

Investigating the Impact of Architectural Variables on the Optimization of Natural Ventilation in Residential Villas Using CFD Simulation (Case Study: Dastek Region, Gilan)

1. Sayed Mamak Salavatian*: Assistant Professor, Department of Architecture, Rasht Branch, Islamic Azad University, Rasht, Iran

2. Sepand Bidarigh: Master's Student, Department of Architecture, Rasht Branch, Islamic Azad University, Rasht, Iran.

*Corresponding Author's Email Address: mamak.salavatian@yahoo.com

How to Cite: Salavatian, S. M., & Bidarigh, S. (2024). Investigating the Impact of Architectural Variables on the Optimization of Natural Ventilation in Residential Villas Using CFD Simulation (Case Study: Dastek Region, Gilan). *Manifestation of Art in Architecture and Urban Engineering*, 2(1), 91-120.

Abstract:

Given the significant contribution of the building sector to global energy consumption—particularly in developing countries like Iran—optimizing natural ventilation has increasingly gained importance as an effective and low-cost solution for reducing energy use and improving indoor air quality. This study aims to analyze the influence of three architectural variables—window-to-wall ratio (WWR), window height, and building orientation relative to prevailing wind—on the performance of natural ventilation in residential buildings. To this end, numerical simulations were conducted using DesignBuilder software and Computational Fluid Dynamics (CFD), and various design scenarios were evaluated across three seasonal climates (spring, summer, autumn, and winter). The findings indicated that increasing the WWR from 40% to 60%, combined with raising the window height to 2 meters, significantly enhances the air ventilation rate (up to 25%) and improves temperature distribution in interior spaces. Moreover, building orientations at angles of 30°, 45°, and +15° relative to the prevailing wind demonstrated the highest effectiveness in increasing pressure differentials and enhancing natural airflow. The results suggest that climate-based smart architectural design can reduce reliance on mechanical ventilation by up to 30%, playing a key role in energy savings, reducing greenhouse gas emissions, and improving the thermal comfort of occupants. This study can serve as both a scientific and practical guide for architects and designers in developing sustainable and energy-efficient buildings.

Keywords: natural ventilation, villa complex, openings, CFD, Gilan.

Received: 29 March 2024

Revised: 25 May 2024

Accepted: 03 June 2024

Published: 13 June 2024



بررسی تأثیر متغیرهای معماری بر بهینه سازی تهویه طبیعی در ویلاهای مسکونی با استفاده از شبیه سازی CFD (مطالعه موردی: منطقه دستک گیلان)

۱. سیده مامک صلواتیان^{1b}: استادیار، گروه معماری، واحد رشت، دانشگاه آزاد اسلامی، رشت، ایران. (نویسنده مسئول)

۲. سپند بیدریغ^{2b}: دانشجوی کارشناسی ارشد، گروه معماری، واحد رشت، دانشگاه آزاد اسلامی، رشت، ایران

*پست الکترونیک نویسنده مسئول: mamak.salavatian@yahoo.com

نحوه استناددهی: صلواتیان، سیده مامک، و بیدریغ، سپند. (۱۴۰۳). بررسی تأثیر متغیرهای معماری بر بهینه سازی تهویه طبیعی در ویلاهای مسکونی با استفاده از شبیه سازی CFD (مطالعه موردی: منطقه دستک گیلان). تجلی هنر در معماری و شهرسازی، ۱۲۰-۹۱.

چکیده

با توجه به سهم قابل توجه بخش ساختمان در مصرف انرژی جهانی، به ویژه در کشورهای در حال توسعه مانند ایران، بهینه سازی تهویه طبیعی به عنوان یک راهکار مؤثر و کم هزینه برای کاهش مصرف انرژی و بهبود کیفیت هوای داخلی اهمیت فزاینده ای یافته است. این پژوهش با هدف تحلیل تأثیر سه متغیر معماری شامل نسبت پنجره به دیوار (WWR)، ارتفاع پنجره و جهت گیری ساختمان نسبت به باد غالب، به بررسی عملکرد تهویه طبیعی در ساختمان های مسکونی می پردازد. در این راستا، از شبیه سازی های عددی در نرم افزارهای DesignBuilder و دینامیک سیالات محاسباتی (CFD) استفاده شده و سناریوهای مختلف طراحی در سه اقلیم فصلی (بهار، تابستان، پاییز و زمستان) مورد ارزیابی قرار گرفته اند. یافته های پژوهش نشان داد که افزایش WWR از ۴۰٪ به ۶۰٪ همراه با افزایش ارتفاع پنجره تا ۲ متر، موجب افزایش قابل توجه نرخ تهویه هوا (تا ۲۵٪) و بهبود توزیع دما در فضاهای داخلی می شود. همچنین، جهت گیری ساختمان در زوایای ۳۰ و ۴۵ و +۱۵ درجه نسبت به باد غالب بیشترین اثربخشی را در افزایش اختلاف فشار و بهبود جریان طبیعی هوا داشته است. نتایج حاکی از آن است که طراحی معماری هوشمند مبتنی بر اقلیم می تواند وابستگی به تهویه مکانیکی را تا ۳۰٪ کاهش دهد و نقش مهمی در صرفه جویی انرژی، کاهش گازهای گلخانه ای و ارتقاء آسایش حرارتی ساکنان ایفا کند. این تحقیق می تواند به عنوان راهنمایی علمی و عملی برای معماران و طراحان در مسیر توسعه ساختمان های پایدار و کم مصرف به کار رود.

کلیدواژگان: تهویه طبیعی، شهرک ویلایی، بازشو، CFD، گیلان

تاریخ دریافت: ۱۰ فروردین ۱۴۰۳

تاریخ بازنگری: ۵ خرداد ۱۴۰۳

تاریخ پذیرش: ۱۴ خرداد ۱۴۰۳

تاریخ انتشار: ۲۴ خرداد ۱۴۰۳



مقدمه

تغییرات اقلیمی و تاثیر آن بر مصرف انرژی، یکی از چالش‌های مهم جهان امروز است (عسگری و جهانگیری، ۱۴۰۰). طبق آمار وزارت انرژی ایالات متحده، حدود ۴۰ درصد از مصرف انرژی و انتشار گازهای گلخانه‌ای (GHG) به ساختمان‌ها اختصاص دارد (وزارت انرژی ایالات متحده، ۲۰۲۳) که بخش عمده‌ای از آن مربوط به گرمایش، تهویه مطبوع و روشنایی است.

در چنین شرایطی، استفاده از انرژی‌های پاک و تجدیدپذیر و بهره‌وری در مصرف انرژی، از جمله در بخش ساختمان، اهمیت فراوانی یافته است (1). تهویه طبیعی به عنوان یک سیستم غیرفعال، نقش مهمی در کاهش مصرف انرژی و بهبود کیفیت هوای داخلی دارد (2). این نوع تهویه، بدون استفاده از سوخت‌های فسیلی، می‌تواند میزان انتشار گازهای گلخانه‌ای را کاهش دهد و آسایش حرارتی کاربران را تضمین کند (Bouyer, ۲۰۱۱).

عملکرد تهویه طبیعی ساختمان‌ها به ترکیبی از عوامل داخلی و خارجی بستگی دارد (3). طراحی معماری، محل و ابعاد بازشوها، نوع مصالح، ارتفاع، تراس و سایبان‌ها از عوامل مهم تأثیرگذار هستند (4). تحقیقات مختلف نشان داده‌اند که بازشوها، به‌ویژه ابعاد، موقعیت و نوع عملکرد آن‌ها، نقش کلیدی در بهبود کیفیت تهویه و کاهش مصرف انرژی ایفا می‌کنند (5).

با توجه به توسعه روزافزون شهرک‌های ویلایی در مناطق مختلف گیلان، به‌ویژه مناطق ساحلی، و اهمیت بالای تهویه هوا برای آسایش ساکنان، این پژوهش به بررسی و طراحی بهینه بازشوها و جهت‌گیری ساختمان‌ها با الهام از اصول معماری سنتی و بومی می‌پردازد. هدف اصلی، افزایش کیفیت تهویه طبیعی، کاهش مصرف انرژی و به تبع آن، کاهش انتشار آلاینده‌ها و صدمات زیست‌محیطی است.

پیشینه پژوهش

برای درک بهتر موضوع پژوهش و بررسی جایگاه آن در میان مطالعات پیشین، لازم است که ابتدا به مرور و تحلیل تحقیقات و منابع مرتبط پرداخته شود. بخش پیشینه پژوهش با هدف شناسایی خلأهای موجود، تبیین مفاهیم کلیدی و ارائه چارچوب نظری مناسب، نقشی اساسی در روند پژوهش ایفا می‌کند. در ادامه، به بررسی مهم‌ترین پژوهش‌ها، نظریه‌ها و یافته‌های مرتبط پرداخته خواهد شد تا زمینه‌ای محکم برای انجام این مطالعه فراهم گردد.

جدول ۱- پیشینه برخی از مطالعات انجام شده در این پژوهش

ردیف	محقق	سال انتشار	نام تحقیق	نتایج
۱	جوئل و همکاران (مقاله)	۲۰۲۰	تأثیر نسبت پنجره به دیوار بر مصرف انرژی یک ساختمان اداری در منطقه آب و هوایی موسمی نیمه گرمسیری بنگلادش	برای یافتن درصد مطلوب شاخص نسبت بازشو به سطح نما، تاثیر درصدهای متفاوت آن بر مصرف انرژی هر ساختمان اداری با تهویه مطبوع بررسی شد. در نهایت ۳۰ تا ۴۰ درصد بازشو به سطح نما با توجه به آسایش حرارتی، مصرف بهینه انرژی و راحتی بصری پیشنهاد داده شد.
۲	Seungkeun Yeom, et al, (مقاله)	۲۰۲۰	تعیین اندازه پنجره بهینه ساختمان‌های اداری با توجه به عملکرد کاری کارکنان و مصرف انرژی ساختمان	افزایش نسبت سطح پنجره به دیوار موجب افزایش عملکرد کاری کارکنان می‌شود. اندازه مناسب پنجره برای نمای ساختمان WWR مناسب برای ساختمان اداری ۴۴.۴۷ درصد می‌باشد.

۳	رهسپار منفرد و عظمتی (مقاله)	۱۴۰۰	تحلیل رفتار باد در تهویه طبیعی و کاهش مصرف انرژی در بنا ی مسکونی مبتنی بر معماری بومی مورد مطالعاتی: تأثیر ابعاد و جانمایی باز شو بر تهویه طبیعی در شهر آمل	تأثیر ابعاد باز شو در بهبود تهویه طبیعی ساختمان در اقلیم معتدل و مرطوب و در نتیجه درحالتی که یک سوم پنجره ها بسته و دو سوم باز شو در نظر گرفته شود، به دلیل جانمایی درست ساختمان و پنجره ها، کمترین میزان بار سرمایشی و گرمایشی معادل ۷۲۹۸.۹۳ kWh را می باشد که این موضوع نشان دهنده تأثیر تهویه طبیعی بر کاهش مصرف انرژی می باشد.
۴	سعادت جو و همکاران (مقاله)	۱۳۹۸	تأثیر نسبت حیاط بر راندمان تهویه طبیعی در چند ساختمان دو طبقه در ایران	تناسبات نورخان باعث افزایش شدید سرعت جریان هوای محیط داخلی خواهد شد.
۵	Guohuif eng و همکاران (مقاله)	۲۰۱۷	بررسی تأثیر نسبت دیوار به پنجره بر مصرف انرژی ساختمان های صفر انرژی	شبیه سازی در این پژوهش با نرم افزار دیزاین بیلدر و موتور شبیه سازی انرژی پالس انجام شده که نسبت سطح پنجره به دیوار در جبهه های مختلف تجزیه و تحلیل شده است. در انتها نتایج بیانگر آن بود که بیشترین تأثیر WWR در جبهه شمالی ۲۲/۵ درصد رخ داده که باید کاهش یابد.
۶	میتور و همکاران (مقاله)	۲۰۲۱	تهویه باد در نماهای دو پوسته با باز شوهای عمودی؛ تأثیر شکل باز شوها	هنگامی که زاویه وزش باد نسبت به ساختمان بین ۰ تا ۳۰ درجه است، نسبت مساحت باز شوهای پوسته بیرونی به درونی، عامل بسیار مهمی در تهویه و افزایش کیفیت آن می باشد.
۷	Yoon و همکاران (مقاله)	۲۰۲۰	بهینه سازی موقعیت های پنجره برای عملکرد تهویه طبیعی بر پایه باد	اثربخشی تهویه طبیعی از طریق تعیین موقعیت و جانمایی پنجره بهینه سازی شده

مبانی نظری

تبیین متغیرها

۱- عناصر اقلیمی تأثیرگذار تهویه طبیعی در معماری

برای شکل گیری آسایش انسان نتیجه تأثیر متقابل عناصر اقلیمی چون تابش خورشیدی، دما، رطوبت، باد و میزان بارندگی است که دما و رطوبت تأثیر بیشتری در سلامت و راحتی انسان دارند به این دلیل بیشتر مدل های سنجش آسایش انسان بر این دو عنصر استوار شده است (محمدی و امیدوار، ۱۳۹۸). در بخش زیر توضیحات نسبتاً کوتاهی در مورد هر یک از این عناصر داده می شود.

۲- تابش خورشیدی

کره زمین تمام انرژی طبیعی خود را به طور مستقیم و غیر مستقیم از خورشید دریافت می کند این امر به طرق فرآیندهای مختلف انجام می شود. انرژی تابشی گستره ای از طول موج ها امی باشد که به نام طیف خورشیدی معروف است. در این طیف وسیع بلندترین امواج (امواج رادیویی) حدود برابر امواج کوتاه (اشعه گاما) می باشد. ولی حداکثر انرژی و مقدار زیادی از کل انرژی تابشی در محدوده کم عرض قسمت مرئی واقع است (جعفرپور، ۱۳۹۱). در فرآیند گرم شدن اتمسفر عواملی چون تشعشع زمینی، انتقال آشفته، گرمای نهان و پدیده گلخانه نقش مهمی دارند.

