



# Analysis of the Climatic Layout Pattern of Container Housing in Makran With an Energy Consumption Approach<sup>1</sup>

Kimia Arbabi<sup>2</sup>, Sareh Nikabadi<sup>3</sup>

Received: 2025-01-11, Accepted: 2025-09-21

DOI: 10.22034/rau.2025.2050459.1123

## Abstract

Temporary housing is a significant challenge in many developing countries, where the high cost of building and maintaining proper housing makes it challenging to provide adequate accommodation for workers. In nations such as Iran, industrialization has changed people's lifestyles and work conditions. Many industries have relocated away from big cities due to environmental concerns and specialized requirements. This movement has created a new demand for housing in remote industrial zones, where large groups of engineers, specialists, and workers live far from their hometowns. Since these people are not residents, the problem of "temporary housing" has become a serious issue. The Makran Coast in southern Iran is a prime example. It is situated near petrochemical plants, steel industries, shipping activities, and construction projects. As a result, this area has a growing need for temporary housing solutions that are affordable, quick to build, and environmentally friendly. One solution that has attracted attention is modular construction using shipping containers. Containers are available in large numbers in transit regions such as Makran and Chittagong in Bangladesh, making them a practical option for modular housing. They are strong, standardized, and easy to transport and adapt to various environments. They can be reused for housing in ways that reduce cost, shorten construction time, and minimize environmental impact. Previous studies in port and transit regions have already shown that container housing can be a realistic and affordable solution for temporary accommodation. Building on this background, the present study focuses on modular design principles

1. This paper extracted from the Dissertation of the first author titled " Investigation of Optimal Energy Consumption Model in the Development of Temporary Housing Using Container Modules ", by guidance of the second author in 2025, which was Presented in the International sourced University.

2. Master's student, Department of Architecture, Faculty of Architecture and Urban Planning, Sooreh University, Tehran, Iran (Corresponding author).

Email: kimiaarbabi@gmail.com

 0009-0009-2461-1176

3. Assistant Professor, Department of Interior Architecture, Faculty of Architecture and Urban Planning, Sooreh University, Tehran, Iran (Corresponding author).

Email: s.nikabadi@soore.ac.ir

 0000-0001-8959-800X



with containers. It compares two regions with similar hot and humid climates: the Makran Coast in Iran and the Chittagong Coast in Bangladesh. Both areas experience extreme heat and high humidity, necessitating the need for thermal comfort, making them valuable case studies for testing container housing layouts. The research uses a mixed-methods approach. In the first, qualitative stage, documents were reviewed, and traditional housing practices in both regions were analyzed.

For example, in Chittagong, houses are often rectangular with central courtyards and made from lightweight materials such as bamboo. Large openings are used to increase airflow. In Makran, houses are typically built with thick walls of clay or adobe and are often organized around central courtyards, which enhance natural ventilation and provide shaded outdoor areas. Despite differences in culture and materials, both traditions share common strategies such as using courtyards, designing for ventilation, and orienting buildings to manage heat and sunlight. These features inspired the container housing layouts tested in the study. The second, quantitative stage involved computer simulation. Using the DesignBuilder software and computational fluid dynamics (CFD), several container housing layouts were tested under the climate of the Makran Coast. Climate data, including wind direction, humidity, and temperature, were input into the program to model real conditions. Six different layouts were studied, including single-story and multi-story designs, as well as configurations with one, two, or three courtyards. The goal was to measure airflow, pressure differences, and thermal comfort across these models. In addition to testing the airflow and pressure differences, the simulation phase also examined the potential of each layout to reduce energy consumption through natural ventilation and passive cooling strategies. This aspect is crucial in regions such as Makran and Chittagong, where high humidity and heat create a continuous demand for mechanical cooling systems, often leading to excessive energy consumption and high operational costs. By analyzing airflow patterns and temperature distribution in each layout, the study was able to determine how architectural form directly affects energy efficiency.

The findings revealed that layouts with compact forms and central courtyards, such as the M1 model, not only improved ventilation but also stabilized indoor temperatures by promoting air circulation and shading. This suggests that effective spatial planning in container housing can significantly reduce reliance on artificial cooling. The research, therefore, emphasizes that modular housing design should not only focus on physical flexibility or construction speed but also on long-term energy performance. Integrating passive design techniques within modular structures can help achieve sustainable housing that balances human comfort with environmental responsibility—an essential goal for coastal industrial areas facing both rapid development and climate challenges. The results showed that the single-story layout with a central courtyard, referred to as the M1 model, performed best. This layout achieved a maximum wind speed of 2.79 m/s, an average courtyard wind speed ranging from 0.51 to 2.03 m/s, and a pressure difference of 8.35 Pa. These values demonstrate that the M1 de-



sign provides the strongest airflow and most effective natural ventilation. Other models, especially those with multiple courtyards or extra stories, showed weaker performance. They often blocked airflow or produced less pressure difference, making them less suitable for hot and humid climates.

The success of the M1 layout highlights the importance of courtyard-based designs, which are already central features in the traditional architecture of both regions. The study's findings go beyond these two case studies. They demonstrate that container-based housing, when designed with climate sensitivity and informed by local building traditions, can achieve multiple objectives simultaneously: affordability, adaptability, and environmental sustainability. This type of housing not only solves the immediate need for temporary accommodation but also supports long-term objectives for resilient infrastructure. By combining old knowledge with modern modular design, container housing can offer solutions that are both practical and sustainable. This research also adds to the discussion on adaptive reuse in architecture. Shipping containers, once they are retired from transport, are often wasted. Turning them into housing reduces waste and lowers the environmental cost of construction. At the same time, modularity allows housing units to be added, removed, or rearranged as needed to accommodate the number of people who require housing at any given time. This flexibility is especially useful in industrial regions, where the number of workers often changes with project cycles. In this way, container housing can play a role in the circular economy, where materials are reused and adapted rather than discarded. Another important contribution of the study is the use of advanced simulation tools to confirm the performance of container layouts. While lessons from traditional architecture are valuable, computer models enable the testing of designs under real-world climate data and the measurement of precise results. The combination of CFD with vernacular knowledge makes the designs more reliable and ready for real-world application. For example, airflow simulations demonstrated that the M1 model can reduce heat buildup and improve comfort without relying heavily on mechanical cooling systems. This reduces energy demand and makes housing more sustainable in regions where electricity can be expensive or unreliable. The comparison of Makran and Chittagong also highlights how different regions can learn from one another. Both face similar challenges, including high temperatures, high humidity, limited resources, and vulnerability to storms and floods. However, each has developed unique ways to adapt: Chittagong with lightweight, ventilated structures, and Makran with heavy, insulating walls and shaded courtyards. The study demonstrates that combining these approaches in container housing can yield designs that are both flexible and effective in many coastal regions worldwide.

In conclusion, the study demonstrates that temporary housing solutions do not have to be limited or low quality. By utilizing modular container design informed by local traditions and tested through simulations, it is possible to create housing that is affordable, quickly built, comfortable, and sustainable. The M1 model, with its single-story courtyard design, represents the best option tested for the climate of southern Iran. However, the lessons from this study



also apply to other regions, particularly developing countries with similar climates and industrial demands. Container housing, carefully designed, can help meet urgent housing needs while supporting the long-term goals of resilience, sustainability, and environmental responsibility.

