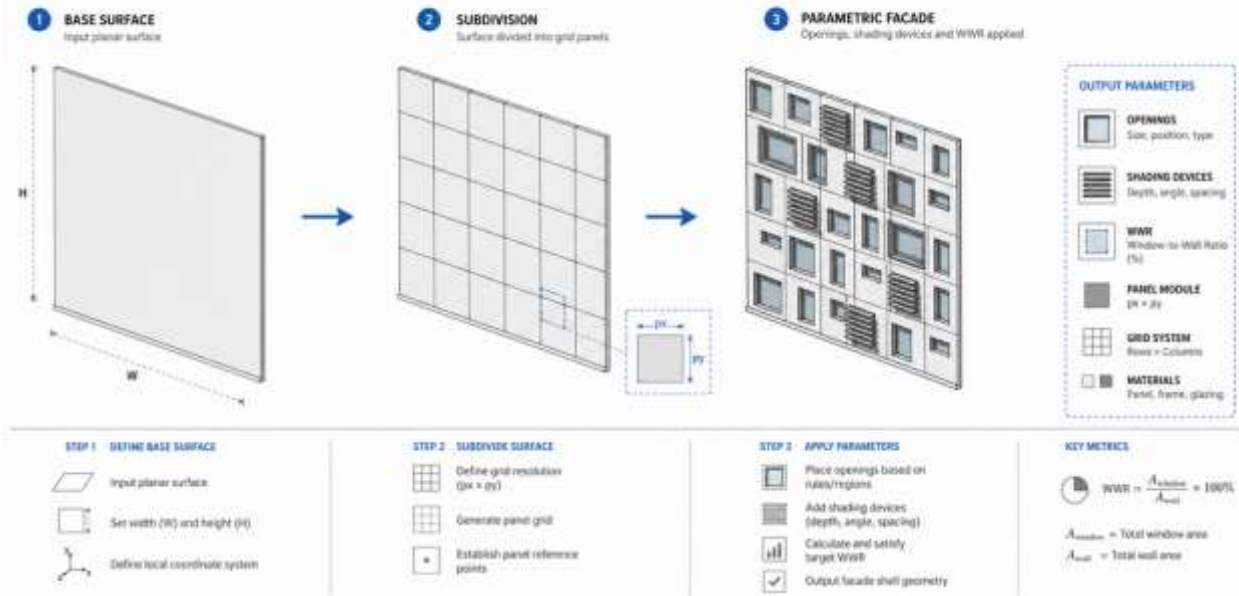
جدول ۴-۱۲. تنظیمات اصلی شبیه‌سازی نور روز در فایل Grasshopper

ردیف	مؤلفه شبیه‌سازی	تنظیمات انجام شده
۱	موقعیت جغرافیایی	تهران، منطقه ۲
۲	فایل اقلیمی	فایل EPW شهر تهران
۳	جبهه مورد تحلیل	نمای جنوبی
۴	تاریخ‌های تحلیل	۲۱ مارس، ۲۱ ژوئن، ۲۱ دسامبر
۵	بازه زمانی	۸:۰۰ تا ۱۸:۰۰
۶	فضای مورد تحلیل	فضای داخلی واحد/فضای عمومی مسکونی
۷	شبکه تحلیل	نقاط منظم در ارتفاع سطح کار
۸	شاخص‌های خروجی	sUDI, DGP, UDI

این جدول نشان می‌دهد که فایل گرسهاپر چگونه به شرایط واقعی اقلیمی و بهره‌برداری پروژه متصل شده است. اهمیت این موضوع در آن است که نتایج پژوهش را از سطح یک تحلیل هندسی صرف فراتر برده و آن را به یک ارزیابی عملکردی مبتنی بر داده‌های محیطی واقعی تبدیل می‌کند.