۳- درجه حرارت

درجه حرارت یا دما عبارت است از اندازه‌گیری گرمایی که در خاک و هوا قابل سنجش می‌باشد و تمام ارگانیسم‌ها به طور مستقیم از این دما متأثرند. مطالعه در مورد بیان انرژی نشان می‌دهد که دما در نتیجه تغییرات انرژی تابشی تغییر می‌کند (6).

۴- رطوبت هوا

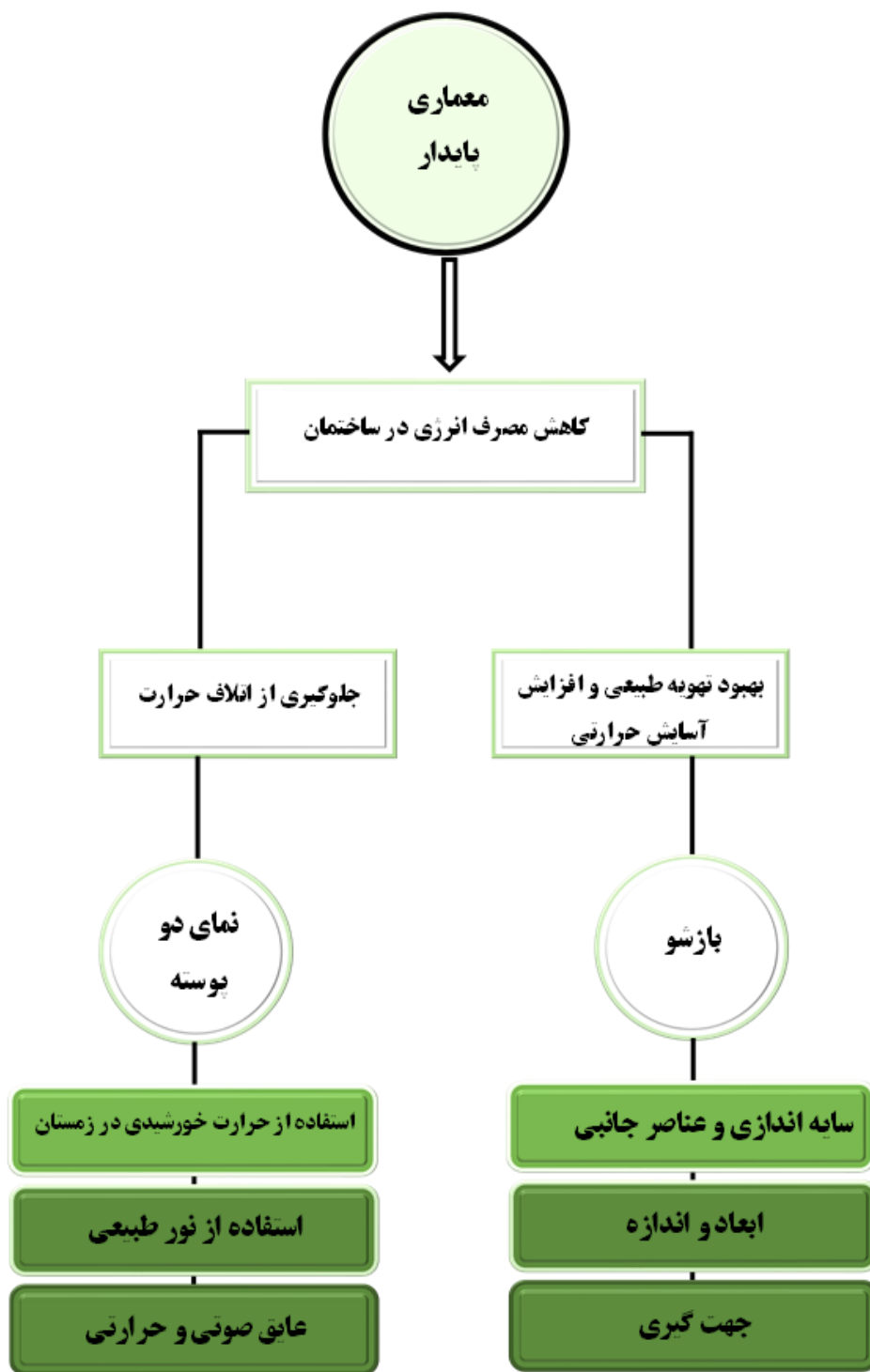
منظور از رطوبت هوا مقدار آبی است که به صورت بخار در هوا وجود دارد. بخار آب از طریق تبخیر از سطح اقیانوس‌ها و دریاها و سطوح مرطوبی چون گیاهان وارد هوا می‌شود و به وسیله جریان هوا و باد به نقاط دیگر منتقل می‌شود. هرچه هوا گرم‌تر باشد بخار آب بیشتری را در خود نگه می‌دارد. مقدار رطوبت هوا را به روش‌های مختلفی چون رطوبت مطلق، رطوبت مخصوص، فشار بخار و رطوبت نسبی می‌توان اندازه‌گیری و بیان کرد (کسمائی و احمدی نژاد، ۱۳۹۲).

۵- عنصر باد

سیستم‌های فشار در اتمسفر مناطق وسیعی را در بر می‌گیرند از این سیستم‌ها پرفشار ر آنتی سیکلون و کم فشار را سیکلون می‌گویند باد جریان هوایی است که از مراکز فشار زیاد به طرف مراکز کم فشار و در جهت شیب فشار بحرکت در می‌آید هر قدر شیب فشار (تفاوت فشار) بین دو نقطه بیشتر باشد جریان هوا نیز بیشتر خواهد بود تفاوت فشار در دو نقطه را گرادیان فشار یا شیب بارومتريک می‌گویند (6).

سیستم‌های باد: به طور کلی در هر نیمکره زمین سه سیستم کلی باد وجود دارد. علاوه بر این بادهای دیگری نیز وجود دارند که یکی بادهای محلی است که در مناطق کوهستانی و دره‌ها جریان دارد همچنین نسیم شب و روز که در سواحل دریا می‌وزد از این قبیل اند (7).

چارچوب محتوایی (رابطه بین متغیرهای تحقیق)



شکل ۱- چارچوب محتوایی

این پژوهش با هدف بهینه‌سازی تهویه طبیعی در مجموعه‌های اقامتی ویلایی و ارتقای آسایش حرارتی ساکنان، از رویکردی توصیفی-تحلیلی بهره می‌گیرد. روش تحقیق شامل سه مرحله اصلی است: مرور ادبیات موضوع، تعریف متغیرها و سناریوهای طراحی، و شبیه‌سازی و تحلیل داده‌ها. در مرحله نخست، به منظور شناسایی پیشینه‌های علمی و نظری مرتبط با تهویه طبیعی و طراحی بازشوها، از منابع کتابخانه‌ای شامل کتب، مقالات علمی، پایان‌نامه‌ها و منابع اینترنتی معتبر استفاده شده است. این مرحله به بررسی یافته‌های پژوهشگران پیشین و استخراج متغیرهای کلیدی پژوهش اختصاص دارد. در مرحله دوم، متغیرهای موثر بر تهویه طبیعی مانند ابعاد و موقعیت بازشوها، جهت‌گیری ساختمان و نسبت پنجره به دیوار (WWR) تعیین شده و سناریوهای مختلف طراحی بر این اساس تدوین گردید. سه تیپ ویلایی با مترای مختلف به‌عنوان نمونه‌های تحقیق انتخاب شد که تیپ A با مساحت ۳۵۰ مترمربع به‌عنوان مدل اصلی مورد تحلیل قرار گرفت. سناریوهای طراحی شامل تغییرات ابعاد، موقعیت و ارتفاع پنجره‌ها و نسبت WWR است که به صورت خلاصه در جدول (۱-۳) ارائه شده‌اند. در مرحله سوم، برای تحلیل تاثیر متغیرها و سناریوهای طراحی بر تهویه طبیعی و مصرف انرژی، از نرم‌افزار DesignBuilder همراه با ماژول CFD استفاده شده است. این نرم‌افزار امکان شبیه‌سازی انرژی و تهویه طبیعی ساختمان‌ها را فراهم می‌سازد و به کمک آن می‌توان تاثیر تغییرات طراحی بر جریان هوا و کیفیت تهویه را به‌طور دقیق ارزیابی کرد.

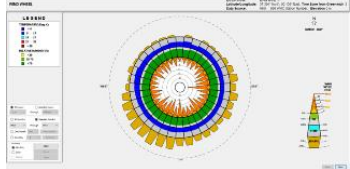
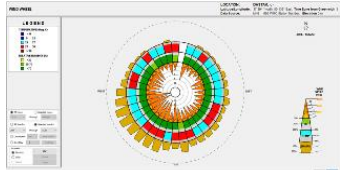
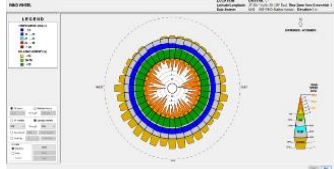
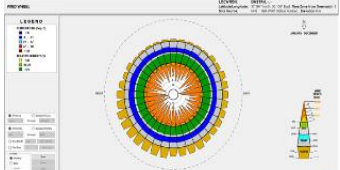
جدول ۲- سناریوهای مورد بررسی در این پژوهش

ردیف	نسبت پنجره به دیوار (WWR)	در ارتفاع (متر)	با زاویه جهت گیری بنا
۱	٪۴۰	$2 - 1/2 - 0/6$	-
۲	٪۶۰	$2 - 1/2 - 0/6$	-
۳	٪۶۰	$2 - 1/2 - 0/6$	۱۵، ۳۰ و ۴۵ درجه

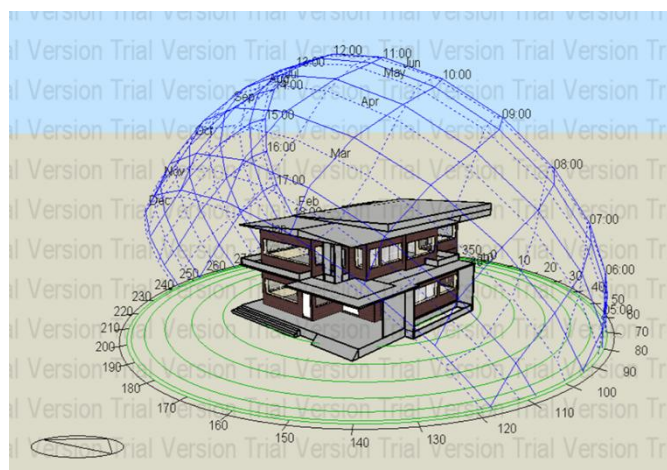
یافته‌ها

در این بخش ابتدا جهت و سرعت باد در یک روز و یک ساعت مشخص به طور مثال (۷ ژوئن ساعت ۱۶) در نظر گرفته می‌شود و سپس مدل مورد نظر (تیپ ۳۵۰ متری) در محیط نرم افزار دیزاین بیلدر مدلسازی خواهد شد و بعد از آن مدل مورد بررسی را در Domain قرار داده و اطلاعات مربوط به سرعت و جهت باد غالب وارد شده و در ادامه به بررسی جریان هوای داخلی بنای مورد نظر پرداخته می‌شود. بنای مورد بررسی کشیدگی شمالی جنوبی دارد و همانطور که در نمودارهای گلباد دیده می‌شود، باد جنوبی و جنوب غربی فراوانی بیشتری دارند. در ادامه به بررسی وضعیت وزش و دمای باد در فصول مختلف اشاره خواهد شد. باد جنوب غربی باد با حداکثر سرعت ۱۰ متر بر ثانیه و میانگین ۲ متر بر ثانیه و دمای آن بین ۲۱ تا ۲۰ درجه سانتیگراد است و محدوده رطوبت نسبی باد جنوب غربی بیش از ۷۰ درصد است. این باد دارای ویژگی‌هایی است که خارج از منطقه آسایش انسان می‌باشد. اما نباید فراموش کرد که این تحلیل بر اساس خروجی‌های سالانه است و وضعیت باد ممکن است در برخی از اوقات سال مناسب باشد و برای اطمینان از این موضوع، گلباد هر فصل به صورت جداگانه بررسی می‌شود تا بهترین تصمیم ممکن در مورد آن گرفته شود.