**Keywords:** Modular, Container housing, Sustainability, Optimization, Layout pattern

## واکاوی الگوی چیدمان اقلیمی مسکن کانتینری در مکران با رویکرد مصرف انرژی<sup>۱</sup>

کیمیا اربابی<sup>۲</sup>، ساره نیک‌آبادی<sup>۳</sup>

تاریخ دریافت: ۲۲-۱۰-۱۴۰۳، تاریخ پذیرش: ۳۰-۰۶-۱۴۰۴

DOI: 10.22034/rau.2025.2050459.1123

### چکیده

بحث اسکان موقت با توجه به هزینه‌های چالش برانگیز مسکن یک موضوع جدی بخصوص در کشورهای در حال توسعه به شمار می‌آید. صنعتی شدن جوامع در حال توسعه مانند ایران، تحولاتی را در سبک زندگی و کار افراد به وجود آورده است. بسیاری از صنایع به دلیل نیازهای تخصصی و ایجاد آلودگی‌های زیست‌محیطی از شهرهای اصلی فاصله گرفته‌اند. این تغییرات موجب حضور بسیاری از متخصصین و مهندسیین مشغول به کار در این صنایع دور از شهر محل اقامت خود و در سایت‌های صنعتی شد. بومی نبودن این افراد منجر به مسئله جدیدی به نام «اقامت موقت» در این مناطق شد. ساحل مکران در جنوب کشور ایران یکی از مناطقی است که به دلیل همجواری با صنایع مختلفی همچون پتروشیمی و فولاد و بازرگانی بین‌المللی کشتیرانی و عملیات ساخت طرح‌های عمرانی و صنعتی مختلف، یکی از این مناطق به حساب می‌آید. در حال حاضر یکی از راه‌حل‌های مورد توجه، تأمین مسکن با روش‌های ساخت مدولار و پیش‌ساختگی می‌باشد که فرصت‌هایی برای تأمین مسکن موقت، با هزینه مناسب و سرعت بالا و دسترسی نزدیک به سایت‌های صنعتی را فراهم کرده است. در این تحقیق، طراحی مدولار بر پایه استفاده از کانتینرهای حمل بار، مشابه با اصول مدولار بودن، مورد بررسی قرار می‌گیرد. کانتینرهای حمل بار به عنوان یک مدول پایه به‌خصوص در مناطق ترانزیتی به علت در دسترس بودن (مانند ساحل مکران ایران و ساحل چیتاگونگ<sup>۱</sup> بنگلادش) میتوانند این روش ساخت را مورد استفاده قرار دهند و تحقیقات و مشاهدات پیشین در مناطق بندری و ترانزیتی نشان داده است که مسکن کانتینری، مسکن ساخته شده از کانتینرهای حمل و نقل، می‌تواند راه حلی ممکن و مقرون به صرفه برای مسکن موقت باشد. روش این تحقیق یک روش ترکیبی کمی و کیفی شامل؛ تحلیل محتوا کیفی و مطالعه اسنادی در مرحله اول و ارزیابی کمی در مرحله دوم بود. جهت دستیابی به الگوی اولیه و بهینه چیدمان با مدول کانتینری مطالعه‌ای در بنگلادش به دلیل تشابه آب‌وهوایی الگوی پیش فرض چیدمان قرار گرفت. در بخش کمی پژوهش این

۱. این مقاله برگرفته از پایان‌نامه کارشناسی ارشد نگارنده اول با عنوان «واکاوی الگو بهینه مصرف انرژی در توسعه مسکن موقت با استفاده از مدول کانتینر» است که با راهنمایی نگارنده دوم در سال ۱۴۰۳ در دانشگاه بین‌المللی سوره دفاع شده است.

۲. دانشجوی کارشناسی ارشد، گروه معماری، دانشکده معماری و شهرسازی، دانشگاه بین‌المللی سوره، تهران.

Email: kimiaarbab@gmail.com

 0009-0009-2461-1176

۳. استادیار، گروه معماری داخلی، دانشکده معماری و شهرسازی، دانشگاه بین‌المللی سوره، تهران، ایران (نویسنده مسئول).

Email: s.nikabadi@soore.ac.ir

 0000-0001-8959-800X



در این تحقیق ساحل مکران به عنوان نمونه مطالعاتی انتخاب شده است. تحقیقات و مشاهدات پیشین در مناطق بندری نشان داده است که مسکن کانتینری - مسکن ساخته شده از کانتینرهای حمل بار - می‌تواند راه حلی ممکن و مقرون به صرفه برای مسکن موقت باشد. (Rodrigue et al., 2016).

برای پیشنهاد یک الگوی چیدمان بهینه، با توجه به تعدد الگوهای قرارگیری مدول‌ها در کنار هم، گزینه‌های زیادی وجود داشت که باید با روشی تعداد آن‌ها محدود میشد. به این منظور، مقایسه تطبیقی دو منطقه مکران و چیتاگونگ می‌تواند در تطبیق الگوها و تسریع دستیابی به نتایج مؤثر باشد. بدون محدود کردن انتخاب الگوی چیدمان؛ عمل شبیه‌سازی تک به تک جهت دستیابی به چند الگوی محدود بهینه، جهت انجام محاسبات پژوهش زمان بر می‌بود و استفاده از مطالعات مشابه و تطبیق آن برای استخراج الگوی چیدمان جهت تسریع پژوهش راهکاری منطقی می‌باشد. به این منظور تحقیق Haque و همکاران (۲۰۲۲) الگو قرار گرفت که بر اساس الگوریتم‌های مختلف در نرم‌افزار گرس هاپر و راینو مجموعه‌ای از چیدمان‌ها با تطبیق محیطی، آب‌وهوا و استانداردهای حداقلی زندگی، بررسی شده است و به شش الگوی چیدمان مدول بر اساس تیپولوژی حیات مرکزی و کاهش مصرف انرژی، برای سواحل چیتاگونگ در بنگلادش، رسیده است.

سواحل جنوبی ایران و منطقه ساحلی چیتاگونگ بنگلادش، دو منطقه با شرایط آب‌وهوایی مشابه، نمونه‌هایی ارزشمند از این نوع معماری را به نمایش می‌گذارند. این دو منطقه، علی‌رغم تفاوت‌های جغرافیایی و فرهنگی، با چالش‌های مشترکی همچون گرمای شدید، رطوبت بالا و نیاز به تأمین آسایش حرارتی روبه‌رو هستند. معماری بومی در این مناطق توانسته است با بهره‌گیری از مصالح بومی و طراحی‌های سازگار با اقلیم، پاسخ‌هایی پایدار و کارآمد به این چالش‌ها ارائه دهد. پژوهش‌های پیشین عمدتاً به بررسی ویژگی‌های معماری بومی این مناطق به صورت جداگانه پرداخته‌اند. برای مثال، مطالعه به روی سواحل جنوبی ایران نشان داده است که استفاده از مصالحی همچون خشت و گل، دیوارهای ضخیم و حیاط‌های مرکزی به کاهش نفوذ گرما و تأمین جریان هوا کمک می‌کند. در مقابل، معماری بومی چیتاگونگ بر استفاده از مصالح سبک‌تر مانند بامبو و طراحی بازشوهای بزرگ برای بهبود تهویه طبیعی متمرکز بوده است. در این مطالعه شش

فرض تحقیق به وسیله نرم‌افزار دیزاین بیلدر مورد آزمایش و شبیه‌سازی و با توجه به اقلیم سواحل مکران در ایران قرار گرفت. یافته‌ها نشان داد که از میان چیدمان‌های مربوطه؛ به ترتیب چیدمان یک طبقه با ایجاد یک حیاط مرکزی (M1) با دستیابی به سرعت باد<sup>۲</sup> حداکثری 2.79 m/s و میانگین سرعت باد 0.51-2.03 m/s در حیاط مرکزی و اختلاف فشار<sup>۳</sup> 8.35 pa نسبت به حالت‌های دیگر که دو یا سه حیاط مرکزی و یا طبقات اضافی در برخی جهات را دارا بودند، از کارایی بهتری در تهویه طبیعی و گردش هوا در حیاط مرکزی برخوردار بوده و شرایط بهینه تری را رقم زدند. پس میتوان با در نظر گرفتن این موضوع این مدل را برای چیدمان بر اساس مدول کانتینر پیشنهاد داد و جهت توسعه در سواحل و مناطق جنوبی ایران مانند مکران استفاده کرد.

**کلیدواژه‌ها:** مدولار، مسکن کانتینری، پایداری، بهینه‌سازی، الگوی چیدمان

## مقدمه

مشکلات و هزینه‌های ساخت‌وساز در همه کشورها، به‌ویژه در کشورهای در حال توسعه، با توجه به شرایط اقتصادی آنها کاملاً مشهود است. این چالش‌ها و هزینه‌های مرتبط با ساخت‌وساز به‌خصوص در حوزه مسکن افراد را تحت تأثیر قرار می‌دهد (قربانی و شاه‌رودی، ۲۰۱۹). استفاده از کانتینرهای استاندارد شده، مشابه با اصول مدولار بودن، امکان طراحی و ساخت سریع‌تر را فراهم می‌کند و انعطاف‌پذیری بالایی در پیکربندی فضاها ایجاد می‌کند. همچنین، این نوع مسکن با توجه به استفاده مجدد از کانتینرهای قدیمی، با قابلیت جابجایی، سرعت ساخت، و کاهش هزینه‌های مصالح و نیروی کار، به عنوان یک راهکار پایدار و سازگار با محیط زیست مورد توجه قرار گرفته است (Haqu, Aman & Mohammad, 2022).

کانتینرهای حمل بار به عنوان یک مدول پایه به‌خصوص در مناطق ترانزیتی (مانند ساحل مکران ایران و ساحل چیتاگونگ بنگلادش) می‌توانند این روش ساخت را مورد استفاده قرار دهند. این تحقیق سعی دارد با معرفی الگویی در چیدمان بهینه مدول کانتینر، به طراحان، معماران و مهندسان در طراحی مسکن موقت در مناطق ساحلی جنوبی ایران (که کانتینرهای حمل بار به عنوان یک مدول پایه در دسترس است) کمک کند.

شباهت‌ها و تفاوت‌های الگوهای بومی معماری مسکونی در مناطق گرم و مرطوب جنوب ایران و منطقه ساحلی چیتاگونگ بنگلادش پرداخته است. سپس از طریق تحلیل محتوای کیفی و روش استدلال منطقی به شناسایی و تطبیق تأثیر اقلیم بر طراحی بر اساس نوع مصالح ساختمانی مورد استفاده، درصد و الگوی بازشوها، و جهت‌گیری بناها، نحوه چیدمان مدول کانتینری در این دو منطقه و در پایان استخراج داده‌های بهینه جهت پیاده‌سازی در سواحل مکران ایران می‌پردازد.