PARAMETRIC FACADE SHELL GENERATION

STEP-BY-STEP PROCEDURAL WORKFLOW



شکل ۴-۱۰. ساختار اتصال مدل پارامتریک به افزونه‌های شبیه‌سازی نور روز

این شکل می‌تواند دیاگرامی از ارتباط میان هندسه تولیدشده در گرسهپر، فایل اقلیمی، شبکه تحلیل و خروجی‌های شاخص‌های نوری باشد. هدف آن، نمایش شفاف سازوکار انتقال داده از مدل طراحی به فرآیند محاسبه و تحلیل است.

۶-۱. فرآیند تولید سناریوها در فایل Grasshopper

یکی از مهم‌ترین قابلیت‌های فایل گرسهپر در این پژوهش، توانایی آن در تولید خودکار سناریوهای متعدد طراحی است. به‌جای آن‌که هر گزینه طراحی به‌صورت مستقل مدل‌سازی شود، ترکیب‌های مختلف پارامترها در یک ساختار منظم تعریف شده و مدل قادر است برای هر ترکیب، یک نسخه جدید از پوسته را ایجاد و تحلیل کند. این ویژگی، جوهره اصلی روش پارامتریک در پژوهش حاضر است.

سناریوها در این پژوهش بر اساس ترکیب سطوح مختلف شش متغیر طراحی ایجاد شده‌اند. فایل گرسهپر از طریق سازوکارهای داده‌ای خود، مقادیر متغیرها را به‌صورت ماتریسی یا درختی سازمان‌دهی می‌کند و از این طریق امکان می‌دهد که تمام ترکیب‌های مورد نظر پژوهشگر به‌صورت سیستماتیک تولید شوند. نتیجه این فرآیند، مجموعه‌ای از ۳۶۰ سناریوی طراحی است که هر کدام بیانگر یک حالت مشخص از پوسته خارجی ساختمان هستند.

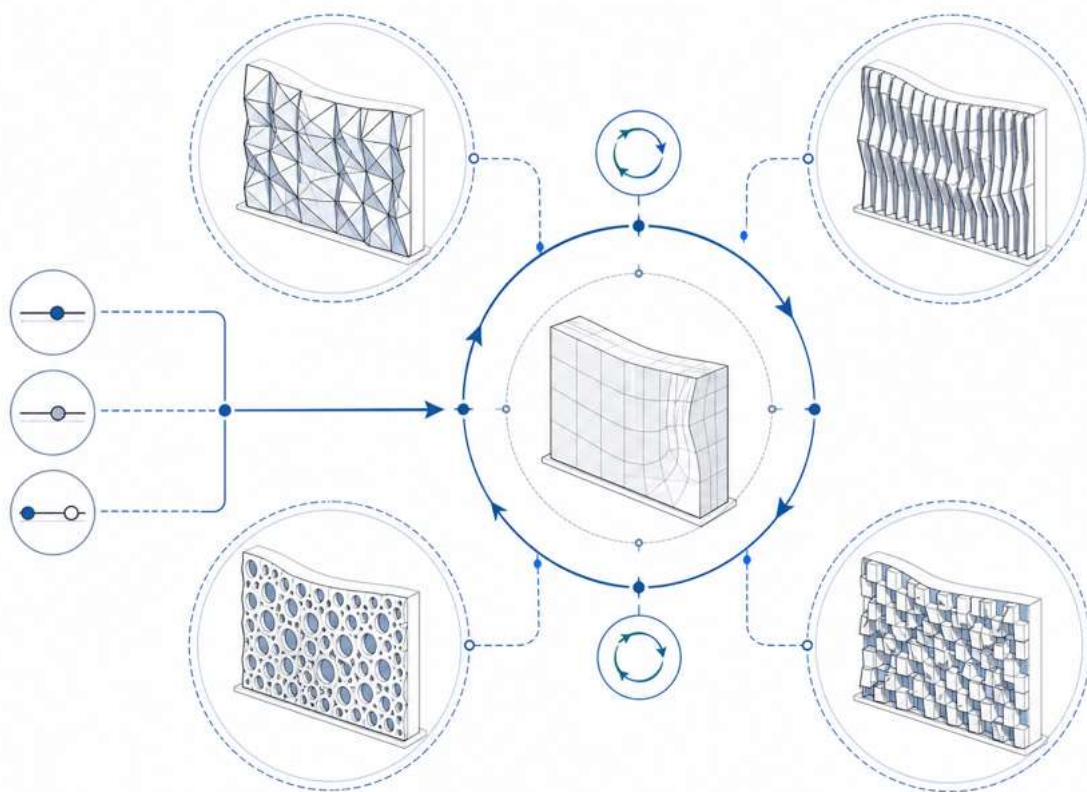
مزیت این رویکرد آن است که پژوهشگر می‌تواند نه‌فقط اثر یک متغیر منفرد، بلکه اثرات ترکیبی و هم‌زمان متغیرها را نیز بررسی کند. برای مثال، ممکن است یک WWR مشخص در ترکیب با عمق سایبان خاص و زاویه بازشوی خاص به نتیجه‌ای برسد که