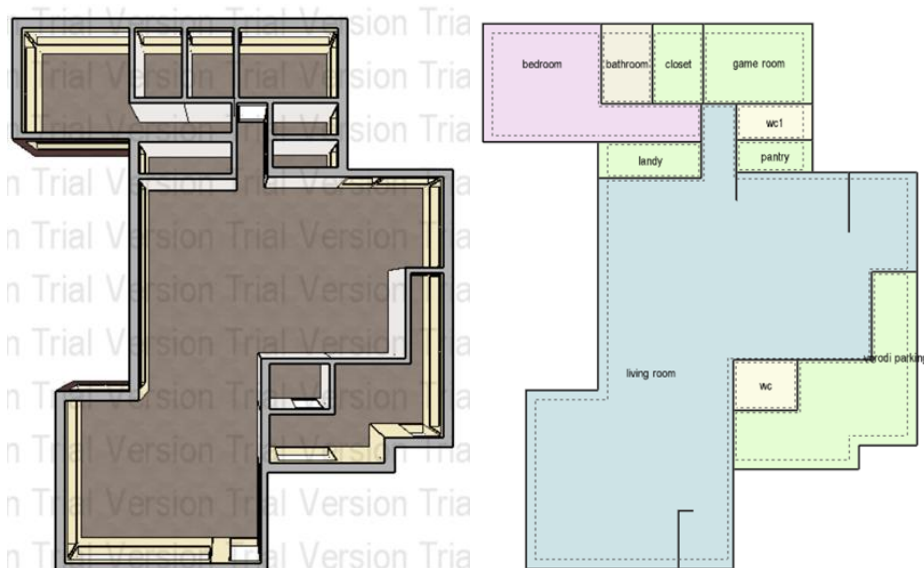
جدول ۳- بررسی باد در فصل های گوناگون

فصل	نمودار (Climate consultant)	میانگین سرعت باد (M/S)	جهت وزش باد	رطوبت نسبی (%)	دما (C)
بهار		۲	جنوب غربی	بیش از ۷۰	۲۱-۰
تابستان		۲	جنوب غربی	بیش از ۷۰	۳۸-۲۷
پاییز		۲	ربع جنوب تا غرب	بیش از ۷۰	۲۱-۰
زمستان		۲	ربع جنوب تا غرب	بیش از ۷۰	۲۱-۰

مدل سازی بنا در نرم افزار دیزاین بیلدر



شکل ۲- نمایش ساختمان مدل سازی شده در نرم افزار دیزاین بیلدر



شکل ۳- جزئیات داخلی و پارتیشن بندی در پلان طبقه همکف در نرم افزار دیزاین بیلدر

زون بندی طبقات پلان



شکل ۴- جزئیات داخلی و پارتیشن بندی در پلان طبقه اول در نرم افزار دیزاین بیلدر (نویسندگان)

سناریوهای تحقیق

این تحقیق با هدف افزایش تهویه طبیعی داخلی (Internal CFD) در مجموعه اقامتی - ویلایی انجام شده است. برای رسیدن به این هدف، چند سناریو به

صورت دنباله رو برای این تحقیق در نظر گرفته شده است که هر کدام به شرح ذیل می باشند:

۱- نسبت پنجره به دیوار $(\text{window to wall ratio}) = 40\%$ در ارتفاع پنجره های متفاوت $0.6 - 1.2 - 2$ متر

۲- افزایش نسبت پنجره به دیوار $(\text{window to wall ratio}) = 60\%$ در ارتفاع پنجره‌های متفاوت $0.6 - 1.2$ و ۲ متر

۳- تعیین زاویه و جهت گیری بنا در زوایای $15-30-45$ درجه نسبت به غرب.

لازم به ذکر است که تمامی این سناریوها به همراه استراتژی‌های مربوطه به صورت همزمان در نرم افزار دیزاین بیلدر مورد ارزیابی قرار گرفته اند.

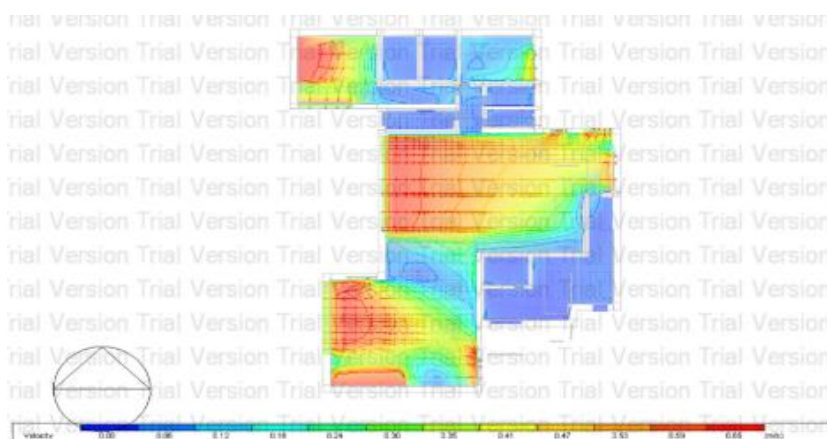
سناریو ۱: نسبت پنجره به دیوار $(\text{window to wall ratio}) = 40\%$

در این حالت (40%) نسبت پنجره به دیوار در سه ارتفاع مختلف بررسی خواهد شد.

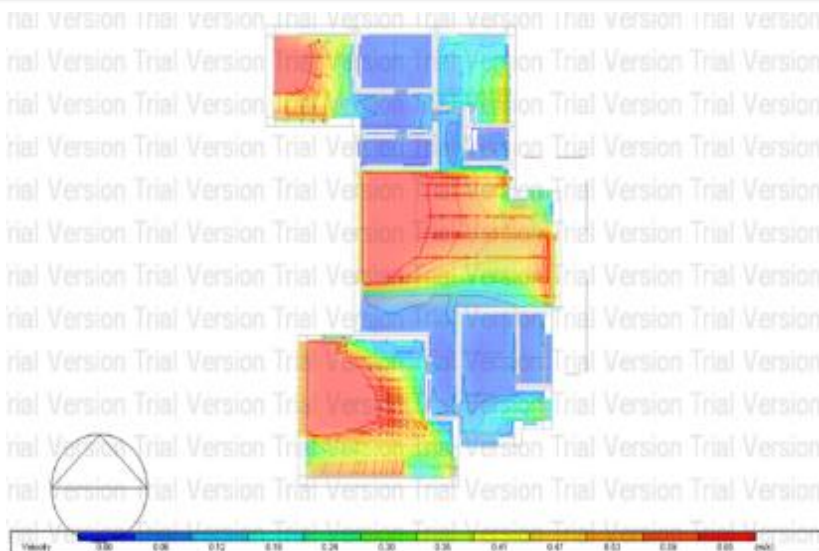
الف) ارتفاع پنجره ۰.۶ متر

Analysis	Summary	Parametric	Optimization + UA/SA	Data Visualisation
Date/Time	Glazing (k/w)	Internal Natural Vent. (k/w)	External Vent. (k/w)	Mech Vent + Nat Vent + Infiltration
6/6/2002 24:00	-1.020276	-0.047417	-9.879021	28.7371
6/7/2002 01:00	-1.040626	-0.072891	-10.62563	28.33546
6/7/2002 02:00	-1.044616	-0.084156	-11.28532	27.96218
6/7/2002 03:00	-1.015552	-0.060586	-11.48229	30.9438
6/7/2002 04:00	-0.98956	-0.063695	-11.09688	31.82259
6/7/2002 05:00	-0.969607	-0.100172	-10.22981	27.82404
6/7/2002 06:00	-0.294378	-0.080239	-12.52468	27.47965
6/7/2002 07:00	0.94102	-0.09047	-11.44407	27.4969
6/7/2002 08:00	1.125032	-0.048248	-8.57072	25.2178
6/7/2002 09:00	1.094769	-0.026757	-6.135934	24.19186
6/7/2002 10:00	0.906994	-0.011914	-4.085334	21.94991
6/7/2002 11:00	0.688878	-0.018146	-2.479589	30.34148
6/7/2002 12:00	0.781286	-0.013485	-1.638105	39.69521
6/7/2002 13:00	0.77624	-0.015176	-1.167026	42.40909
6/7/2002 14:00	0.80474	-0.020954	-1.034517	62.08968
6/7/2002 15:00	0.973612	-0.013648	-1.477189	72.96367
6/7/2002 16:00	1.250212	-0.005119	-3.01470	101.0293
6/7/2002 17:00	1.016762	-0.052576	-4.821229	89.68391
6/7/2002 18:00	0.54995	-0.007619	-6.236511	84.31648
6/7/2002 19:00	0.227152	-0.050089	-6.42484	55.96917
6/7/2002 20:00	0.899146	-0.02877	-6.666487	46.96611
6/7/2002 21:00	0.962641	-0.010315	-7.756217	43.63404
6/7/2002 22:00	-1.016861	-0.007035	-8.572621	31.8077
6/7/2002 23:00	-1.098831	0.000871	-9.749733	29.45885
6/7/2002 24:00	-1.159522	-0.067342	-12.05845	30.17166
6/8/2002 01:00	-1.176461	-0.070132	-12.73556	30.12226
6/8/2002 02:00	-1.203435	-0.094559	-13.307	29.34937
6/8/2002 03:00	-1.18771	-0.101253	-13.38427	29.62728
6/8/2002 04:00	-1.141732	-0.074754	-13.07681	30.62926
6/8/2002 05:00	-1.084063	-0.104775	-11.99849	28.56419
6/8/2002 06:00	0.192814	-0.098067	-12.38589	27.89742
6/8/2002 07:00	0.703133	-0.098125	-12.07934	28.00393
6/8/2002 08:00	0.939835	-0.088765	-12.78386	27.12936

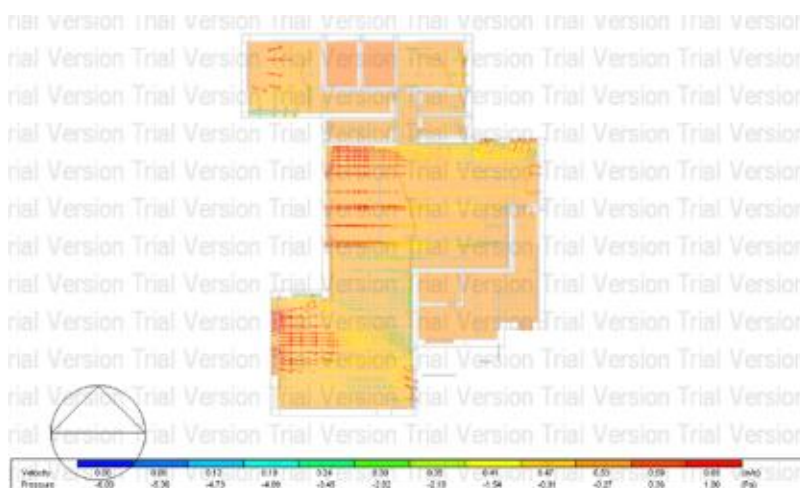
شکل ۵- نرخ تهویه هوا در فضاهای داخلی با ارتفاع پنجره ۰.۶ متر



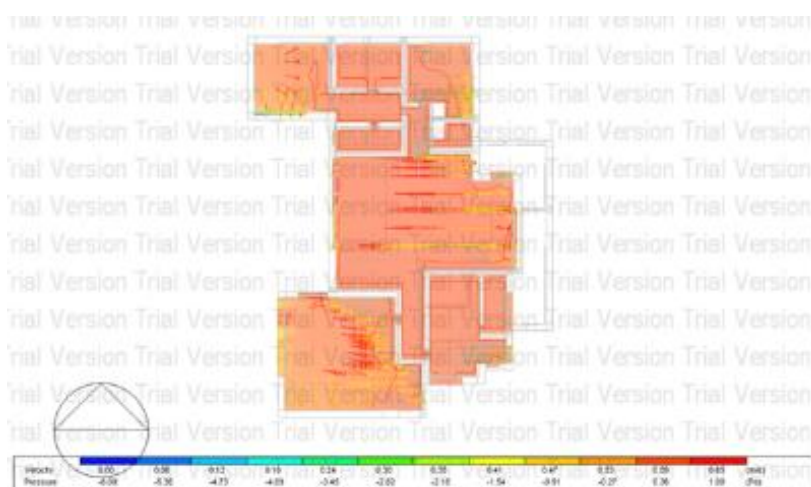
شکل ۶- بررسی سرعت باد طبقه همکف



شکل ۷- بررسی سرعت باد طبقه اول



شکل ۸- بررسی فشار باد طبقه همکف

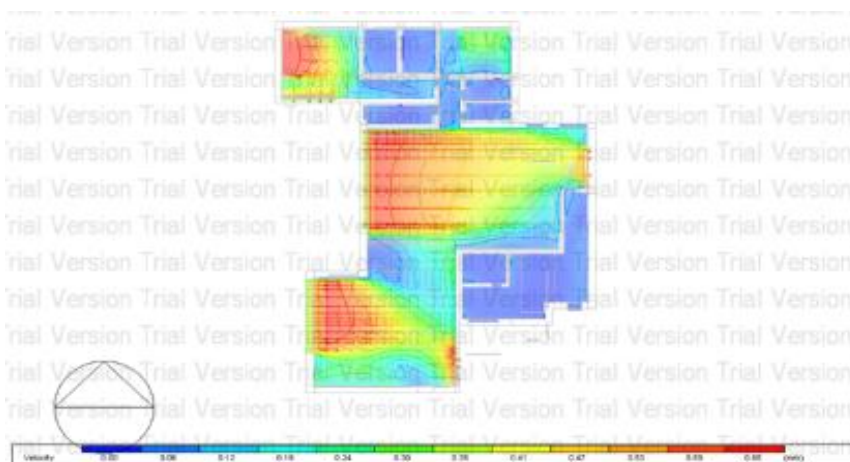


شکل ۹- بررسی فشار باد طبقه اول

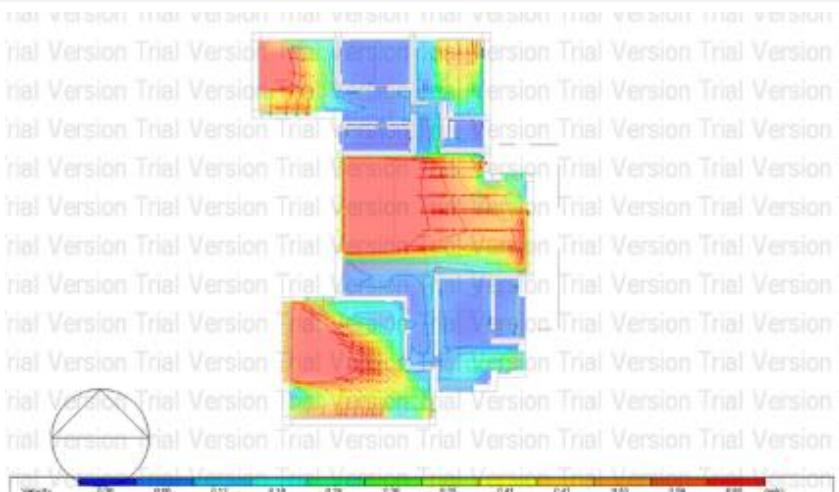
ب) نسبت پنجره به دیوار ۴۰٪ در ارتفاع ۱.۲ متر