در مرحله دوم، این پژوهش با شبیه‌سازی مدول‌های کانتینری و محاسبات خارجی مکانیک سیالاتی (CFD<sup>۲</sup>) به وسیله نرم‌افزار دیزاین بیلدر است. احجام کانتینر به منظور تمرکز بر روی تأثیر نحوه چیدمان مدول‌های کانتینری در گردش هوا و ورود جریان باد مطلوب منطقه انتخابی (ساحل مکران) به صورت صلب در نظر گرفته شد تا بهینه‌ترین چیدمان برای طراحی مبتنی بر مدول کانتینر در این منطقه انتخاب شود. اطلاعات اقلیمی و نمونه‌های معماری از هر دو منطقه بررسی شد و معیارهایی همچون تأمین آسایش حرارتی و عملکرد تهویه طبیعی خارجی با توجه به چیدمان مدول‌ها مورد ارزیابی قرار گرفت. در پایان این تحقیق با به‌کارگیری روش تحلیل محتوای کیفی ادبیات تحقیق در مرحله اول و روش تحلیل کمی داده‌ها از طریق نرم‌افزار دیزاین بیلدر در مرحله دوم، به ارائه الگوی بهینه‌ای در مصرف انرژی بر اساس چیدمان مدول‌های کانتینر در مناطق گرم و مرطوب می‌پردازد. تطبیق معماری بومی این دو منطقه می‌تواند با ترکیب سنت و نوآوری نه‌تنها درک بهتری از چالش‌های اقلیمی ارائه دهد، بلکه به طراحی‌های پایدار و هماهنگ با محیط کمک کند.

### پیشینه تحقیق

مرور ادبیات با تمرکز بر موضوعاتی نظیر؛ اهمیت تاب‌آوری در برابر اقلیم مناطق ساحلی، ماهیت مسکن بومی در دو منطقه مکران و چیتاگونگ، ویژگی‌های کانتینر حمل و نقل به عنوان یک واحد مسکونی صورت گرفت.

### ویژگی‌های مسکن سنتی و دستورالعمل‌های مسکن ساحلی در بنگلادش

بنگلادش دارای سنتی غنی در شکل‌گیری و توسعه سکونتگاه بومی است. این سکونتگاه‌ها دارای ویژگی‌های خاصی در شکل و فناوری‌های ساخت هستند که مردم بومی آن‌ه را از اجداد

الگوی به‌دست‌آمده در تحقیق Haque و همکاران (۲۰۲۲) انتخاب شد چراکه این منطقه از لحاظ اقلیم و آب و هوا مشابه بوده و با تطبیق این الگوها در سواحل مکران و شبیه‌سازی تک به تک جهت حصول اطمینان میتوان به بهینه‌ترین الگو چیدمان مدول دست یافت.

هدف این تحقیق پیشنهاد یک الگوی بهینه از نظر شکل چیدمان و جهت‌گیری مدول‌ها است. این تحقیق به دنبال پاسخگویی به چگونگی دستیابی به الگوی مطلوب چیدمان مدول کانتینری جهت استفاده در مسکن موقت سواحل مکران می‌باشد.

### بیان مسئله

مطالعات و تحقیقات انجام شده با تمرکز بر ویژگی‌های اقلیمی و شرایط آب‌وهوایی، وضعیت ساکنان و منطقه، شباهت‌های زیادی را در مشکلات موجود در دو منطقه ساحلی چیتاگونگ بنگلادش و سواحل مکران ایران را نشان داد که میتوان به موارد زیر اشاره کرد:

- عدم برنامه‌ریزی توسعه‌ای؛ ساماندهی سکونتگاه‌ها و توسعه آینده
- عدم وجود منبع درآمد اختصاصی در خارج از فصول کاری،
- استراتژی‌های ساختمانی غیراقتصادی و هزینه‌های اضافی برای تعمیر دو بار در سال
- عدم برخورداری مناسب از نور طبیعی
- مصالح آسیب‌پذیر مانند بامبو، قلع، حصیر و نی و کاهگل.
- عدم آسایش حرارتی در فصول گرم و تأمین جریان هوا در فضای زیست
- نیاز به سکونتگاه‌های سازگار اما مستحکم در مواجهه با بلایای طبیعی و سایر تهدیدات
- تعاملات اجتماعی با تقویت شرایط و پشتوانه‌های محیطی.
- شرایط محیطی بهداشتی نامناسب در برخورداری از آب آشامیدنی تازه، سرویس بهداشتی، برق و غیره.
- موارد ذکر شده به استخراج و تدوین پارامترهای بومی مورد نیاز برای ارائه الگوی مسکن کانتینری بهینه در مراحل اولیه تحقیق کمک کرد.

### روش تحقیق

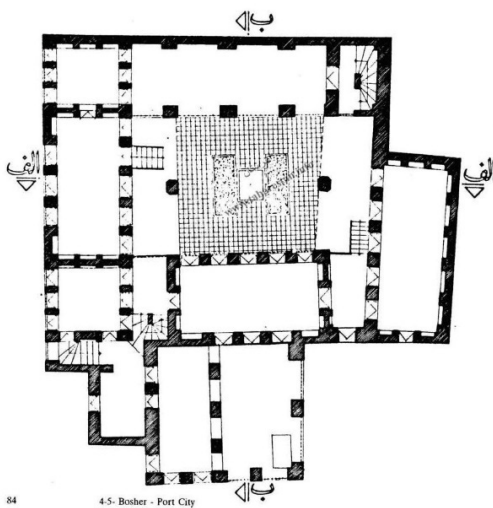
مطالعه حاضر در دو مرحله انجام گرفته است. مرحله نخست با مطالعه تطبیقی الگوهای معماری محلی این دو بوم، به بررسی



برای فعالیت‌های اجتماعی فراهم می‌کند. مصالح غالب مورد استفاده در آنها خشت، گل و چوب است که به عنوان عایق حرارتی عمل می‌کنند و از انتقال گرمای زیاد به داخل جلوگیری می‌کنند (قبادیان، ۱۳۹۲).

یکی از ویژگی‌های کلیدی طراحی مسکن در این منطقه، استفاده از بازشوهای محدود در جهت‌های شرقی و غربی و طراحی سایبان‌های عمیق برای کاهش تابش مستقیم خورشید است. در عین حال، بازشوهای بزرگ‌تر در جهت باد غالب، نسیم‌های دریایی را به داخل هدایت کرده و تهویه طبیعی را بهبود می‌بخشند.

درصد بازشوها در دیوارهای بیرونی معمولاً کمتر از ۲۰



84

4-5. Boshahr - Port City

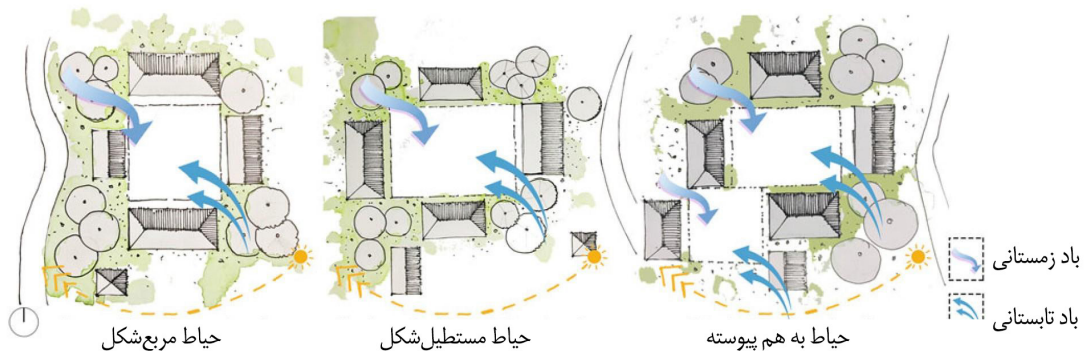
تصویر ۲. نمونه ای از خانه‌ای سنتی در بوشهر (قبادیان، ۱۳۹۲).

خود به ارث برده‌اند و دارای الگوی مناسبی برای پاسخ به این آب‌وهوای گرم و مرطوب منطقه است. شکل مستطیلی که در امتداد جهت شرقی-غربی کشیده است در اطراف یک حیاط مربع یا مستطیل شکل قرار می‌گیرد. برای ایجاد گردش هوای کافی، ساختمان‌ها در حالی که ماهیت درونگرا دارند از هم جدا هستند.

فضای باز بزرگ مرکزی به تسهیل تهویه و خنک شدن محیط کمک می‌کند. جهت کشیدگی نشیمن مرکزی به صورت شمالی-جنوبی و در امتداد حیاط است. این موضوع همچنین امکان محافظت در برابر تابش خورشید که در امتداد محور شرق به غرب است را ایجاد می‌کند. واحدهای مسکونی جدا و در عین حال نزدیک به هم هستند و دارای بازشوهایی بین ۰٫۷-۱٫۲۵ متر می‌باشند. حیاط‌ها مکان‌هایی اجتماعی هستند که به منظور برگزاری رویدادهای خانوادگی مورد استفاده قرار می‌گیرند. معمولاً خانواده‌های بزرگ‌تر دارای دو حیاط هستند که حیاط اندرونی برای زنان و کودکان و حیاط بیرونی برای فعالیت‌های مردان می‌باشد (تصویر ۱).