در حالت بررسی منفرد آن متغیر قابل شناسایی نباشد. بنابراین، فایل گرسهاپر در این بخش به ابزاری برای کاوش فضای پاسخ طراحی تبدیل می‌شود.

جدول ۴-۱۳. منطق تعریف سناریوها در فایل Grasshopper

ردیف	متغیر	تعداد سطوح بررسی
۱	WWR	۵
۲	عمق سایبان	۵
۳	زاویه بازشو	۴
۴	ارتفاع آستانه	۳
۵	تناوب روزنه‌ها	۳
۶	نسبت ابعاد	۳

این جدول نشان می‌دهد که هر متغیر در چند سطح بررسی شده و چگونه دامنه تحلیل به صورت ساختاریافته تعریف شده است. در عمل، فایل گرسهاپر از همین سطوح برای تولید مجموعه سناریوها استفاده می‌کند. اهمیت این بخش در آن است که نشان می‌دهد نمونه‌های مورد تحلیل در پژوهش، نه به صورت تصادفی، بلکه بر پایه یک طراحی آزمایشی مشخص تولید شده‌اند.



شکل . شماتیک تولید خودکار سناریوهای مختلف پوسته در فایل Grasshopper

این شکل می تواند به صورت نموداری نمایش داده شود که در آن یک مجموعه ورودی عددی به شاخه های مختلف سناریوها تبدیل می شود. ترسیم چنین ساختاری به فهم مکانیزم تولید هم زمان گزینه های طراحی و تفاوت آن با روش دستی کمک زیادی می کند.

۷. نقش الگوریتم ژنتیک در فایل Grasshopper

پس از تولید سناریوها و تحلیل اولیه، فایل گرسهپار به بخش **بهینه سازی چندهدفه** متصل می شود تا از میان فضای گسترده پاسخ ها، ترکیب های برتر شناسایی شوند. برای این منظور، از الگوریتم ژنتیک استفاده می شود؛ الگوریتمی که قادر است در میان تعداد زیادی از حالت های ممکن، گزینه هایی را بیابد که بهترین تعادل را میان اهداف متعارض برقرار می سازند. در این پژوهش، دو هدف اصلی شامل **بیشینه سازی UDI-Desirable** و **کمینه سازی DGP** بوده است.