Analysis	Summary	Parametric	Optimisation + UA/SA	Data Visualisation
Date/Time	Glazing (k/W)	Internal Natural vent. (k/W)	External Vent. (k/W)	Mech Vent + Nat Vent + Infiltrat.
6/6/2002 23:00	-0.955516	0.031831	-8.618641	27.36317
6/6/2002 24:00	-1.020276	-0.047417	-9.879021	28.7371
6/7/2002 01:00	-1.040626	-0.072691	-10.62563	28.33546
6/7/2002 02:00	-1.044616	-0.084156	-11.28532	27.96218
6/7/2002 03:00	-1.015552	-0.060586	-11.48229	30.9490
6/7/2002 04:00	-0.98956	-0.063695	-11.09688	31.82259
6/7/2002 05:00	-0.969807	-0.100172	-10.22901	27.82404
6/7/2002 06:00	0.204378	-0.098239	-12.62468	27.47965
6/7/2002 07:00	0.84102	-0.09047	-11.44407	27.4968
6/7/2002 08:00	1.125032	-0.048248	-8.57072	25.2178
6/7/2002 09:00	1.094769	-0.026757	-6.135934	24.19186
6/7/2002 10:00	0.906994	-0.011914	-4.085334	21.94991
6/7/2002 11:00	0.698878	-0.018146	-2.479658	30.34148
6/7/2002 12:00	0.781286	-0.013485	-1.638105	39.69521
6/7/2002 13:00	0.77624	-0.015176	-1.167026	42.40909
6/7/2002 14:00	0.80474	-0.020954	-1.034517	62.08968
6/7/2002 15:00	0.972612	-0.013548	-1.477189	72.96367
6/7/2002 16:00	1.268073	-0.004819	-3.074761	101.0793
6/7/2002 17:00	1.016762	-0.052576	-4.821229	89.68391
6/7/2002 18:00	0.54995	-0.007619	-6.236511	84.31648
6/7/2002 19:00	-0.227152	-0.050089	-6.42484	55.96317
6/7/2002 20:00	-0.899146	-0.02877	-6.666487	46.96611
6/7/2002 21:00	-0.962641	-0.010315	-7.756217	43.63404
6/7/2002 22:00	-1.016961	-0.007035	-8.572621	31.8077
6/7/2002 23:00	-1.098831	0.000871	-9.749733	29.45885
6/7/2002 24:00	-1.159922	-0.067342	-12.05845	30.17166
6/8/2002 01:00	-1.176461	-0.070132	-12.73556	30.12226
6/8/2002 02:00	-1.203435	-0.094559	-13.307	29.34937
6/8/2002 03:00	-1.18771	-0.101353	-13.38427	29.62728
6/8/2002 04:00	-1.141792	-0.074754	-13.07681	30.62926
6/8/2002 05:00	-1.084063	-0.104775	-11.99649	28.56419
6/8/2002 06:00	0.192814	-0.090667	-12.38589	27.89742
6/8/2002 07:00	0.703133	-0.098125	-12.07934	28.00393

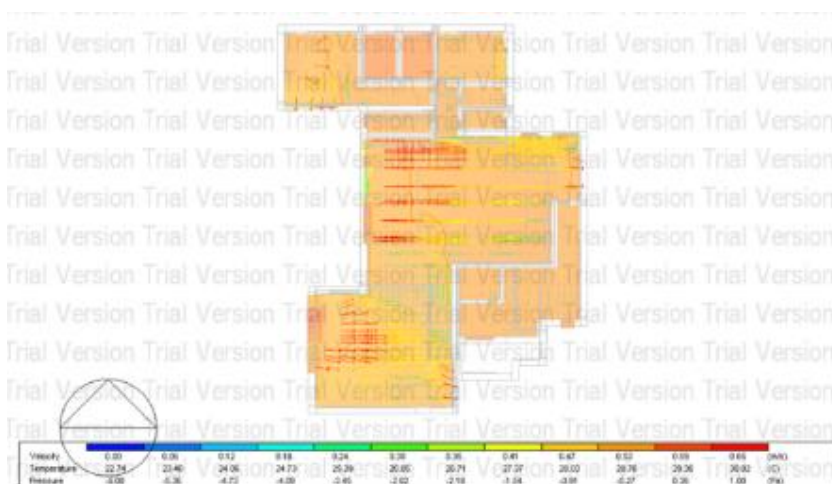
شکل ۱۰- نرخ تهویه هوا در فضاهای داخلی با ارتفاع پنجره ۱.۲ متر



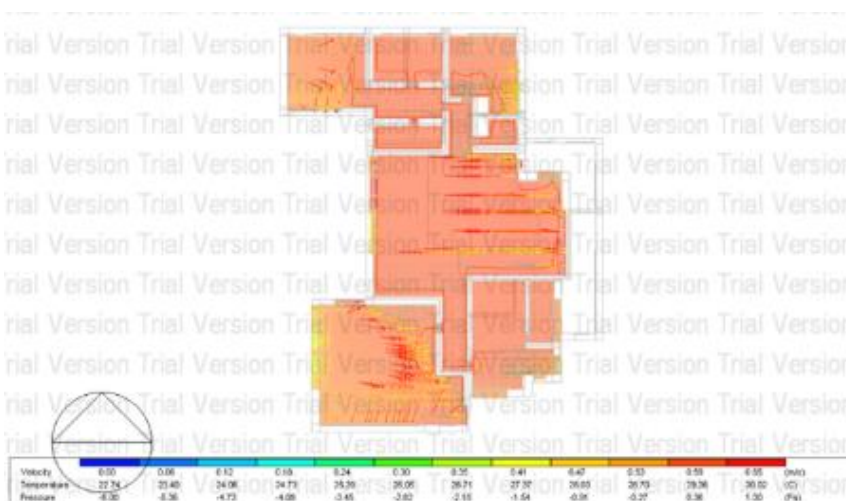
شکل ۱۱- بررسی سرعت باد طبقه همکف



شکل ۱۲- بررسی سرعت باد طبقه اول



شکل ۱۳- بررسی فشار باد طبقه همکف

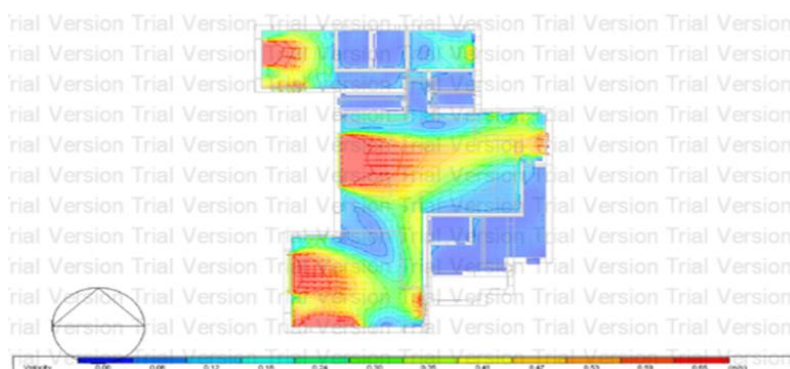


شکل ۱۴- بررسی فشار باد طبقه اول

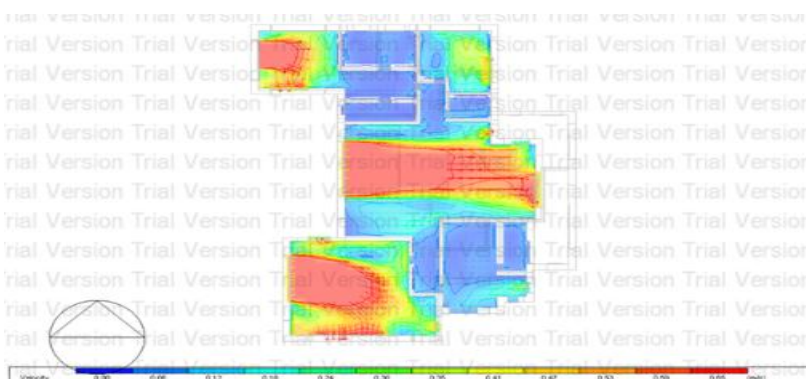
ج) نسبت پنجره به دیوار ۴۰٪ در ارتفاع پنجره ۲ متر

Analysis	Summary	Parametric	Optimisation + UA/SA	Data Visualisation
Date/Time	Glazing (kW)	Internal Natural vent. (kW)	External Vent. (kW)	Mech Vent + Nat Vent + Infiltrati...
6/6/2002 14:00	0.815226	0.004833	-1.465216	57.48941
6/6/2002 15:00	0.864811	0.012061	-2.040452	95.37417
6/6/2002 16:00	0.88918	0.014123	-2.917913	100.5392
6/6/2002 17:00	0.628831	0.056982	-4.104236	93.57893
6/6/2002 18:00	0.163413	0.062556	-5.033293	98.20422
6/6/2002 19:00	-0.294279	0.078541	-6.69642	82.1974
6/6/2002 20:00	-0.679439	0.074292	-6.04989	56.30733
6/6/2002 21:00	-0.752521	0.036778	-6.696619	40.20039
6/6/2002 22:00	-0.814372	0.026707	-7.512574	32.13634
6/6/2002 23:00	-0.900708	0.016821	-8.480421	29.8643
6/6/2002 24:00	-0.96702	-0.044821	-10.58999	30.75083
6/7/2002 01:00	-0.990254	-0.07482	-11.19241	31.89135
6/7/2002 02:00	-0.989456	-0.082293	-11.38618	31.02084
6/7/2002 03:00	-0.961747	-0.062679	-11.45945	34.18208
6/7/2002 04:00	-0.934453	-0.065279	-11.028	35.03394
6/7/2002 05:00	-0.91046	-0.098453	-10.24858	30.84295
6/7/2002 06:00	0.251792	-0.091635	-12.93354	30.72643
6/7/2002 07:00	0.707306	-0.083866	-11.9453	29.79934
6/7/2002 08:00	0.865214	-0.049139	-8.898211	28.08098
6/7/2002 09:00	0.875232	-0.02064	-5.227895	25.0647
6/7/2002 10:00	0.847462	-0.00957	-3.308515	23.98639
6/7/2002 11:00	0.744867	-0.013467	-1.916948	32.56832
6/7/2002 12:00	0.827707	-0.007942	-1.145564	30.78636
6/7/2002 13:00	0.819477	-0.008925	-0.746266	48.37264
6/7/2002 14:00	0.854995	-0.010825	-0.647856	59.49076
6/7/2002 15:00	0.976398	-0.006424	-1.100335	73.45542
6/7/2002 16:00	1.058542	0.001686	-2.28245	104.6389
6/7/2002 17:00	0.854603	-0.050448	-3.696236	92.50954
6/7/2002 18:00	0.518305	-0.007606	-5.241895	87.51596
6/7/2002 19:00	-0.174449	-0.050943	-5.718047	58.15228
6/7/2002 20:00	-0.819695	-0.030612	-6.142317	49.3511
6/7/2002 21:00	-0.888821	-0.019276	-7.324895	45.97195
6/7/2002 22:00	-0.948702	-0.022169	-8.318678	34.53937

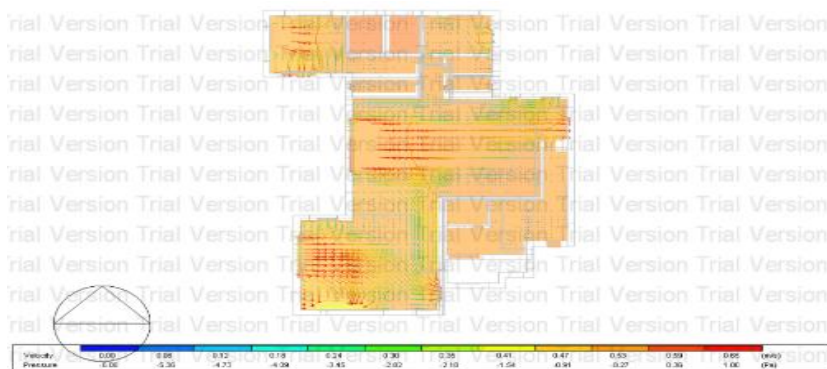
شکل ۱۵- نرخ تهویه هوا در فضاهای داخلی با ارتفاع پنجره ۲ متر



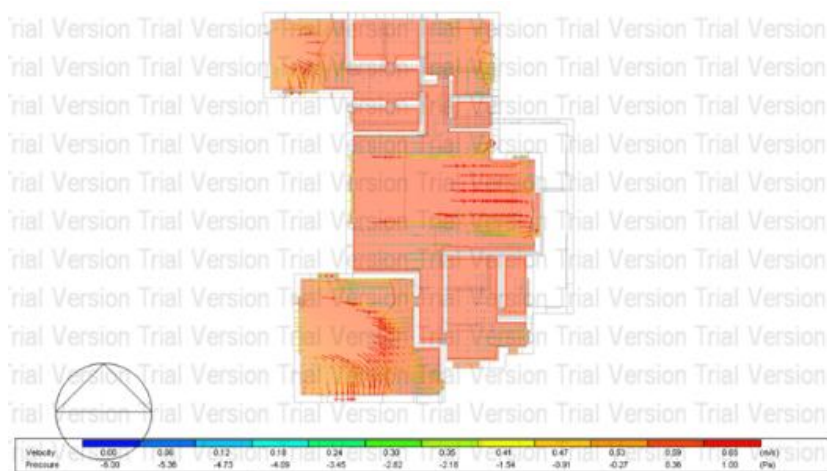
شکل ۱۶- بررسی سرعت باد طبقه همکف



شکل ۱۷- بررسی سرعت باد طبقه اول



شکل ۱۸- بررسی فشار باد طبقه همکف



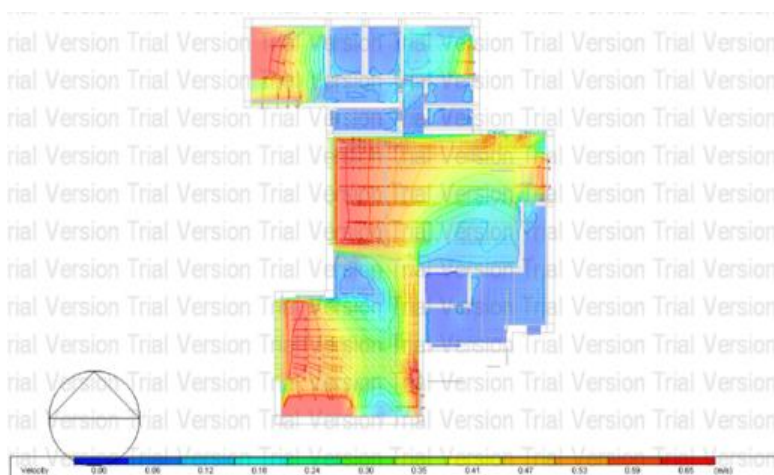
شکل ۱۹- بررسی فشار باد طبقه اول

سناریو ۲: نسبت پنجره به دیوار = ۶۰٪ (window to wall ratio)