### ویژگی‌های مسکن سنتی و دستورالعمل‌های مسکن ساحلی در مکران

مسکن سنتی در منطقه مکران، واقع در جنوب شرقی ایران، با شرایط اقلیمی گرم و مرطوب این منطقه سازگار است، لذا توجه به کاهش گرما و رطوبت از ویژگی‌های مهم در طراحی آن است همانطور که در «تصویر ۲» نشان داده شده است خانه‌های سنتی جنوب ایران اغلب نیمه‌درون‌گرا هستند و دارای حیاط مرکزی می‌باشند که علاوه بر تسهیل تهویه طبیعی، فضای



حیاط مربع‌شکل

حیاط مستطیل شکل

حیاط به هم پیوسته

باد زمستانی

باد تابستانی

تصویر ۱. انواع مختلف حیاط در بنگلادش (Haque et al., 2022)

از آن لم یزرع باقی بمانند. خصوصیات بارز اقلیم این منطقه شامل بارش محدود، گرمای شدید تابستان، زمستان‌های ملایم، و پوشش گیاهی اندک است که همگی نقش مهمی در شکل‌دهی به معماری بومی منطقه ایفا می‌کنند (قبادیان، ۱۳۹۲) (انصاری مهباریو خدابخشیان کنارکی، ۲۰۲۳).

با توجه به تصاویر ۳ و ۴، در ناحیه ساحلی مکران و منطقه آزاد چابهار، نزدیکی به دریا، قرارگیری در حوالی مدار رأس‌السرطان، و تأثیرپذیری از بادهای موسمی شبه‌قاره هند و جبهه‌های استوایی، سبب شده است که این منطقه دارای اقلیمی گرم و نسبتاً مرطوب باشد. چابهار در زمستان به عنوان گرم‌ترین نقطه کشور و در تابستان به عنوان خنک‌ترین بندر جنوبی ایران شناخته می‌شود. طبق آمار هفت‌ساله، میانگین بیشینه دما در خرداد ۳۱ درجه سانتی‌گراد، میانگین کمینه دما در دی‌ماه ۱۹ درجه، و میانگین دمای سالانه ۲۶ درجه سانتی‌گراد گزارش شده است. رطوبت نسبی به‌طور متوسط حدود ۷۰ درصد و در کمترین حالت ۶۰ درصد است. میزان بارندگی سالانه کمتر از ۲۰۰ میلی‌متر است که بیش از نیمی از آن (۶۴ درصد) در فصل زمستان رخ می‌دهد. به‌طور کلی، اقلیم چابهار در طول سال تغییرات کمی دارد و تنها در اردیبهشت و خرداد میزان رطوبت افزایش محسوس پیدا می‌کند. به عنوان نمونه، در فصل تابستان، هوای چابهار نسبت به تهران خنک‌تر است. (لیپار، ۱۳۸۹)

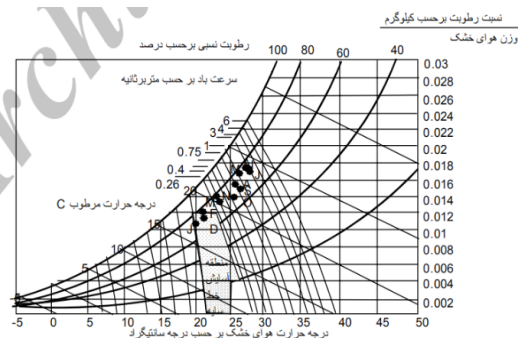
در هفت ماه از سال، ایستگاه چابهار در بالای محدوده حرارتی منطقه آسایش قرار می‌گیرد. میزان رطوبت نسبی در این هفت ماه گرم سال به بیش از ۶۴ درصد میرسد و در برخی موارد تا نزدیکی ۸۰ درصد نیز رسیده است. شرایط آب‌وهوای گرم و

درصد است تا تعادل مناسبی بین تهویه و حفظ انرژی ایجاد شود (Haque et al., 2022; Nasr Design, 2024). بر اساس این الگو، طراحی مسکن سنتی برای سواحل جنوبی باید با در نظر گرفتن ویژگی‌های محیطی به عنوان الگویی برای توسعه مسکن پایدار در این منطقه قابل توسعه باشد.

### شرایط اقلیمی کرانه شمالی خلیج فارس و سواحل مکران

این منطقه در امتداد یک نوار ساحلی باریک و طولانی با بیش از دو هزار کیلومتر امتداد قرار دارد که از اروندرود در جنوب غربی خوزستان آغاز شده و به خلیج گواتر در جنوب شرقی سیستان و بلوچستان ختم می‌شود. اقلیم منطقه گرم و مرطوب است؛ تابستان‌ها بسیار گرم و مرطوب و زمستان‌ها معتدل هستند، به‌طوری‌که فقط در ماه‌های دی و بهمن هوا تا حدی سرد می‌شود. به دلیل مجاورت با دریا، رطوبت هوا در تمام فصول بسیار بالاست، اما بارندگی سالیانه بسیار اندک است و اغلب در پاییز و زمستان رخ می‌دهد و باران اندکی هم که میبارد ایجاد سیل میکند و چون سیل بندهای کافی وجود نداشته و غلت باران به علت خاک آهکی بالا است.

زمین منطقه عمدتاً آهکی و فاقد پوشش گیاهی است، به جز نخلستان‌ها و کشت‌های محدود. آب‌های زیرزمینی اغلب شور هستند و اختلاف دمای شب و روز کم است. به علت تابش مستقیم آفتاب و تبخیر زیاد، این منطقه با رطوبت بالای هوا و کمبود منابع آبی مواجه است، که باعث شده بخش‌های وسیعی



تصویر ۴. وضعیت آب‌وهوایی ماه‌های ایستگاه چابهار در تابستان و زمستان (نجارسلیقه، ۱۳۸۳)

ماه	Annual											
	Jan	Feb	Mar	Apr	May	June	July	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec
میانگین دما	۲۰/۵	۲۱/۲	۲۴	۲۷	۳۰/۲	۳۱/۷	۳۱	۲۹/۷	۲۹	۲۸/۱	۲۵	۲۲
میانگین حداکثر دما	۲۴/۲	۲۵	۲۷/۸	۳۰/۸	۳۲/۷	۳۲/۸	۳۳/۵	۳۲/۲	۲۲	۲۲/۲	۲۱/۴	۲۰/۲
میانگین دمای بخار آب	۱۵/۳	۱۷/۴	۲۰/۷۸	۲۵/۲۶	۳۰/۴۴	۳۵/۴۵	۳۲/۸	۲۲/۲	۲۰/۲۵	۲۷/۵	۲۱/۴	۱۶/۵
میانگین حداکثر دما	۱۵/۲	۱۶/۲	۱۹/۱	۲۲/۴	۲۵/۲	۲۸	۲۸/۲	۲۷	۲۵/۵	۲۲/۸	۱۹/۱	۱۶/۵
رطوبت نسبی	۶۲	۶۸	۷۱	۷۲	۷۳	۷۶	۷۸	۷۸	۷۷	۷۳	۶۸	۶۴
دمای مرطوب	۱۵	۱۷	۱۸/۴	۲۱/۲	۲۴	۲۷/۱	۲۷	۲۶	۲۵/۵	۲۴	۱۸	۱۴/۷

تصویر ۳. ویژگی‌های دمایی و رطوبتی ایستگاه چابهار ۱۹۶۳-۱۹۹۵ (نجارسلیقه، ۱۳۸۳).



جدول ۱. تشابه آب‌وهوای دو منطقه (World Weather Online, 2014; Haque et al., 2022)

ردیف	اطلاعات	بنگلادش	ایران
۱	موقعیت جغرافیایی	بنگلادش، ساحل چیتاگونگ	بندر چابهار، استان سیستان و بلوچستان
۲	ارتفاع نسبی از سطح دریا	۲۹ متر	۸ متر
۳	دمای حداقل	۱۳٫۹ درجه سانتیگراد	۱۸ درجه سانتیگراد
۴	دمای حداکثر	۳۲٫۳ درجه سانتیگراد	۳۶ درجه سانتیگراد
۵	رطوبت نسبی	۸۵ درصد (حداکثر) / ۷۰ درصد (حداقل)	۷۲ درجه

میزان بارندگی در چیتاگونگ به دلیل تأثیر سیستم‌های مانسونی بسیار بیشتر از سواحل مکران است که این امر تأثیر مهمی در انتخاب مصالح و طراحی معماری دارد. در چیتاگونگ، به دلیل بارش بالا، از مصالح سبک و مقاوم در برابر رطوبت استفاده می‌شود (مانند بامبو و کاهگل)، در حالی که در چابهار، استفاده از مصالح سنگین‌تر نظیر سنگ و گل رایج است.