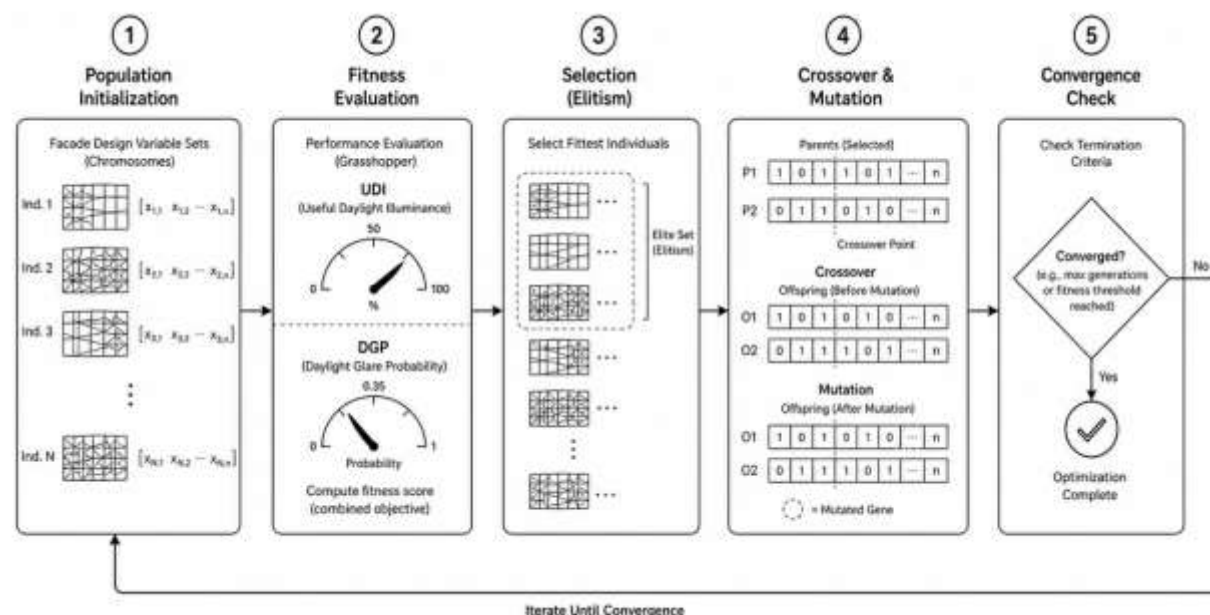
الگوریتم ژنتیک در محیط Grasshopper این قابلیت را دارد که متغیرهای طراحی را به عنوان ژن های یک ساختار تصمیم گیری در نظر بگیرد و در هر نسل، با ترکیب و ارزیابی پاسخ ها، به سمت گزینه های بهتر حرکت کند. این فرآیند از نظر روش شناختی اهمیت زیادی دارد، زیرا به جای انتخاب سلیقه ای گزینه ها، فرآیند گزینش بر اساس منطق محاسباتی و معیارهای کمی انجام می گیرد. بدین ترتیب، تصمیم نهایی پژوهشگر از پشتوانه عددی و تحلیلی برخوردار می شود.

خروجی این بخش در پژوهش حاضر، انتخاب **۵۰ سناریوی برتر** از میان مجموعه اولیه بوده است که سپس برای تحلیل نهایی مورد استفاده قرار گرفته اند. از میان این گزینه ها نیز نمونه ای که بهترین نسبت میان افزایش نور مفید و کنترل خیرگی داشته، به عنوان گزینه برتر معرفی شده است. این ساختار بهینه سازی نشان می دهد که فایل گرسهپار تنها تولیدکننده فرم نیست، بلکه نقش فعالی در **تصمیم سازی طراحی** ایفا می کند.

جدول ۴-۱۴. اجزای اصلی بخش بهینه سازی در فایل Grasshopper

ردیف	مؤلفه	نقش
۱	متغیرهای طراحی	ژن های تصمیم گیری
۲	تابع هدف اول	بیشینه سازی UDI-Desirable
۳	تابع هدف دوم	کمینه سازی DGP
۴	جمعیت اولیه	مجموعه گزینه های آغازین
۵	ارزیابی نسل ها	سنجش عملکرد هر پاسخ
۶	انتخاب نهایی	استخراج سناریوهای برتر

این جدول ساختار مفهومی بهینه‌سازی در فایل گرسه‌پا را خلاصه می‌کند. مشاهده می‌شود که الگوریتم ژنتیک در این پژوهش به‌عنوان یک ابزار پشتیبان تصمیم عمل کرده و انتخاب گزینه‌های بهینه را از سطح قضاوت شخصی به سطح ارزیابی کمی ارتقا داده است.



شکل ۴-۱۲. ساختار عملکرد الگوریتم ژنتیک در انتخاب گزینه‌های برتر پوستر

این شکل بهتر است روند تولید جمعیت اولیه، ارزیابی عملکرد، انتخاب، ترکیب و رسیدن به پاسخ‌های برتر را نمایش دهد. چنین تصویری به خواننده کمک می‌کند سازوکار انتخاب گزینه نهایی را درک کرده و جایگاه الگوریتم ژنتیک را در پژوهش بشناسد.