الف) نسبت پنجره به دیوار = ۶۰٪ در ارتفاع ۰.۶ متر

Analysis	Summary	Parametric	Optimisation + UA/SA	Data Visualisation
Date/Time	Glazing (B/W)	Internal Natural vent. (B/W)	External Vent. (B/W)	Mech Vent + Nat Vent + Infiltrati...
6/7/2002 01:00	-1.540629	-0.07023	-12.99909	43.66283
6/7/2002 02:00	-1.512266	-0.066916	-12.84108	42.27268
6/7/2002 03:00	-1.447407	-0.047003	-12.69378	48.13208
6/7/2002 04:00	-1.389327	-0.048794	-12.05887	50.239
6/7/2002 05:00	-1.343532	-0.079418	-11.04196	41.32679
6/7/2002 06:00	0.332595	-0.074243	-15.24727	41.63041
6/7/2002 07:00	1.031213	-0.071923	-15.37953	41.53298
6/7/2002 08:00	1.193734	-0.047367	-12.85987	40.35094
6/7/2002 09:00	1.130743	-0.022589	-8.331389	38.24413
6/7/2002 10:00	1.021912	-0.008549	-5.972967	35.3815
6/7/2002 11:00	0.621969	-0.018919	-4.249328	52.97872
6/7/2002 12:00	0.921143	-0.016739	-3.418906	66.99238
6/7/2002 13:00	0.879363	-0.02495	-3.065821	91.33599
6/7/2002 14:00	0.88592	-0.034272	-3.108438	110.701
6/7/2002 15:00	1.015975	-0.024139	-3.897312	117.8505
6/7/2002 16:00	1.146595	-0.02016	-5.902131	150.9648
6/7/2002 17:00	0.640105	-0.061918	-8.224779	140.7489
6/7/2002 18:00	0.330018	-0.008956	-10.18576	132.5106
6/7/2002 19:00	-0.684264	-0.062299	-9.971611	88.11269
6/7/2002 20:00	-1.532928	-0.02829	-9.343811	74.42984
6/7/2002 21:00	-1.561645	-0.014335	-10.05969	69.21667
6/7/2002 22:00	-1.59428	-0.026378	-10.51415	49.10331
6/7/2002 23:00	-1.677883	-0.012587	-12.94856	45.92979
6/7/2002 24:00	-1.756038	-0.064326	-16.52505	47.94418
6/8/2002 01:00	-1.739988	-0.053525	-14.81112	45.77369
6/8/2002 02:00	-1.745784	-0.072292	-15.01797	43.82511
6/8/2002 03:00	-1.696561	-0.073799	-14.7546	44.00606
6/8/2002 04:00	-1.608757	-0.054682	-14.10441	45.53556
6/8/2002 05:00	-1.505279	-0.080518	-12.84028	42.01358
6/8/2002 06:00	0.314093	-0.070055	-14.18801	41.77708
6/8/2002 07:00	0.844488	-0.070967	-14.76464	43.17667
6/8/2002 08:00	0.995831	-0.070064	-16.70275	42.33462
6/8/2002 09:00	0.933501	-0.071539	-14.30527	43.45938

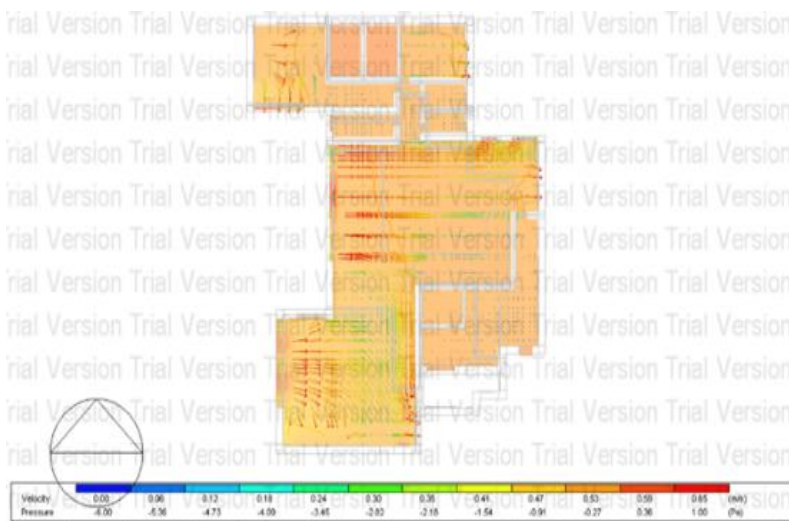
شکل ۲۰- نرخ تهویه هوا در فضاهای داخلی با ارتفاع پنجره ۰.۶ متر



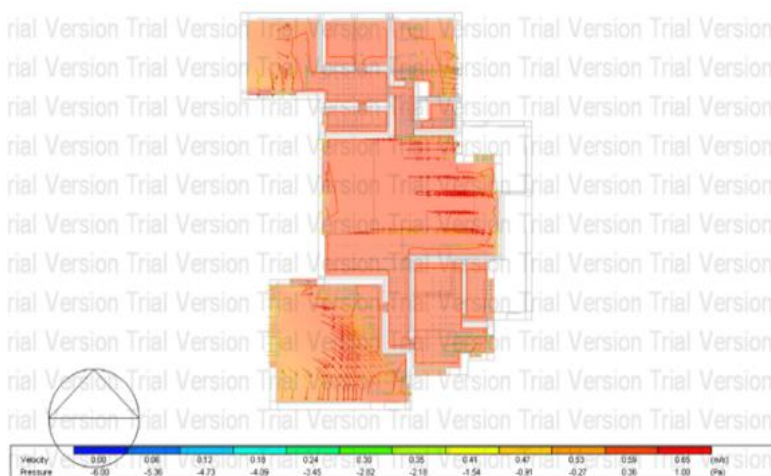
شکل ۲۱- بررسی سرعت باد طبقه همکف



شکل ۲۲- بررسی سرعت باد طبقه اول



شکل ۲۳- بررسی فشار باد طبقه همکف

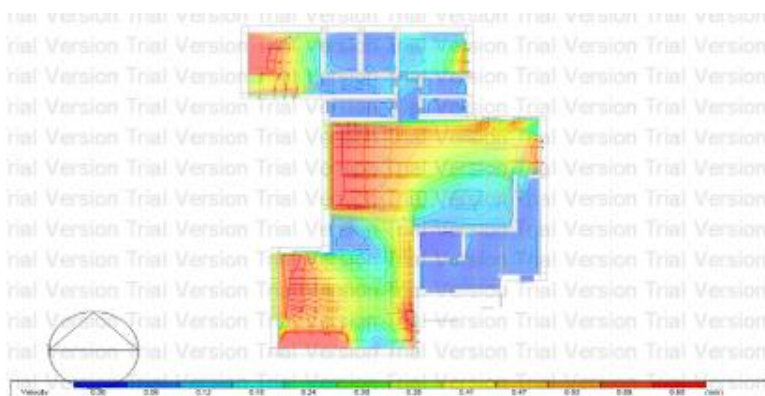


شکل ۲۴- بررسی فشار باد طبقه اول

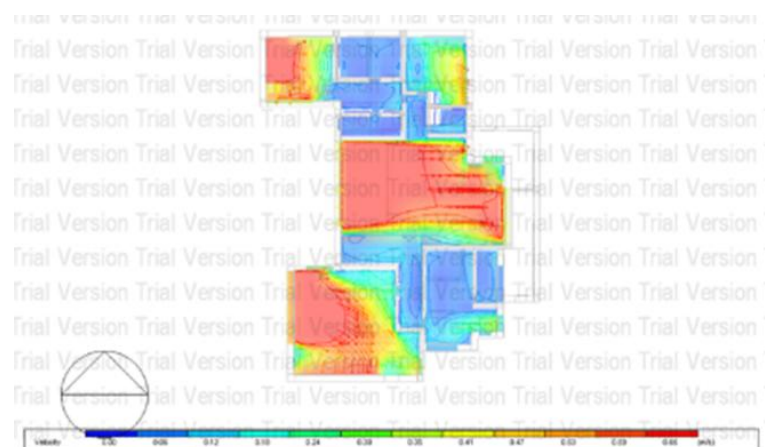
ب) نسبت پنجره به دیوار ۶۰٪ در ارتفاع ۱.۲ متر

Analysis	Summary	Parametric	Optimisation + UA/SA	Data Visualisation
Date/Time	Glazing (kW)	Internal Natural vent. (kW)	External Vent. (kW)	Mech Vent + Nat Vent + Infiltr...
6/7/2002 01:00	-1.540629	-0.07023	-12.98809	43.66283
6/7/2002 02:00	-1.512266	-0.066916	-12.84108	42.27268
6/7/2002 03:00	-1.447407	-0.047003	-12.69378	48.13208
6/7/2002 04:00	-1.389327	-0.048794	-12.05887	50.239
6/7/2002 05:00	-1.343532	-0.079418	-11.04196	41.32679
6/7/2002 06:00	0.332595	-0.074243	-15.24727	41.63041
6/7/2002 07:00	1.031213	-0.071923	-15.37953	41.53298
6/7/2002 08:00	1.193734	-0.047367	-12.85987	40.35094
6/7/2002 09:00	1.130743	-0.022589	-8.331389	38.24413
6/7/2002 10:00	1.021912	-0.008549	-5.972967	35.3815
6/7/2002 11:00	0.821969	-0.018919	-4.248328	52.97872
6/7/2002 12:00	0.921143	-0.016739	-3.418906	66.98238
6/7/2002 13:00	0.879363	-0.02495	-3.065821	91.33599
6/7/2002 14:00	0.88592	-0.034272	-3.108438	110.701
6/7/2002 15:00	1.015975	-0.024139	-3.897312	117.8505
6/7/2002 16:00	1.146595	-0.02016	-5.902121	158.3648
6/7/2002 17:00	0.840105	-0.051918	-8.224779	140.7489
6/7/2002 18:00	0.330018	-0.008856	-10.18576	132.5106
6/7/2002 19:00	-0.684264	-0.062299	-9.971611	88.11269
6/7/2002 20:00	-1.532928	-0.02829	-9.343811	74.42984
6/7/2002 21:00	-1.561645	-0.014335	-10.05869	69.21667
6/7/2002 22:00	-1.59428	-0.026378	-10.51415	49.10331
6/7/2002 23:00	-1.677883	-0.012587	-12.94856	45.92979
6/7/2002 24:00	-1.756038	-0.064325	-16.52505	47.94418
6/8/2002 01:00	-1.739988	-0.053925	-14.81112	45.77969
6/8/2002 02:00	-1.745784	-0.072282	-15.01797	43.82511
6/8/2002 03:00	-1.696561	-0.073799	-14.7546	44.00606
6/8/2002 04:00	-1.608757	-0.054682	-14.10441	45.53556
6/8/2002 05:00	-1.505279	-0.080518	-12.84028	42.01358
6/8/2002 06:00	0.314093	-0.070055	-14.18801	41.77708
6/8/2002 07:00	0.844488	-0.070867	-14.75464	43.17667
6/8/2002 08:00	0.995831	-0.070064	-16.70275	42.33462
6/8/2002 09:00	0.933501	-0.071539	-14.38527	43.45838

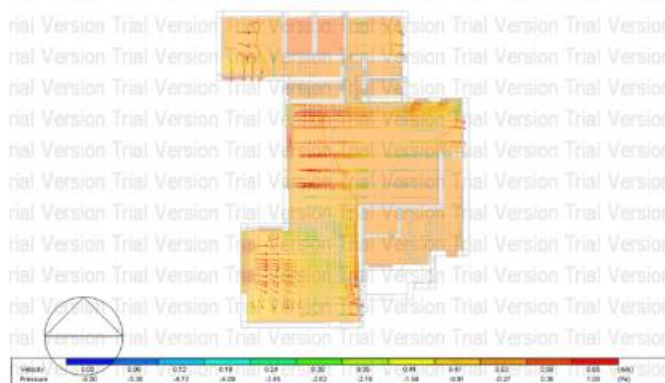
شکل ۲۵- نرخ تهویه هوا در فضاهای داخلی با ارتفاع پنجره ۱.۲ متر