سواحل مکران ایران و چیتاگونگ بنگلادش دارای شباهت‌های قابل توجهی هستند که مقایسه تطبیقی میان این دو منطقه را ارزشمند می‌سازد. هر دو منطقه در مجاورت دریا قرار دارند و اقلیم گرم و مرطوب مشابهی دارند. رطوبت بالای هوا، اختلاف کم دمای شب و روز، و چالش‌هایی مانند سیلاب و شور بودن منابع آب زیرزمینی از ویژگی‌های مشترک این دو ناحیه است (Mazraeh, 2024) (Haque et al., 2022) (قبادیان، ۱۳۹۲)

با توجه به (جدول ۲) معماری بومی بنگلادش و کرانه جنوبی ایران هر دو به‌طور مؤثری به شرایط اقلیمی گرم و مرطوب پاسخ داده‌اند. در بنگلادش، استفاده از مصالح سبک و محلی مانند بامبو و خاک رس، همراه با طراحی سقف‌های شیب‌دار، به مدیریت بارندگی‌های شدید و رطوبت بالا کمک می‌کند. در مقابل، در کرانه جنوبی ایران، بهره‌گیری از بادگیرها و حیاط‌های مرکزی، همراه با دیوارهای ضخیم، به تهویه طبیعی و کاهش دما در محیط‌های گرم و مرطوب منجر می‌شود. هر دو سبک معماری با استفاده از مصالح محلی و طراحی‌های هوشمندانه، به‌طور پایدار با محیط زیست خود سازگار شده‌اند.

مرطوب بر منطقه حاکم است و مازاد انرژی حرارتی وجود داشته همراه با رطوبت زیاد شرایط خفقان آوری بر اقلیم منطقه حاکم می‌شود. (نجار سلیقه، ۱۳۸۳)

### شرایط اقلیمی کرانه ساحل چیتاگونگ بنگلادش

ساحل چیتاگونگ، یکی از مهم‌ترین مناطق ساحلی بنگلادش، دارای اقلیم گرم و مرطوب است. این منطقه به دلیل موقعیت جغرافیایی خود در مجاورت خلیج بنگال، با تابش شدید خورشید، رطوبت بالا، و بارندگی‌های سنگین در برخی فصول سال مواجه است. تابستان‌ها به‌طور معمول بسیار گرم و مرطوب هستند، در حالی که زمستان‌ها معتدل بوده و دمای هوا اختلاف کمی بین روز و شب دارد (Haque et al., 2022). میزان بارش سالانه در چیتاگونگ بالا است و اغلب در فصل‌های تابستان و موسمی رخ می‌دهد، که می‌تواند باعث سیلاب و تخریب زیرساخت‌ها شود. این منطقه به دلیل بارش زیاد و جریان‌های آبی سطحی، خاک حاصلخیزی دارد، اما به علت ناپایداری ناشی از سیلاب‌ها، نیاز به مدیریت دقیق زمین و منابع دارد (Hassan et al., 2000; Haque, 2021).

یکی از ویژگی‌های بارز چیتاگونگ، پوشش گیاهی متراکم آن است. این منطقه دارای جنگل‌های مانگرو در نزدیکی سواحل است که به کاهش فرسایش خاک و محافظت در برابر طوفان‌های ساحلی کمک می‌کنند. اما شور بودن آب‌های زیرزمینی در برخی نواحی چالش‌های جدی برای کشاورزی ایجاد کرده است (Minar et al., 2013). علاوه بر این، تبخیر بالای آب در تابستان و اثرات رطوبت مداوم بر ساختمان‌ها و زیرساخت‌ها، از جمله چالش‌های عمده اقلیمی هستند که معماری بومی منطقه به آنها پاسخ داده است (Haque et al., 2022).

### مقایسه ساحل چیتاگونگ بنگلادش و ساحل مکران

همانطور که در «جدول ۱» نشان داده شده است، هر دو منطقه سواحل مکران و چیتاگونگ شباهت‌های قابل توجهی در ویژگی‌های آب‌وهوایی دارند. به‌طور خاص، هر دو دارای دمای بالا و رطوبت نسبی قابل توجهی هستند. این موضوع نشان‌دهنده تأثیر مستقیم همجواری با دریاست که منجر به افزایش تبخیر و حفظ رطوبت می‌شود.

در عین حال، تفاوت‌هایی نیز وجود دارد؛ به عنوان مثال،

جدول ۲. جزئیات و ویژگی‌های معماری بومی بنگلادش و کرانه شمالی خلیج فارس و سواحل مکران (Nasr Design, 2024; Mazraeh, 2024); (Haque et al., 2022; Kashiha, 2022)

ویژگی‌ها	معماری بومی ساحل چیناگونگ بنگلادش	معماری بومی کرانه شمالی خلیج فارس و سواحل مکران
اقلیم	گرم و مرطوب با بارندگی‌های موسمی شدید.	گرم و مرطوب با رطوبت بالا و بارندگی کم.
مصالح ساختمانی بومی	خاک رس، حصیر و کاهگل؛ بامبو (Omehrazan, 2024)	خشت، گل خاک رس، سنگ‌های محلی، نی و حصیر و برگ نخل خرما
نوع سقف‌ها	سقف‌های شیب‌دار برای هدایت آب باران و جلوگیری از نفوذ رطوبت؛ معمولاً با پوشش‌های گیاهی، پوشال یا ورق‌های فلزی هستند.	سقف‌های مسطح یا گنبدی با استفاده از تیرهای چوبی و پوشش کاهگل
تهویه و نورگیری	طراحی بازسویهای بزرگ و استفاده از حصیرهای بافته‌شده برای عبور هوا و نور؛ ایجاد فضاهای نیمه‌باز مانند ایوان‌ها برای تهویه طبیعی / پنجره‌های بزرگ با کرکره‌های چوبی یا نی برای تهویه طبیعی و خنک‌سازی استفاده می‌شوند.	استفاده از بادگیرها، ایوان‌های بلند به سمت کوچه و حیاط مرکزی. حیاط‌های مرکزی برای کاهش دما؛ / پنجره و سقف‌های بلند. / استفاده از تهویه دو طرفه و پنجره در دو سمت جهت کوران هوا. / چابنا‌های مشبک / پنجره‌های دارای شیشه‌های رنگی برای کاهش نفوذ نور خورشید و تنظیم نور داخلی (در پنجره‌هایی که به سمت حیاط باز می‌شود استفاده از شیشه‌هایی با رنگ‌های گرم کاهش یافته ولی رنگ‌های سرد مانند آبی و سبز بیشتر به چشم می‌خورد. همچنین در این اقلیم رنگ آبی کم‌رنگ و فیروزه‌ای هم مورد استفاده قرار گرفته که این رنگها در اقلیم‌های دیگر مشاهده نمی‌شود). (عمادی ونصر، ۱۳۹۷)
پلان و سازمان‌دهی فضا	پلان‌های انعطاف‌پذیر با فضاهای چندمنظوره؛ جداسازی فضاهای خدماتی مانند آشپزخانه و سرویس‌های بهداشتی از فضای اصلی زندگی (خان‌زاد، ۱۴۰۱) شکل پلان‌ها ساده و مستطیل شکل هستند تا گردش هوا را تسهیل کنند. فضای مرکزی معمولاً باز است و نقش حیاط را دارد. چیدمان: آشپزخانه‌ها جدا و انبار مجزا؛ فضاهای اصلی در مرکز و متصل به ایوان‌های باز یا نیمه‌باز معمولاً دوطبقه؛ طبقه بالا برای خواب و نگهداری اشیاء ارزشمند به علت رطوبت جهت‌گیری مناسب برای بادهای موسمی و کاهش تابش مستقیم آفتاب جهت‌گیری شمال-جنوب یا کمی متمایل به شرق	پلان‌های نیمه درون‌گرا با حیاط مرکزی؛ فضاهای مسکونی در اطراف حیاط برای حفظ حریم خصوصی و کاهش تأثیرات اقلیمی؛ جداسازی فضاهای خدماتی از فضاهای اصلی و به خاطر رطوبت و نیم طبقه اول به صورت خدماتی و آشپزخانه و انبار بوده و طبقات بالا برای اتاق‌ها و عدم وجود زیر زمین پلان‌های کشیده در محور شرقی-غربی (سعادت، نژاد سیامک و پورعلیخانی، ۱۳۹۴). شکل پلان - مستطیلی یا مربعی با حیاط مرکزی کوچکتر نسبت به بقیه نقاط ایران - دارای ایوان دور تا دور حیاط مرکزی چیدمان فضا - آشپزخانه‌ها در حاشیه؛ فضاهای اصلی دور حیاط مرکزی و فضای زندگی در طبقه دوم تعداد طبقات - اغلب دوطبقه (طبقه بالا برای خواب) محور جهت‌گیری شرق-غرب برای استفاده از باد و سایه (مصوری نظام آباد، ۱۴۰۰)
نمونه پلان	 <p>شکل ۲-۴ - حیاط مرکزی، ایوان سرتاسری، باز بودن نسبی اطراف بدنه خارجی (قیادیان، ۱۳۹۲)</p>  <p>INTBAU (2017) منبع تصویر</p> <p>(Rethinking The Future, 2022)</p>	 <p>شکل ۲-۴ - حیاط مرکزی، ایوان سرتاسری، باز بودن نسبی اطراف بدنه خارجی (قیادیان، ۱۳۹۲)</p>  <p>(انصاری مهباری و خدابخشیان کناری، ۲۰۲۳)</p>
ارتفاع ساختمان‌ها	ساختمان‌های یک یا دو طبقه با ارتفاع کم؛ برای مقاومت در برابر بادهای موسمی و سیلاب‌ها.	ساختمان‌های یک یا دو طبقه؛ در برخی مناطق با ارتفاع بیشتر برای بهره‌گیری از جریان هوای خنک
پیشگیری از سیلاب	ساخت ساختمان‌ها بر روی سکوهای بلند یا پایه‌های چوبی برای جلوگیری از نفوذ آب؛ استفاده از مصالحی که در برابر رطوبت مقاوم هستند. (تحریریه معماری آزل، ۱۳۹۵)	ساخت بناها بر روی سکوهای بلند (۱٫۵ متر یا بیشتر) برای جلوگیری از ورود آب باران؛ ایجاد سکوهای سنگی یا خشتی برای بالا بردن سطح ساختمان از زمین؛ طراحی سیستم‌های زهکشی برای هدایت آب‌های سطحی و جلوگیری از تجمع آب در اطراف ساختمان.
تزئینات و جزئیات	استفاده از الگوهای سنتی در بافت حصیرها و تزئینات چوبی؛ رنگ‌های طبیعی و هماهنگ با محیط.	تزئینات گچ بری، کاشی کاری و نقوش هندسی؛ رنگ‌های روشن برای کاهش جذب حرارت و انعکاس نور خورشید. سقف‌های مسطح.