۸. خروجی‌های فایل Grasshopper و نحوه ارائه نتایج

خروجی‌های فایل گرسه‌پا در این پژوهش را می‌توان در سه دسته کلی طبقه‌بندی کرد: خروجی‌های هندسی، خروجی‌های تحلیلی و خروجی‌های تصمیم‌گیری. خروجی‌های هندسی شامل مدل‌های دوبعدی و سه‌بعدی پوستر در حالت‌های مختلف هستند که برای مشاهده اثر تغییر پارامترها بر شکل نما مورد استفاده قرار می‌گیرند. این بخش بیشتر ماهیت بصری و طراحی دارد و به پژوهشگر کمک می‌کند تا تفاوت سناریوها را از منظر کالبدی درک کند.

دسته دوم، خروجی‌های تحلیلی هستند که مهم‌ترین بخش نتایج پژوهش را تشکیل می‌دهند. این خروجی‌ها شامل شاخص‌های کمی نظیر UDI-Desirable، UDI-Low، UDI-High، DGP و sUDI برای هر سناریو هستند. نتایج معمولاً در قالب جدول

عددی، نمودارهای مقایسه‌ای، نقشه‌های حرارتی یا رنگ‌گذاری نقاط تحلیل ارائه می‌شوند. این خروجی‌ها امکان تحلیل دقیق عملکرد هر گزینه را فراهم می‌سازند.

دسته سوم، خروجی‌های تصمیم‌گیری هستند که در مرحله بهینه‌سازی اهمیت پیدا می‌کنند. این خروجی‌ها شامل رتبه‌بندی گزینه‌ها، تعیین ناحیه پاسخ‌های مطلوب، معرفی گزینه‌های برتر و استخراج مقادیر بهینه پارامترها هستند. در واقع، فایل گرسهاپر در این مرحله از یک ابزار تحلیل فراتر رفته و به ابزاری برای هدایت انتخاب طراحی تبدیل می‌شود.

جدول ۴-۱۵. انواع خروجی‌های فایل Grasshopper در پژوهش

ردیف	نوع خروجی	نمونه	کاربرد
۱	خروجی هندسی	مدل پوسته، بازشوها، سایبان‌ها	مشاهده و مقایسه فرمی
۲	خروجی عددی	مقادیر sUDI, DGP, UDI	تحلیل عملکرد
۳	خروجی گرافیکی	نمودار، نقشه حرارتی، رنگ‌گذاری	تفسیر بصری نتایج
۴	خروجی بهینه‌سازی	گزینه‌های برتر و مقادیر بهینه	تصمیم‌گیری طراحی

این جدول نشان می‌دهد که فایل گرسهاپر تنها یک نوع خروجی تولید نمی‌کند، بلکه به‌صورت هم‌زمان ابزار نمایش هندسه، تحلیل عملکرد و تصمیم‌گیری را فراهم می‌سازد. چنین تنوعی در خروجی‌ها، ارزش روش پارامتریک را در پژوهش‌های معماری دوچندان می‌کند.



شکل ۴-۱۳. نمونه خروجی‌های هندسی، عددی و گرافیکی فایل Grasshopper

این شکل می‌تواند مجموعه‌ای ترکیبی از نمای پارامتریک پوسته، نمودارهای عملکرد و نقشه‌های تحلیلی را نشان دهد. هدف از آن، ارائه یک دید جامع از نوع خروجی‌هایی است که فایل گرسهپر در اختیار پژوهشگر قرار می‌دهد.

۹. مزایای استفاده از فایل Grasshopper در این پژوهش

استفاده از فایل گرسهپر در این پژوهش چند مزیت بنیادین داشته است. نخستین مزیت، کاهش زمان تحلیل و افزایش ظرفیت بررسی سناریوها است. در شرایطی که بررسی صدها حالت طراحی با روش دستی تقریباً غیرممکن یا بسیار زمان‌بر است، فایل پارامتریک توانسته است تولید و ارزیابی سناریوها را به‌صورت خودکار و در مدت‌زمان محدود انجام دهد.