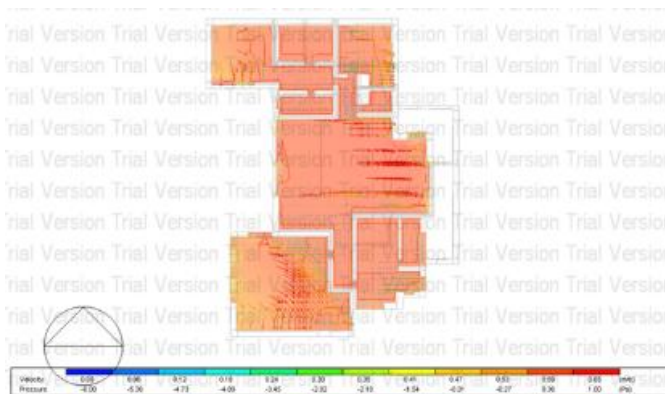
شکل ۲۶- بررسی سرعت باد طبقه همکف



شکل ۲۷- بررسی سرعت باد طبقه اول



شکل ۲۸- بررسی فشار باد طبقه همکف

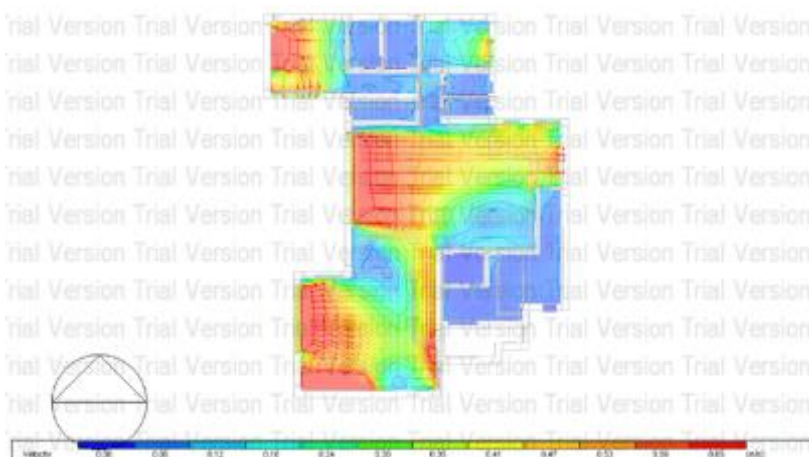


شکل ۲۹- بررسی فشار باد طبقه اول

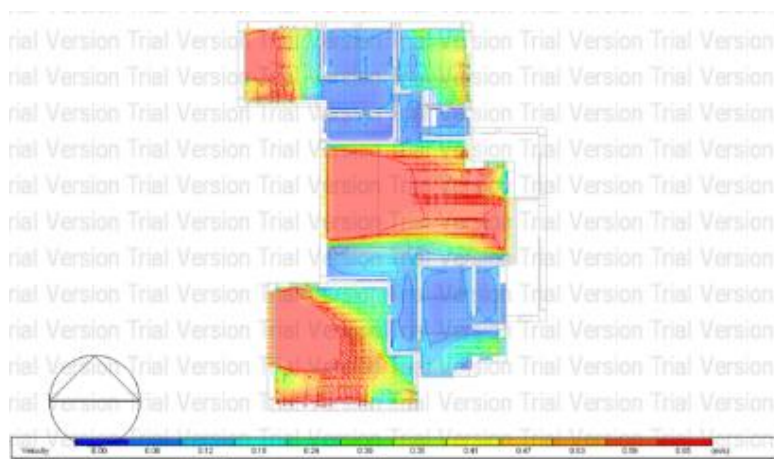
ج) نسبت پنجره به دیوار ۶۰٪ در ارتفاع ۲ متر

Analysis	Summary	Parametric	Optimisation + UA/SA	Data Visualisation
Date/Time	Glazing (kW)	Internal Natural vent. (kW)	External Vent. (kW)	Mech Vent + Nat Vent + Infiltrati...
6/6/2002 23:00	-1.443807	0.016304	-10.28027	42.55946
6/6/2002 24:00	-1.521178	-0.053411	-13.79121	43.73533
6/7/2002 01:00	-1.53071	-0.068897	-12.97717	44.08679
6/7/2002 02:00	-1.502718	-0.065559	-12.82414	42.61625
6/7/2002 03:00	-1.43863	-0.046188	-12.67918	48.60631
6/7/2002 04:00	-1.38022	-0.047904	-12.04461	50.83243
6/7/2002 05:00	-1.333487	-0.077687	-11.03092	41.72021
6/7/2002 06:00	0.340957	-0.072726	-15.2416	42.02407
6/7/2002 07:00	0.993939	-0.070386	-15.35254	41.85622
6/7/2002 08:00	1.154244	-0.047301	-12.7625	40.49818
6/7/2002 09:00	1.10913	-0.022124	-8.167416	38.17695
6/7/2002 10:00	1.020806	-0.008199	-5.833921	35.13185
6/7/2002 11:00	0.832451	-0.018574	-4.154195	53.10448
6/7/2002 12:00	0.929906	-0.016445	-3.341879	67.11818
6/7/2002 13:00	0.887404	-0.024529	-3.001219	91.70589
6/7/2002 14:00	0.895431	-0.033764	-3.052659	111.0947
6/7/2002 15:00	1.023274	-0.023751	-3.849169	118.3442
6/7/2002 16:00	1.135115	-0.019783	-5.821595	159.7168
6/7/2002 17:00	0.809557	-0.061109	-8.05633	141.2439
6/7/2002 18:00	0.306696	-0.007618	-9.969428	133.1861
6/7/2002 19:00	-0.670702	-0.061063	-9.834059	98.49093
6/7/2002 20:00	-1.517184	-0.027579	-9.25163	74.76953
6/7/2002 21:00	-1.547453	-0.013352	-9.985723	69.53291
6/7/2002 22:00	-1.581692	-0.024116	-10.45645	49.25965
6/7/2002 23:00	-1.665873	-0.00972	-12.96288	46.17683
6/7/2002 24:00	-1.745074	-0.062885	-16.60342	48.38983
6/8/2002 01:00	-1.729254	-0.05267	-14.78393	46.04971
6/8/2002 02:00	-1.734578	-0.070596	-15.0041	44.20147
6/8/2002 03:00	-1.686338	-0.072152	-14.74495	44.48768
6/8/2002 04:00	-1.598795	-0.053577	-14.08333	45.84047
6/8/2002 05:00	-1.495118	-0.078885	-12.82582	42.34019
6/8/2002 06:00	0.321488	-0.068229	-14.17897	42.11546
6/8/2002 07:00	0.807826	-0.069062	-14.67695	43.49116

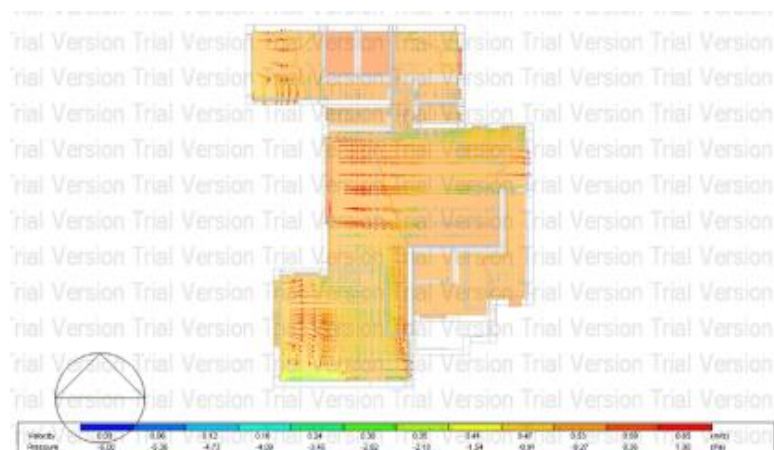
شکل ۳۰- نرخ تهویه هوا در فضاها با ارتفاع پنجره ۲ متر



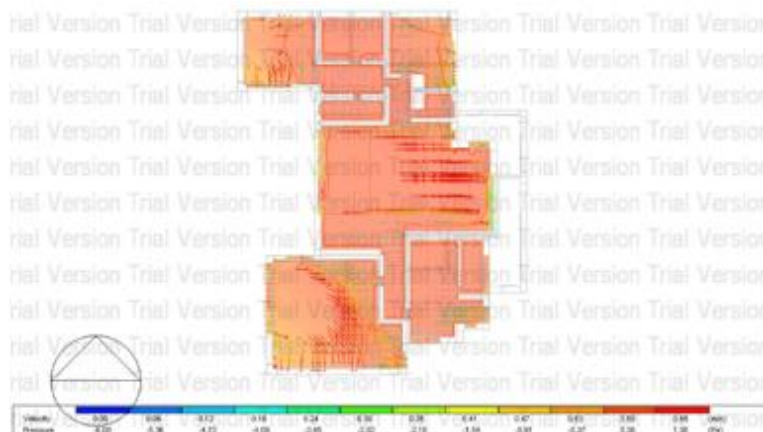
شکل ۳۱- بررسی سرعت باد طبقه همکف



شکل ۳۲- بررسی سرعت باد طبقه اول



شکل ۳۳- بررسی فشار باد طبقه همکف



شکل ۳۴- بررسی فشار باد طبقه اول

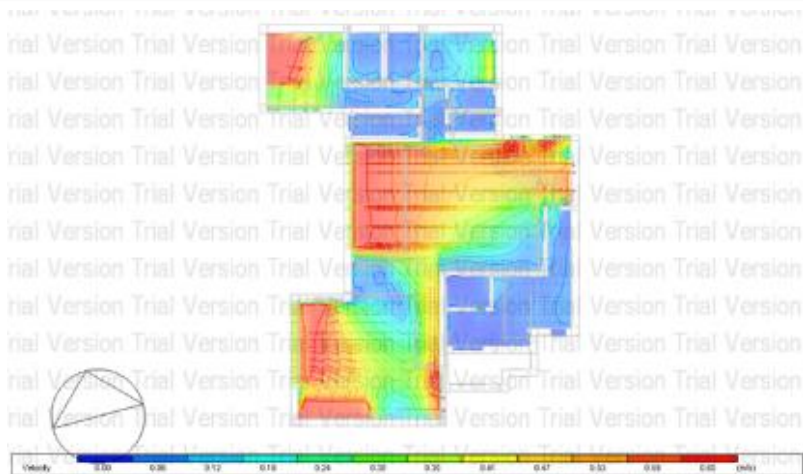
همان طور که خروجی‌ها برای هر متغیر در سناریو اول و دوم استخراج شد، مشخص است که ارتفاع پنجره ۲ متر، نرخ تهویه بیشتری را نسبت به ارتفاع ۰.۶ و ۱.۲ متر دارد. از این رو می‌توان نتیجه گرفت که در این منطقه افزایش ارتفاع پنجره باعث افزایش نرخ تهویه طبیعی در فضاهای داخلی می‌شود. به همین دلیل در سناریو سوم نسبت پنجره دیوار ۶۰٪ با ارتفاع پنجره ۲ متر ثابت در نظر گرفته شده است که در ادامه به آن خواهیم پرداخت.

سناریو سوم: تعیین زاویه و جهت گیری بنا در زوایای ۱۵ - ۳۰ - ۴۵ درجه نسبت به غرب (نسبت پنجره به دیوار ۶۰٪)

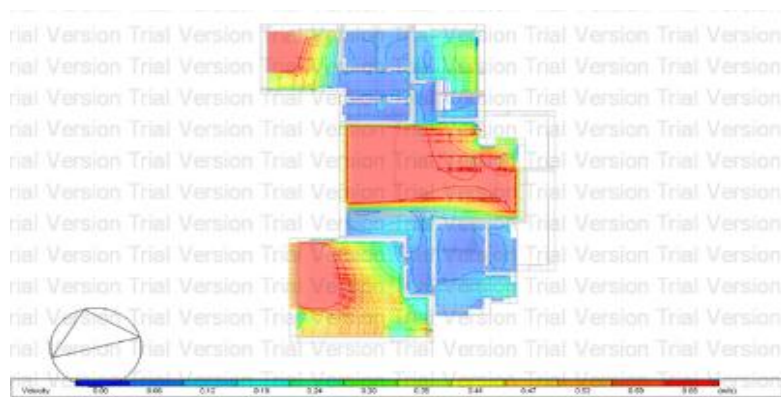
الف) نسبت پنجره به دیوار ۶۰٪ با جهت گیری بنا در زاویه ۱۵ درجه

Analysis	Summary	Parametric	Optimisation + UA/SA	Data Visualisation
Date/Time	Glazing (k/W)	Internal Natural vent. (k/W)	External Vent. (k/W)	Mech Vent + Nat Vent + Infiltrati...
6/7/2002 06:00	0.402425	-0.071614	-15.8361	45.67699
6/7/2002 07:00	1.162542	-0.076664	-16.56471	47.97743
6/7/2002 08:00	1.417291	-0.047635	-13.06629	44.01561
6/7/2002 09:00	1.246213	-0.023936	-9.156571	42.09621
6/7/2002 10:00	1.023258	-0.008793	-6.656429	37.84515
6/7/2002 11:00	0.811203	-0.014265	-4.789845	49.14365
6/7/2002 12:00	0.907232	-0.015103	-3.988718	69.23078
6/7/2002 13:00	0.857539	-0.027748	-3.65327	92.11289
6/7/2002 14:00	0.802565	-0.031889	-3.698437	115.3677
6/7/2002 15:00	0.858685	-0.032394	-4.268215	116.0532
6/7/2002 16:00	0.994262	-0.032197	-5.986323	165.8909
6/7/2002 17:00	0.750724	-0.063047	-8.367676	138.1745
6/7/2002 18:00	0.170745	0.010744	-10.75374	146.0953
6/7/2002 19:00	-0.86405	-0.044465	-10.53722	96.71789
6/7/2002 20:00	-1.672036	-0.029646	-9.656978	76.00463
6/7/2002 21:00	-1.634853	-0.014321	-10.26839	68.43969
6/7/2002 22:00	-1.723578	-0.027323	-10.77598	53.34296
6/7/2002 23:00	-1.906634	-0.010419	-13.57338	48.93453
6/7/2002 24:00	-1.888058	-0.07168	-17.30401	52.63513
6/8/2002 01:00	-1.863209	-0.056342	-15.04712	48.96809
6/8/2002 02:00	-1.862653	-0.069195	-15.24025	47.23175
6/8/2002 03:00	-1.804391	-0.071155	-14.91906	47.80177
6/8/2002 04:00	-1.707734	-0.063662	-14.24146	48.98485
6/8/2002 05:00	-1.592955	-0.077509	-12.90514	45.13327
6/8/2002 06:00	0.389001	-0.065667	-14.6084	45.1637
6/8/2002 07:00	0.95106	-0.067494	-15.5606	47.13312
6/8/2002 08:00	1.172479	-0.068186	-18.17122	46.43774
6/8/2002 09:00	1.001943	-0.070779	-15.52766	47.59081
6/8/2002 10:00	0.853039	-0.029061	-10.16335	44.68176
6/8/2002 11:00	0.765721	-0.016369	-8.000583	55.16181
6/8/2002 12:00	0.811951	-0.023092	-6.848875	62.49406
6/8/2002 13:00	0.795256	-0.024723	-6.473432	78.28645
6/8/2002 14:00	0.794649	-0.030009	-6.303444	86.34049