### تحلیل تشابهات تأثیر اقلیم بر معماری این دو منطقه:

- هر دو منطقه به دلیل رطوبت بالا و اقلیم گرم و مرطوب، طراحی‌هایی دارند که بر تهویه طبیعی و کنترل رطوبت تأکید دارند.

- استفاده از مواد بومی مثل نی و حصیر و کاهگل در هر دو منطقه متداول است که با دسترسی محلی و شرایط اقتصادی هماهنگی دارد.

- استفاده از حصیر و نورگیرهای مشبک در قسمت‌های مختلف بنا جهت سایه اندازی و در عین حال اجازه تهویه مناسب.

- استفاده از حیاط مرکز در هر دو اقلیم و تفکیک فضاهای اقامتی و خدماتی

- پنجره‌های بلند جهت تهویه هوا

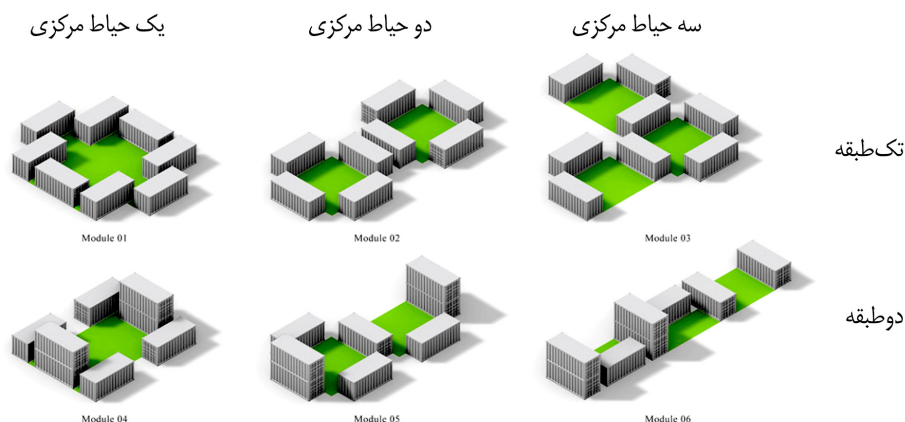
- ایجاد فضاهای نیمه باز مثل ایوان‌ها و سایه اندازی در مسیرهای رفت و آمد

- استفاده از پلان‌های کشیده و مستطیلی در محور مورد نیاز برای بهبود تهویه و کاهش بار سرمایشی

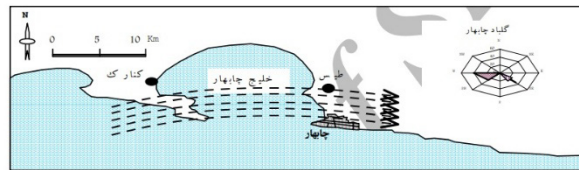
با توجه به تشابهات معماری بومی و اقلیم این دو منطقه میتوان از الگوی پیشنهادی چیدمان برای مدول کانتینری در سواحل بنگلادش برای سواحل مکران ایران نیز استفاده کرد. از آنجایی که در هر دو منطقه حیاط مرکزی نقش مهمی داشته؛ در این تحقیق از شبیه‌سازی الگویی در چیدمان مدول‌های کانتینر بر اساس مطالعه‌ای مشابه در سواحل بنگلادش استفاده شد که بر اساس آن تیپولوژی حیاط مرکزی اصل شکل‌گیری چیدمان بود. (Haque et al., 2022). در این مدل از ۸ کانتینر

با فاصله‌های چیدمان تقریبی ۱ متری به صورت یک و دو طبقه استفاده شد (شکل ۵).

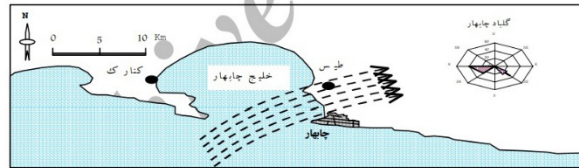
احجام کانتینر به صورت صلب در نظر گرفته شده و تمرکز بر روی نحوه چیدمان مدول‌های کانتینری به منظور گردش هوا و جریان باد مطلوب بود. ۶ مدل مختلف حیاط مرکزی و چیدمان کانتینرها به عنوان مدول پایه در نرم‌افزار دیزاین بیلدر شبیه‌سازی شد و داده‌های آب‌وهوایی با فرمت EPW<sup>۵</sup> چابهار ایران به عنوان فایل آب‌وهوایی و پایه در نرم‌افزار وارد شد تا شبیه‌سازی به صورت دقیق تری برای این اقلیم انجام شود. علت انتخاب این نرم‌افزار دقت قابل قبول در شبیه‌سازی دما و سرعت باد بوده و در تحقیقاتی مانند Chowdhury, Rasul & Khan (۲۰۲۲) از این نرم‌افزار جهت ارزیابی عملکرد حرارتی یک ساختمان با استفاده رویکرد دینامیک سیالات محاسباتی، استفاده شده است. حتی اعتبارسنجی دقت شبیه‌سازی نرم‌افزار دیزاین بیلدر در تحقیق Abba و همکاران (۲۰۲۲) با استفاده از داده‌های اندازه‌گیری شده در میدان دمای هوای داخل ساختمان در یک ساختمان کلاسی نیز مورد بررسی قرار گرفته است. در این پژوهش دینامیک سیالات محاسباتی (CFD) خارجی این محیط بازسازی شد و خروجی فشار و سرعت باد استخراج شد. جهت باد دریا که به صورت غالب غربی و جنوب غربی در درجه ۲۷۰ به صورت ساعتگرد از جهت شمال با توجه داده‌های آب‌وهوایی به دست آمده تنظیم شده است. (تصویرهای ۶ و ۷)



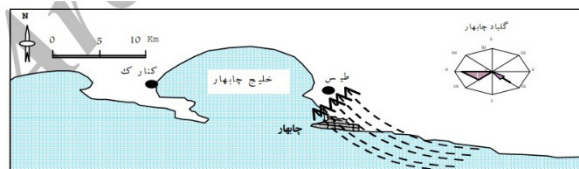
شکل ۵. شش مدل معرفی شده بر اساس تیپولوژی حیاط مرکزی - (Haque et al., 2022)



شکل : جهت وزش باد در ماه‌های آوریل، مارس، فوریه، ژانویه و دسامبر (باد غالب)

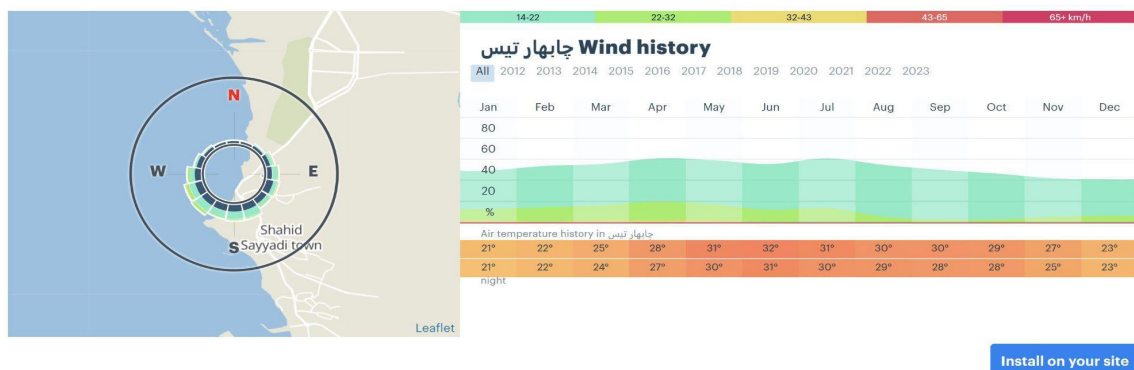


شکل : جهت وزش باد در ماه‌های مه، اکتبر و نوامبر



شکل : جهت وزش بادهای غالب در ماه‌های ژوئن، ژوئیه، آگوست و سپتامبر

تصویر ۶. جهت وزش باد و باد غالب در ماه‌ها مختلف سال در چابهار (نجار سلیقه، ۱۳۸۳).