مزیت دوم، افزایش شفافیت و ردیابی تصمیمات طراحی است. در این رویکرد، هر نتیجه عملکردی مستقیماً به یک ترکیب مشخص از متغیرها مرتبط است و بنابراین پژوهشگر می‌تواند دقیقاً توضیح دهد که چرا یک گزینه بهتر از گزینه دیگر عمل کرده است. این موضوع، استدلال‌پذیری علمی پایان‌نامه را تقویت می‌کند و از کلی‌گویی یا نتیجه‌گیری‌های شهودی جلوگیری می‌نماید.

مزیت سوم، امکان اتصال مستقیم طراحی به تحلیل و بهینه‌سازی است. برخلاف روش‌های سنتی که در آن طراحی و ارزیابی معمولاً در دو مرحله مجزا انجام می‌شوند، در فایل گرسهپر این دو فرآیند در یک زنجیره واحد به هم پیوسته‌اند. بدین ترتیب، فایل نه‌تنها ابزار ترسیم، بلکه محیطی برای آزمون، مقایسه و انتخاب علمی راه‌حل‌های طراحی محسوب می‌شود.

جدول ۴-۱۶. مزایای اصلی استفاده از فایل Grasshopper در پژوهش

ردیف	مزیت	شرح
۱	تولید خودکار سناریوها	امکان بررسی سریع تعداد زیادی گزینه طراحی
۲	یکپارچگی طراحی و تحلیل	حذف فاصله میان مدل‌سازی و شبیه‌سازی
۳	مستندسازی تصمیمات	قابلیت ردیابی رابطه ورودی‌ها و خروجی‌ها
۴	امکان بهینه‌سازی	انتخاب گزینه‌های برتر بر پایه معیارهای کمی
۵	انعطاف‌پذیری بالا	اصلاح سریع پارامترها بدون بازمدلسازی کامل
۶	دفاع‌پذیری علمی	اتکای نتایج به داده و منطق محاسباتی

این جدول به‌روشنی نشان می‌دهد که استفاده از فایل گرسهپر در این پژوهش تنها یک انتخاب نرم‌افزاری نبوده، بلکه بخشی از منطق روش تحقیق به‌شمار می‌آید. هر یک از مزیت‌های یادشده به‌طور مستقیم در کیفیت تحلیل، سرعت فرآیند و استحکام علمی نتایج اثرگذار بوده است.

۱۰. محدودیت‌های فایل Grasshopper در پژوهش حاضر

با وجود مزایای یادشده، لازم است محدودیت‌های فایل گرسهپر در پژوهش حاضر نیز به صورت شفاف بیان شود تا خوانش علمی و واقع‌بینانه‌ای از نتایج به دست آید. نخستین محدودیت آن است که مدل توسعه‌یافته، عمدتاً بر عملکرد نور روز پوسته جنوبی متمرکز بوده و سایر ابعاد عملکردی ساختمان، مانند مصرف انرژی، رفتار حرارتی، تهویه طبیعی، آکوستیک یا تحلیل سازه‌ای را به‌طور مستقیم در بر نمی‌گیرد. در نتیجه، فایل حاضر باید به‌عنوان یک مدل تخصصی نور روز تلقی شود، نه یک مدل جامع تمام‌عملکردی.

محدودیت دوم به سطح ساده‌سازی هندسی و رفتاری مدل مربوط می‌شود. هرچند هندسه پوسته به صورت پارامتریک تعریف شده است، اما در پژوهش حاضر بسیاری از پیچیدگی‌های اجرایی و جزئیات واقعی ساخت، مانند ضخامت قاب‌ها، جزئیات اتصالات، رفتار مصالح شفاف و نیمه‌شفاف یا تأثیر مبلمان داخلی، در سطح پایه نگه داشته شده‌اند. این ساده‌سازی برای کنترل فرآیند تحلیل ضروری بوده، اما به‌طور طبیعی باعث می‌شود مدل از واقعیت اجرایی فاصله‌ای محدود داشته باشد.