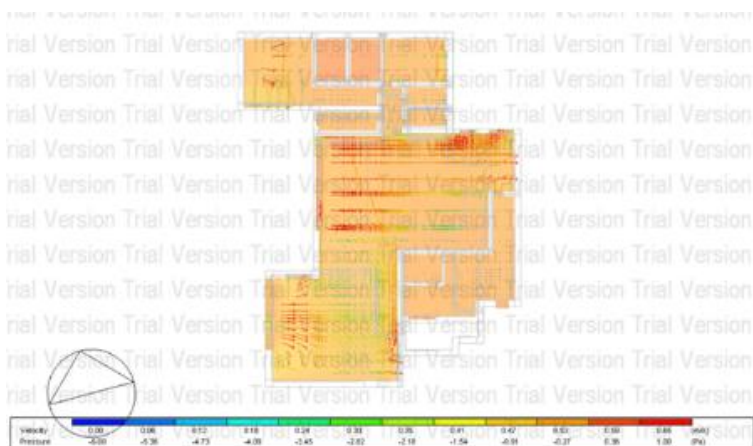
شکل ۳۵- نرخ تهویه هوا در فضاهای داخلی با ارتفاع پنجره ۲ متر و زاویه ۱۵ درجه



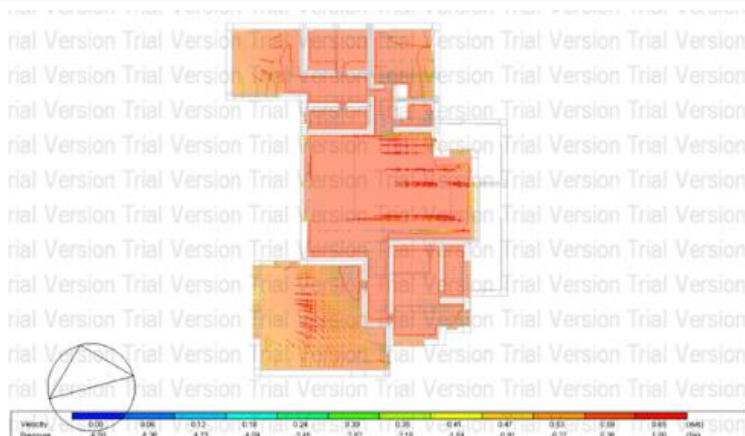
شکل ۳۶- بررسی سرعت باد طبقه همکف



شکل ۳۷- بررسی سرعت باد طبقه اول



شکل ۳۸- بررسی فشار باد طبقه همکف

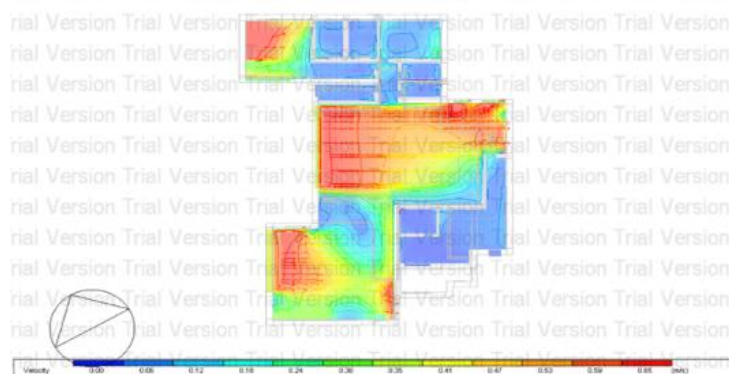


شکل ۳۹- بررسی فشار باد طبقه اول

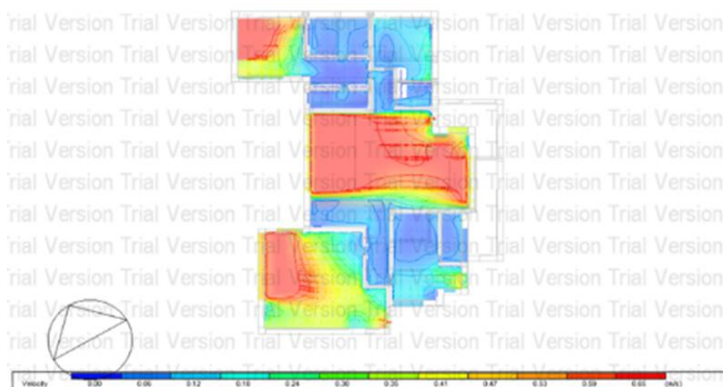
(ب) نسبت پنجره به دیوار ۶۰٪ با جهت گیری بنا در زاویه ۳۰ درجه

Analysis	Summary	Parametric	Optimisation - UA/SA	Data Visualisation
Date/Time	Glazing [kW]	Internal Natural vent. [kW]	External Vent. [kW]	Mech Vent + Nat Vent + Infiltr.
6/6/2002 18:00	-0.236297	0.066677	-9.157936	139.8869
6/6/2002 19:00	-0.903238	0.056912	-9.274078	119.6535
6/6/2002 20:00	-1.370402	0.039447	-8.940153	96.7194
6/6/2002 21:00	-1.411882	0.019391	-9.02249	63.59523
6/6/2002 22:00	-1.463416	0.00492	-9.499901	49.37073
6/6/2002 23:00	-1.557156	0.000774	-10.62622	45.56204
6/6/2002 24:00	-1.64094	-0.05843	-14.48603	50.55454
6/7/2002 01:00	-1.641973	-0.068782	-13.18454	47.6567
6/7/2002 02:00	-1.608553	-0.070698	-13.01958	45.93639
6/7/2002 03:00	-1.537224	-0.053742	-12.74485	50.70863
6/7/2002 04:00	-1.472206	-0.048843	-12.08417	52.25243
6/7/2002 05:00	-1.41696	-0.076993	-11.1004	45.27139
6/7/2002 06:00	0.332478	-0.07144	-15.67018	45.50119
6/7/2002 07:00	1.157493	-0.077497	-16.60083	47.74673
6/7/2002 08:00	1.522476	-0.053261	-13.82544	45.01089
6/7/2002 09:00	1.449728	-0.025218	-9.676462	42.17249
6/7/2002 10:00	1.092109	-0.009708	-7.078452	39.55911
6/7/2002 11:00	0.780938	-0.014489	-5.051435	51.41199
6/7/2002 12:00	0.883118	-0.007663	-4.24748	72.8402
6/7/2002 13:00	0.841608	-0.023957	-3.740914	81.38321
6/7/2002 14:00	0.750334	-0.023887	-3.815702	115.7433
6/7/2002 15:00	0.737961	-0.030103	-4.145204	114.8078
6/7/2002 16:00	0.903282	-0.034032	-5.327432	159.0701
6/7/2002 17:00	0.720159	-0.028087	-7.840773	147.9501
6/7/2002 18:00	0.226203	0.03615	-10.14349	141.526
6/7/2002 19:00	-0.819633	-0.025793	-10.31862	101.3314
6/7/2002 20:00	-1.652291	-0.036253	-9.443734	73.26057
6/7/2002 21:00	-1.680948	-0.027626	-10.00977	63.36665
6/7/2002 22:00	-1.713708	-0.02529	-10.57522	52.82779
6/7/2002 23:00	-1.796509	-0.007657	-13.37497	47.84529
6/7/2002 24:00	-1.881207	-0.074634	-17.16347	52.01276
6/8/2002 01:00	-1.857735	-0.060808	-14.52986	48.44311
6/8/2002 02:00	-1.859029	-0.06377	-15.1632	47.16688

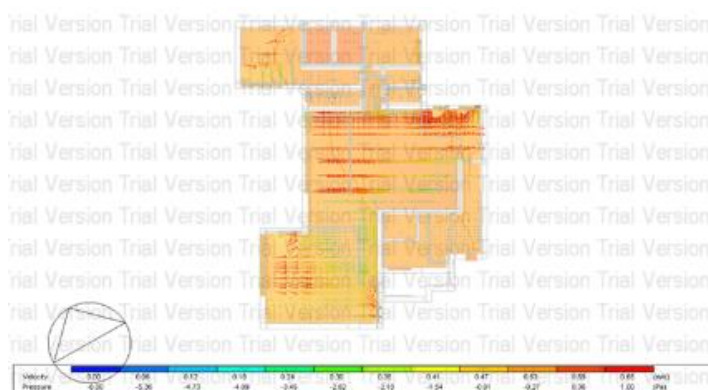
شکل ۴۰- نرخ تهویه هوا در فضاهای داخلی با ارتفاع پنجره ۲ متر و زاویه بنا ۳۰ درجه



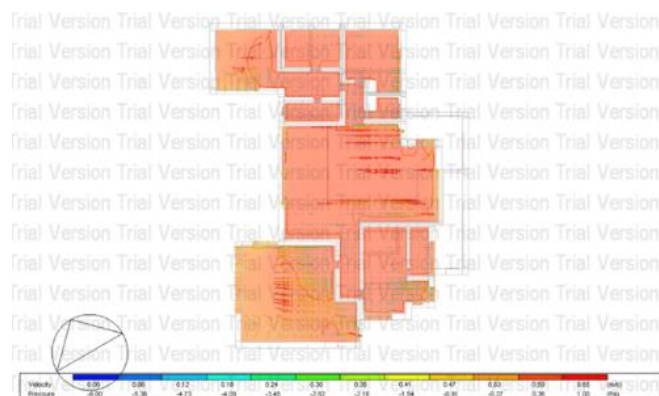
شکل ۴۱- بررسی سرعت باد طبقه همکف



شکل ۴۲- بررسی سرعت باد طبقه اول



شکل ۴۳- بررسی فشار باد طبقه همکف

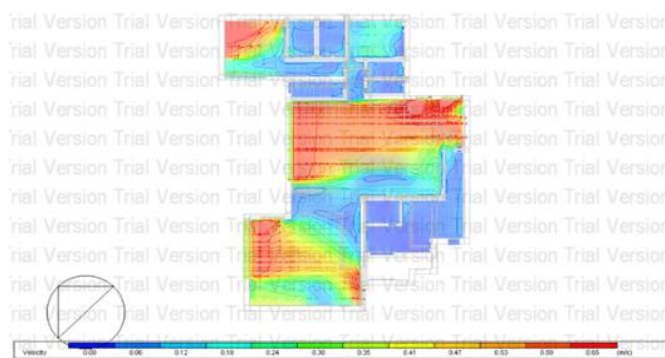


شکل ۴۴- بررسی فشار باد طبقه اول

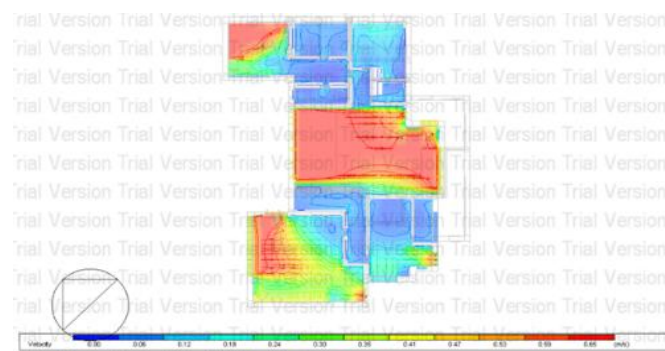
ج) نسبت پنجره به دیوار ۶۰٪ با جهت گیری بنا در زاویه ۴۵ درجه

Analysis	Summary	Parametric	Optimisation + UA-SA	Data Visualisation
Date/Time	Glazing (kW)	Internal Natural vent (kW)	External Vent (kW)	Mech Vent + Nat Vent + Initial.
6/6/2002 24:00	-1.634941	-0.064617	-14.63489	51.6173
6/7/2002 01:00	-1.634999	-0.067718	-13.11871	47.93901
6/7/2002 02:00	-1.602767	-0.071025	-12.96495	46.34593
6/7/2002 03:00	-1.530985	-0.051481	-12.74038	52.08899
6/7/2002 04:00	-1.463509	-0.045745	-12.12979	56.24104
6/7/2002 05:00	-1.405942	-0.074481	-11.02365	45.80148
6/7/2002 06:00	0.153391	-0.07057	-15.33715	45.27644
6/7/2002 07:00	1.036449	-0.07256	-16.1631	47.88306
6/7/2002 08:00	1.474932	-0.090598	-13.52009	44.19189
6/7/2002 09:00	1.515229	-0.028419	-9.802804	42.98205
6/7/2002 10:00	1.227943	-0.013619	-7.458829	43.63638
6/7/2002 11:00	0.857189	-0.016182	-5.479137	56.41033
6/7/2002 12:00	0.065779	-0.001915	-4.431448	68.56095
6/7/2002 13:00	0.832324	-0.017415	-3.900427	85.36381
6/7/2002 14:00	0.745953	-0.018941	-3.922748	122.9502
6/7/2002 15:00	0.68519	-0.022885	-4.184568	121.5416
6/7/2002 16:00	0.679626	-0.038547	-5.033137	161.472
6/7/2002 17:00	0.675707	-0.00523	-7.41588	157.9656
6/7/2002 18:00	0.226756	0.046501	-9.629067	137.4748
6/7/2002 19:00	-0.78843	-0.011909	-10.14315	106.9459
6/7/2002 20:00	-1.630366	-0.04726	-9.227053	74.95759
6/7/2002 21:00	-1.673182	-0.042668	-8.796357	62.6443
6/7/2002 22:00	-1.7047	-0.021929	-10.45629	53.93136
6/7/2002 23:00	-1.792536	-0.00392	-13.26626	47.89412
6/7/2002 24:00	-1.876234	-0.075827	-17.07098	51.63879
6/8/2002 01:00	-1.859571	-0.063762	-14.81847	48.03089
6/8/2002 02:00	-1.655361	-0.070113	-15.08579	47.17706
6/8/2002 03:00	-1.794856	-0.067165	-14.88045	49.14254
6/8/2002 04:00	-1.696932	-0.06834	-14.04885	48.9672
6/8/2002 05:00	-1.505959	-0.070542	-12.71648	44.70532
6/8/2002 06:00	0.100271	-0.06559	-14.02101	44.51284
6/8/2002 07:00	0.802201	-0.068348	-14.85151	46.13357
6/8/2002 08:00	1.224756	-0.072882	-18.06895	46.3951