شکل ۷. جهت باد دریا (Windy, 2024).

عکس ساعت، طوری تنظیم شد که باد به داخل حیاط مرکزی بیشتر نفوذ کرده و سرعت باد (velocity) آن کم نشود و فشار (pressure) را در قسمت غربی تعدیل کند (تصویر ۸).

با توجه به شرایط اقلیمی چابهار، لازم است بازشوها به‌گونه‌ای طراحی شوند که در مسیر نسیم‌های غالب قرار گیرند تا امکان جریان طبیعی هوا در فضاها داخلی، به‌ویژه

میزان وزش باد به صورت میانگین ۳ متر بر ثانیه یا حدوداً همان ۱۰/۷ کیلومتر بر ساعت و شبکه مش بندی به ۲ برابر طول و عرض و ارتفاع سایت در نظر گرفته شد و مدول‌های کانتینری ۴۰ فوتی مکعب با؛ طول خارجی (پشت تا پشت) ۱۲/۱۹۲ متر؛ عرض خارجی (پشت تا پشت) ۲/۴۳۸ متر؛ ارتفاع خارجی (پشت تا پشت): ۲/۵۹۱ متر در نظر گرفته شد. علاوه‌بر این، مدول‌ها با زاویه چرخشی حدوداً ۳۰ درجه جهت

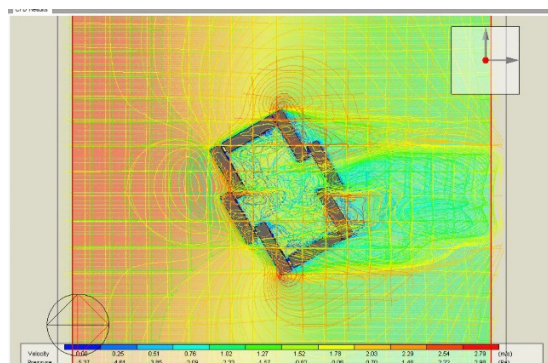


طبیعی خارجی با توجه به چیدمان مدول‌ها صورت گرفت. شبیه‌سازی شش مدل پایه چیدمان به وسیله نرم‌افزار دیزاین بیلدر انجام شد که نحوه محاسبه فشارها در این نرم‌افزار از طریق فایل‌های EPW جهت شبیه‌سازی پارامترهای محیطی مانند سرعت باد، جهت باد، دما و رطوبت استفاده می‌کند و فشار و سرعت هوا بر اساس قوانین مختلف محاسبه می‌شود و نرم‌افزار برای دینامیک سیالات محاسباتی (CFD) از این تکنیک برای شبیه‌سازی دقیق توزیع فشارها و سرعت جریان در محیط استفاده می‌کند. این شامل مش‌بندی محیط و حل معادلات حرکت سیالات است (DesignBuilder (n.d.) در

در ارتفاعی معادل ناحیه زندگی انسان (تا حدود ۲ متر)، فراهم شود. (نجارسلیقه، ۱۳۸۳) این توزیع جریان باعث افزایش تهویه طبیعی، کاهش دما در فضای حیاط مرکزی، جلوگیری از انباشت هوای گرم شده است و نقاط قوتی مانند، تهویه مؤثر به دلیل شتاب باد در خروجی و نفوذ آسان باد به داخل و تعادل فشار در فضای حیاط که آسایش حرارتی ساکنین را فراهم می‌کند (تصویر ۸).

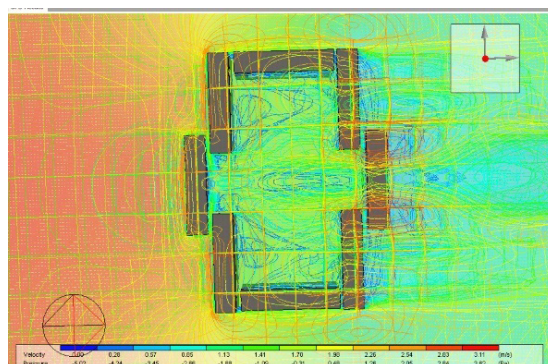
### یافته‌های تحقیق

مقایسه تطبیقی مدول‌ها بر اساس شبیه‌سازی عملکرد تهویه



الف) مدول‌ها با چرخش پاد ساعتگرد ۳۰ درجه به سمت غرب

در مدول با چرخش ۳۰ درجه، مشخص میشود که خطوط جریان باد در ناحیه ورودی مدل حیاط مرکزی بدون مانع وارد فضا شده و سپس در داخل حیاط به صورت گردشی و چرخشی حرکت می‌کنند. این حرکت چرخشی باد در حیاط مرکزی، منجر به افزایش تبادل حرارتی و کاهش دمای فضای داخلی می‌شود. در این چرخش در خروجی باد، خطوط جریان متراکم‌تر و فشرده‌تر می‌شوند که نشان‌دهنده تسریع باد در خروج از فضای داخلی است.



ب) مدول‌ها به صورت قائم در راستای کشیده شمالی-جنوبی

در مدل قائم سرعت باد توسط مدول‌های غربی سد شده و ورودی هوا را مسدود کرده است و سرعت باد در حیاط مرکزی ۱/۱۸ متر بر ثانیه نهایتاً میرسد ولی در حالت چرخش ۳۰ درجه سرعت باد به ۱/۷۸ متر بر ثانیه میرسد. تصویر ۸. نمایش و مقایسه چرخش مدول‌ها.

جدول ۳. مقایسه تطبیقی مدل‌ها بر اساس شبیه‌سازی عملکرد تهویه طبیعی خارجی با توجه به چیدمان مدل‌ها

مدل‌ها	ارجاع مدل پایه چیدمان	سرعت باد و فشار باد (Velocity & pressure)	توضیحات
M1	<p>Module 01</p>		<p>الگوی فشار و سرعت:            ناحیه قرمز (سرعت و فشار بالا): در بخش خروجی باد (سمت راست تصویر)، افزایش سرعت باد و فشار بالا تر مشاهده می‌شود. این نشان می‌دهد که چیدمان مدل‌ها به گونه‌ای است که جریان باد پس از ورود به حیاط مرکزی، در خروجی شتاب می‌گیرد. این اثر می‌تواند به خروج هوای گرم از فضای داخلی کمک کند و به تهویه مؤثر منجر شود.            ناحیه زرد-سبز (سرعت متوسط): در اطراف مدل‌های کانالیزاسیون و نزدیک حیاط مرکزی، سرعت باد متوسط و فشار کمتری ثبت شده است. این نشان می‌دهد که باد در این نواحی کاهش سرعت پیدا کرده و به آرامی وارد فضای داخلی حیاط می‌شود.            ناحیه آبی-سبز تیره (سرعت و فشار پایین): نواحی پشت مدل‌ها (جهت مقابل باد) و داخل حیاط مرکزی نشان‌دهنده کاهش فشار هستند. این کاهش فشار باعث ایجاد مکش و ورود جریان هوا به داخل حیاط مرکزی می‌شود. که برای تهویه طبیعی مفید است. تحلیل خطوط جریان باد: خطوط جریان باد در ناحیه ورودی حیاط مرکزی به صورت موازی و مستقیم وارد فضا شده و سپس در داخل حیاط به صورت گردشی و چرخشی حرکت می‌کنند. این حرکت چرخشی باد در حیاط مرکزی، منجر به افزایش تبادل حرارتی و کاهش دمای فضای داخلی می‌شود. در خروجی باد، خطوط جریان متراکم‌تر و فشرده‌تر می‌شوند که نشان‌دهنده تسریع باد در خروج فضای داخلی است.</p>
M2			<p>تحلیل تصویر فشار (ایزومتریک)            ناحیه داخلی حیاط مرکزی: در داخل حیاط مرکزی، خطوط فشار پراکنده‌تر هستند و نشان‌دهنده کاهش سرعت و فشار باد در این فضا است. جریان‌های کم‌سرعت در این ناحیه ممکن است منجر به ایجاد تهویه ضعیف شوند. ناحیه قرمز (فشار بالا): در مناطق جلوی مدل‌های روبه‌روی جریان باد (جهت غرب و جنوب غرب)، فشار بالاتری مشاهده می‌شود. این امر به دلیل برخورد مستقیم باد به این سطوح صلب رخ داده است. این مناطق به عنوان موانع برای جریان هوا عمل می‌کنند. ناحیه آبی (فشار پایین): در نواحی پشت مدل‌ها (در جهت مخالف باد)، فشار کاهش یافته و جریانی از هوای کم‌فشار تشکیل شده است. این جریان‌ها می‌توانند باعث ایجاد گردش هوا در حیاط مرکزی شوند. سرعت بالا (رنگ قرمز): در مناطقی که باد از میان مدل‌ها عبور می‌کند (ورودی و خروجی‌های حیاط مرکزی)، افزایش سرعت مشاهده می‌شود. سرعت پایین (رنگ آبی): در بخش‌های داخلی حیاط مرکزی، جریان هوا کاهش یافته و آرام‌تر است که ممکن است منجر به کاهش خنک‌کنندگی باد شود.</p>
M3			<p>سرعت باد در لبه‌های کانالیزاسیونها و پهلوها در نقاط تقاطع جریان باد با دیواره‌های خارجی به حداکثر مقدار خود می‌رسد.            داخل حیاط مرکزی، سرعت باد کاهش یافته            نواحی نزدیک به دیواره‌های بیرونی کانالیزاسیونها، پهلوها در جهتهای که باد غالب به آن برخورد می‌کند، فشار مثبت و بالا را نشان می‌دهند. این امر ناشی از برخورد مستقیم جریان باد با این سطوح است.            داخل حیاط مرکزی و بخش‌هایی که در سایه‌باد قرار دارند (جایی که باد جریان مستقیم خود را از دست می‌دهد)، فشار به شدت کاهش یافته و به نواحی فشار منفی می‌رسد. این نشان‌دهنده این است که نحوه چیدمان کانالیزاسیونها به گونه‌ای بوده که باد با فشار بیشتری به نقاط خارجی این مدل‌ها برخورد می‌کند.</p>