محدودیت سوم نیز به مرزهای زمانی و محاسباتی پژوهش بازمی‌گردد. با وجود آن‌که ۳۶۰ سناریو تولید و ۵۰ گزینه برتر تحلیل شده‌اند، همچنان فضای پاسخ بسیار گسترده‌تر از آن است که به‌طور کامل پوشش داده شود. بنابراین، نتایج بهینه‌سازی باید در چارچوب محدوده تعریف‌شده برای متغیرها تفسیر شوند و نه به‌عنوان پاسخ مطلق برای همه انواع ساختمان‌های مسکونی در همه شرایط.

جدول ۴-۱۷. محدودیت‌های فایل Grasshopper در پژوهش حاضر

ردیف	محدودیت	توضیح
۱	تمرکز بر نور روز	سایر عملکردهای ساختمان مستقیماً تحلیل نشده‌اند
۲	ساده‌سازی هندسه	جزئیات اجرایی و ساختی به‌طور کامل مدل نشده‌اند
۳	محدودیت دامنه متغیرها	نتایج در چارچوب بازه‌های تعریف‌شده معتبرند
۴	تمرکز بر جبهه جنوبی	سایر جهات نما در این مدل بررسی نشده‌اند
۵	عدم ورود رفتار کاربران	تغییرات ناشی از پرده، باز و بسته شدن پنجره و حضور کاربر لحاظ نشده است
۶	محدودیت محاسباتی	همه ترکیب‌های ممکن فضای پاسخ بررسی نشده‌اند

این جدول به صورت شفاف محدوده اعتبار و محدودیت‌های فایل گرسهپر را نشان می‌دهد. ذکر این محدودیت‌ها نه تنها از ارزش پژوهش نمی‌کاهد، بلکه آن را از منظر دانشگاهی دقیق‌تر و معتبرتر می‌سازد؛ زیرا نشان می‌دهد پژوهشگر از حدود مدل خود آگاه بوده و نتایج را با احتیاط علمی تفسیر کرده است.

۱۱. جمع‌بندی نقش فایل Grasshopper در پژوهش

بر اساس آنچه بیان شد، فایل Grasshopper در این پژوهش را می‌توان به‌عنوان چارچوب عملیاتی اصلی مدل‌سازی، شبیه‌سازی و بهینه‌سازی پوسته خارجی ساختمان معرفی کرد. این فایل توانسته است متغیرهای نظری و طراحی پژوهش را به یک سامانه محاسباتی منسجم تبدیل کند؛ سامانه‌ای که در آن هر تغییر هندسی بلافاصله در شاخص‌های عملکردی نور روز بازتاب می‌یابد. این ویژگی، مهم‌ترین وجه تمایز رویکرد پارامتریک نسبت به روش‌های سنتی طراحی در این پژوهش است.

همچنین، فایل گرسهپر بستری را فراهم ساخته است که از طریق آن، ارزیابی تعداد زیادی سناریوی طراحی در زمانی قابل قبول امکان‌پذیر شده و فرآیند یافتن ترکیب‌های بهینه به‌صورت علمی و مستند انجام گرفته است. بنابراین، فایل مورد نظر تنها یک ابزار کمکی برای ترسیم یا مدل‌سازی نبوده، بلکه جزئی از منطق استدلالی و روش تحقیق پایان‌نامه به شمار می‌رود.

در نهایت، می‌توان گفت که ارزش اصلی فایل Grasshopper در این پژوهش، در ایجاد پیوند میان طراحی معماری، تحلیل عملکردی و تصمیم‌گیری بهینه نهفته است. این فایل نشان می‌دهد که چگونه می‌توان مسئله نور روز در ساختمان‌های مسکونی تهران را از سطح توصیفی و تجربی، به سطحی محاسباتی، قابل اندازه‌گیری و قابل بهینه‌سازی ارتقا داد.