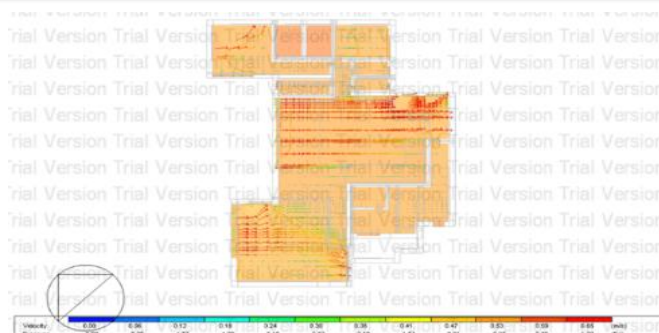
شکل ۴۵- نرخ تهویه هوا در فضاهای داخلی با ارتفاع پنجره ۲ متر و زاویه بنا ۴۵ درجه



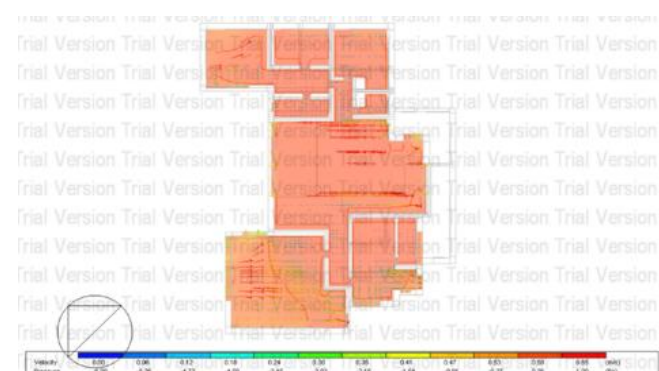
شکل ۴۶- بررسی سرعت باد طبقه همکف



شکل ۴۷- بررسی سرعت باد طبقه اول



شکل ۴۸- بررسی فشار باد طبقه همکف



شکل ۴۹- بررسی فشار باد طبقه اول

در نهایت، مشاهده شد که با تغییر زوایا در پلان، تهویه طبیعی نیز تغییر می‌کند. چرخش در زوایای پلان‌ها در یک سایت در محدوده شهری می‌تواند تأثیرات متعددی بر روی تهویه طبیعی داشته باشد. به عنوان مثال، تغییر زوایای پلان‌ها می‌تواند منجر به تغییر جهت جریان هوای داخلی و خارجی ساختمان شود. این تغییر جهت جریان هوا باعث بهبود تهویه طبیعی در داخل ساختمان شده، به این دلیل که جریان هوای تازه می‌تواند به راحتی وارد ساختمان شود و هوای آلوده و گرم را به خارج از ساختمان هدایت کند. به طور کلی چرخش در زوایای پلان‌ها باعث بهبود تهویه طبیعی شده مادامی که به جهت جریان هوا و میزان تابش خورشیدی در داخل و بیرون ساختمان توجه شود.

جدول ۴- مقایسه سناریوها و هریک از متغیرها و تأثیرشان در نرخ تهویه طبیعی هوا در فضاهای داخلی

سناریو ۱	WWR=۴۰٪	نرخ تهویه هوا (ac/h)
متغیر الف	ارتفاع پنجره ۰.۶ متر	۱۰۱.۰۷
متغیر ب	ارتفاع پنجره ۱.۲ متر	۱۰۱.۷
متغیر ج	ارتفاع پنجره ۲ متر	۱۰۴.۶۳
سناریو ۲	WWR=۶۰٪	نرخ تهویه هوا (ac/h)
متغیر الف	ارتفاع پنجره ۰.۶ متر	۱۵۸.۹۶
متغیر ب	ارتفاع پنجره ۱.۲ متر	۱۵۸.۹۶
متغیر ج	ارتفاع پنجره ۲ متر	۱۵۹.۷۱

سناریو ۳	WWR=۶۰٪	نرخ تهویه هوا (ac/h)
متغیر الف	زاویه جهت گیری بنا ۱۵ درجه	۱۶۵.۸۹
متغیر ب	زاویه جهت گیری بنا ۳۰ درجه	۱۵۸.۰۷
متغیر ج	زاویه جهت گیری بنا ۴۵ درجه	۱۶۱.۴۷

با بررسی تحقیقات صورت گرفته، هریک از موارد زیر می‌تواند تاثیر بسزایی در افزایش آسایش حرارتی و بهبود کیفیت تهویه طبیعی در داخل بنا داشته باشد:

۱- افزایش ارتفاع پنجره فضاها از ۰.۶ متر به ۲ متر و قرار دادن بازشو برای فضاهایی که در حالت قبل بازشو نداشتند.

۲- تغییر گشودگی پنجره‌ها از ۴۰ درصد به ۶۰ درصد، به منظور بهبود تهویه طبیعی در داخل بنا.

۳- تغییر قرارگیری و جهت گیری بنا در زوایای ۱۵، ۳۰ و ۴۵ درجه.

می‌توان نتیجه گرفت که در هریک از آلترناتیوها شرایط تهویه درون ساختمان نسبت به حالت قبل بهبود یافته و نهایتاً جهت گیری بنا با زاویه ۱۵ درجه نسبت

به غرب و ارتفاع پنجره ۲ متر و گشودگی پنجره به میزان ۶۰ درصد، نسبت وضعیت موجود شرایط تهویه طبیعی داخلی بهبود یافته است.

نتیجه‌گیری

امروزه افزایش آلودگی‌های زیست محیطی در اثر استفاده از سوخت‌های فسیلی برای تامین آسایش حرارتی، یکی از معضلات این حوزه به شمار می‌رود. همچنین گرمایش اقلیمی در سراسر جهان به یک اجماع بین‌المللی تبدیل شده است. تغییرات آب و هوایی تاثیر عمیقی بر مصرف انرژی و تهویه طبیعی ساختمان‌ها دارد. اخیراً، مطالعات بسیاری بر تاثیر تغییرات آب و هوا بر مصرف انرژی ساختمان‌ها به ویژه در مناطق مختلف اقلیمی معطوف شده است. در دهه‌های اخیر، بحران آلودگی محیط زیست در دنیا به طور گسترده‌ای مطرح شده که موجب نگرانی جامعه انسانی می‌باشد و با توجه به کاهش مستمر انرژی‌های تجدیدناپذیر و همچنین وجود منابع مناسب انرژی‌های پایدار (خورشیدی، زمین گرمایی، باد و...)، لازم است دست اندرکاران ساختمان به عنوان بخش مهمی از اجتماع که مداخله فراوانی در محیط زیست دارند، در ساخت و سازهای خود تامل بیشتری نموده و از ایده‌های جدید جهت کاهش مصرف انرژی و آلودگی‌های ناشی از آن بهره گیرند. در این تحقیق رفتار باد در هریک از گونه‌ها را به لحاظ تهویه طبیعی مورد تحلیل و بررسی قرار داده و در نهایت گونه بهینه از نظر تهویه طبیعی انتخاب شده است.

مشارکت نویسندگان

در نگارش این مقاله تمامی نویسندگان نقش یکسانی ایفا کردند.

تشکر و قدردانی

از تمامی کسانی که در طی مراحل این پژوهش به ما یاری رساندند تشکر و قدردانی می‌گردد.

تعارض منافع

در انجام مطالعه حاضر، هیچ گونه تضاد منافی وجود ندارد.

حمایت مالی

این پژوهش حامی مالی نداشته است.

موازن اخلاقی

در انجام این پژوهش تمامی موازن و اصول اخلاقی رعایت گردیده است.

خلاصه مبسوط

Extended Abstract

Introduction

In the context of the growing global energy crisis and heightened environmental concerns, the building sector stands as a significant contributor to energy consumption and greenhouse gas emissions, accounting for nearly 40% of total energy use globally (1). Especially in developing nations such as Iran, the urgent demand for low-cost, sustainable strategies to enhance energy efficiency in residential buildings has prompted attention to natural ventilation systems. Natural ventilation, as a passive system, offers dual benefits: improving indoor air quality and reducing energy consumption without relying on fossil fuels (2). This ecological alignment also supports broader sustainability goals by reducing CO₂ emissions and enhancing thermal comfort for residents.

The performance of natural ventilation is a function of multiple variables, both internal and external, including architectural design, the dimension and positioning of openings, orientation, material usage, and topography (3). Among these, window-to-wall ratio (WWR), window height, and building orientation relative to wind direction are critical determinants that can greatly influence airflow efficiency (4). Additionally, existing empirical studies confirm that variations in opening dimensions and their spatial arrangements have a direct correlation with both thermal performance and energy use (5).

With the proliferation of villa complexes in the temperate, humid climate of Gilan, northern Iran, optimizing natural ventilation through architectural design becomes a strategic priority. This research therefore investigates the impact of three primary variables—WWR, window height, and building orientation—on the efficiency of natural ventilation in residential villas. By employing Computational Fluid Dynamics (CFD) simulations, the study not only identifies optimal architectural parameters but also contributes to the broader discourse on sustainable architecture.

Methods and Materials

This study employs a descriptive-analytical methodology, structured across three phases. The first phase involves an extensive review of scientific literature and prior case studies related to natural ventilation and the architectural design of openings. The second phase defines the research variables and design scenarios. Three different residential villa types are

considered, with Type A (350 m²) selected as the primary model for simulation. Design scenarios include variations in window height (0.6 m, 1.2 m, 2 m), WWR (40% and 60%), and building orientation angles (0°, 15°, 30°, 45°).

Simulations were conducted using DesignBuilder software, integrated with the CFD module to assess natural airflow and ventilation efficiency under different seasonal climates (spring, summer, autumn, winter). Wind data inputs such as speed, direction, humidity, and temperature were derived from meteorological sources, particularly focusing on the dominant southwestern winds typical of the Dastek region. Each scenario was simulated under constant conditions to ensure comparability of results, and airflow rates (air changes per hour, ac/h) were used as the main performance indicator.

Findings

The simulation results demonstrate a direct relationship between window height and ventilation rate. When the WWR is set at 40%, increasing window height from 0.6 m to 2 m results in a rise in ventilation rates from 101.07 ac/h to 104.63 ac/h. Similarly, under a 60% WWR scenario, ventilation improves more significantly, reaching 159.71 ac/h at 2 m window height. These findings suggest that taller windows enhance vertical air movement, enabling better cross-ventilation across building zones.

Regarding building orientation, the highest ventilation rates were achieved when the villa was oriented at 15° relative to the prevailing southwestern wind, producing a peak rate of 165.89 ac/h. The 30° and 45° orientations also yielded effective results, with 158.07 ac/h and 161.47 ac/h respectively. In contrast, a 0° orientation offered less favorable results due to misalignment with wind flow.

Overall, the data indicates that a WWR of 60%, coupled with a 2 m window height and a 15° orientation angle, produces the optimal configuration for natural ventilation. This combination significantly reduces the need for mechanical ventilation, especially in spring and fall seasons, where the outdoor air conditions are most aligned with thermal comfort zones.

Discussion and Conclusion

The results affirm the substantial influence of architectural variables—especially WWR, window height, and building orientation—on the effectiveness of natural ventilation in residential villas. A larger WWR (60%) facilitates broader air intake, while greater window height enhances air circulation vertically and improves pressure differentials across internal spaces. These findings corroborate prior research emphasizing the functional role of large, strategically positioned openings in improving thermal conditions and energy performance (4).

The orientation analysis further highlights the importance of aligning buildings with prevailing wind patterns. Even minor angular adjustments (such as 15° shifts) can markedly affect airflow trajectories, thus optimizing interior ventilation. This insight echoes broader theoretical frameworks advocating climate-sensitive design practices for maximizing passive energy systems (6).

From a practical perspective, these findings suggest that architectural strategies informed by local climate data can serve as low-cost, high-impact solutions for improving building energy efficiency. Particularly in regions like Gilan, where humid subtropical conditions necessitate robust ventilation, such designs reduce dependency on energy-intensive cooling systems. Integrating these strategies not only promotes environmental sustainability but also improves occupant well-being through enhanced indoor air quality and thermal comfort.

Ultimately, this study underscores the relevance of CFD simulation in architectural decision-making, offering evidence-based guidelines for optimizing design elements in residential villas. By implementing findings into design practices, architects and planners can contribute to sustainable development goals and mitigate the environmental impacts of urbanization. The

integration of architectural aesthetics with functional, climate-responsive strategies positions natural ventilation as a key pillar in the future of energy-efficient residential architecture.

References

1. Maleki BA. Traditional sustainable solutions in Iranian desert architecture to solve the energy problem. International Journal of Technical and Physical Problems of Engineering. 2011;6:84-91.
2. Kennedy RJ, Thompson S. The subtropical residential tower: an investigation by Design Charrette. Council on Tall Buildings and Urban Habitat Journal. 2011;4:29-4.
3. Favarolo PA, Manz H. Temperature-driven single-sided ventilation through a large rectangular opening. Building and Environment. 2005;40(5):689-99.
4. Aflaki A, Mahyuddin N, Al-Cheikh Mahmoud Z, Baharum MR. A review on natural ventilation applications through building façade components and ventilation openings in tropical climates. Energy and Buildings. 2015;101:62-153.
5. Verbruggen S, Delghust M, Laverge J, Janssens A, editors. Impact of an occupancy and activity-based window use model on the prediction of residential energy use and thermal comfort. From Energy Crisis to Sustainable Indoor Climate, 40th AIVC-8th TightVent-6th venticool Conference; 2019.
6. Jafarpour A. Climatology: University of Tehran Press; 2012.
7. Sardari M, Mo'tazedian F, editors. The Role of Wind in Traditional Desert House Architecture. 1st International Congress on New Horizons in Architecture and UrbanismCY - Tehran; 2014.