جدول ۳. مقایسه تطبیقی مدل‌ها بر اساس شبیه‌سازی عملکرد تهویه طبیعی خارجی با توجه به چیدمان مدل‌ها

مدل‌ها	ارجاع مدل پایه چیدمان	سرعت باد و فشار باد (Velocity & pressure)	توضیحات
M 4			(مشاهده سرعت باد بر اساس نوار مقیاس (متر بر ثانیه): نواحی قرمز در تصویر دوم سرعت باد را تا مقدار ۲٫۹۵ متر بر ثانیه نشان می‌دهند. این سرعت در نقاطی رخ می‌دهد که باد بدون مانع به سطوح برخورد می‌کند. عمدتاً در لبه‌های خارجی مدل‌ها. مناطق زرد سرعتی در محدوده ۱٫۰۷ تا ۱٫۹۲ متر بر ثانیه را نشان می‌دهند. این جریان‌ها عمدتاً در مسیرهای بین مدل‌ها و در حال حرکت به سمت مرکز حیاط مشاهده می‌شوند. در مناطق سبز و آبی، سرعت کاهش یافته و به مقادیر ۰٫۱۳ تا ۰٫۸۱ متر بر ثانیه می‌رسد. این کاهش سرعت در مرکز حیاط و در نواحی سایه جریان باد دیده می‌شود (ایزومتریک فشار هوا): در بخش‌هایی با رنگ قرمز، فشار به مقدار ۲٫۶۱ پاسکال یا بیشتر می‌رسد. این نواحی عمدتاً در لبه‌های خارجی مدل‌ها و نقاط برخورد مستقیم باد با دیواره‌های کانتینری قابل مشاهده است. رنگ زرد نشان‌دهنده فشار بین ۰٫۱۳ تا ۰٫۲۴ پاسکال است که در نقاطی با کاهش جریان مستقیم و نفوذ اولیه باد به حیاط مرکزی دیده می‌شود. مناطق سبز فشارهای منفی را نشان می‌دهند که در محدوده ۰٫۹۲- تا ۰٫۸۷- پاسکال قرار دارند و عموماً در پشت دیواره‌ها یا نواحی سایه جریان باد قرار دارند.
M5			نواحی با فشار مثبت بالا (رنگ زرد تا قرمز): نواحی بیرونی کانتینرها که مستقیماً با باد غالب برخورد دارند، بالاترین فشار را نشان می‌دهند (حدود ۱٫۹۳ تا ۲٫۵۹) ناحیه‌ای در بخش چپ و بالای تصویر. با برخورد جریان مستقیم باد، فشار مثبت بیشتری دارد. شت کانتینرها (ناحیه سایه‌باد) و داخل حیاط مرکزی. نواحی با فشار منفی مشهود هستند. حدوداً منفی ۲٫۲ که نشان‌دهنده مکش هوا در این نقاط است. رعت باد در اطراف لبه‌های کانتینرها، به‌ویژه جبهه‌های موافق با جریان باد غالب، به حداکثر می‌رسد و داخل حیاط مرکزی و پشت کانتینرها (در سایه‌باد)، سرعت به کمترین مقدار خود می‌رسد.
M 6			نقاطی که در معرض برخورد مستقیم باد غالب قرار دارند، مانند لبه‌های روبروی جریان باد در کانتینرها، بالاترین فشار را نشان می‌دهند. حداکثر مقدار فشار حدود 1.61 Pa در نقاطی نزدیک به گوشه‌های کانتینرها مشاهده می‌شود. پشت کانتینرها (در نواحی سایه‌باد)، فشار کاهش یافته و به مقادیر منفی (2.40 Pa-) می‌رسد. سرعت باد در اطراف کانتینرها و لبه‌های آنها افزایش یافته و به حداکثر مقدار (2.54 m/s) می‌رسد. جریان‌های سریع‌تر در نواحی ورودی و خروجی باد از میان کانتینرها قابل مشاهده هستند. در سایه‌باد پشت کانتینرها و در برخی نواحی داخلی حیاط، سرعت به مقادیر بسیار کم (0.23 تا 0.46 m/s) کاهش می‌یابد.

تحلیل داده‌ها در نرم افزار دیزان بیلدر بر اساس شش چیدمان پیشنهادی در جدول ۳ و ۴ نشان داد که: سیستم تهویه مدل «M1» کارایی بالاتری نسبت به بقیه مدل‌ها دارد و با توجه به این

«جدول ۳» به تفاسیر تصاویر به‌دست‌آمده از این شبیه‌سازی پرداخته شده است و سپس مقایسه مقادیر به‌دست‌آمده در «جدول ۴» تنظیم شد.

### نتیجه گیری

در این تحقیق با مقایسه تطبیقی اقلیم دو منطقه ساحلی مکران در ایران و سواحل چیتاگونگ بنگلادش، با توجه به تشابه زیادی که بین این دو منطقه وجود داشت، از مدل‌های پیشنهادی چیدمان کانتینری در سواحل چیتاگونگ به عنوان الگوچیدمان در منطقه ساحلی مکران استفاده شد. در ادامه این چیدمان‌ها بر اساس مدول کانتینر در نرم‌افزار دیزاین بیلدر شبیه‌سازی و با توجه به ویژگی‌های اقلیمی منطقه مکران محاسبه شد. تجزیه و تحلیل الگوهای جریان هوا، اختلاف فشار و آسایش حرارتی در چیدمان‌های مختلف، پارامترهای کلیدی را شناسایی کرد که تهویه طبیعی در آب‌وهوای گرم و مرطوب را افزایش می‌دهد.

نتایج این شبیه‌سازی نشان داد که چیدمان یک طبقه با ایجاد یک حیاط مرکزی نسبت به حالت‌های دیگر در تهویه طبیعی و گردش هوا در حیاط مرکزی دارای عملکرد بهینه‌تری بود. این چیدمان به عنوان مؤثرترین مدل در افزایش جریان باد و به حداقل رساندن وابستگی به انرژی بود. این مطالعه بر اساس مدول کانتینری ۴۰ فوتی و با توجه به آب‌وهوای منطقه ساحلی مکران مورد بررسی قرار گرفت. صرفاً موضوع بر چیدمان مدول کانتینری متمرکز بوده و نشان‌دهنده اهمیت طراحی مناسب در مناطق بهره‌گیری از تهویه طبیعی و کاهش مصرف انرژی در مناطق گرم و مرطوب است. با این حال، مباحث مرتبط با موارد فرهنگی و اجتماعی ابعاد ورودی‌ها، بازشوها، و مصالح به عنوان عوامل مکمل در بهینه‌سازی عملکرد اقلیمی ساختمان می‌تواند در تحقیقات آتی به‌طور جامع بررسی شوند. این تحقیق نه تنها طرحی کاربردی برای معماران و مهندسان ارائه می‌کند، بلکه به بحث‌های گسترده‌تری در مورد استفاده مجدد تطبیقی از مصالح و ساخت‌وساز سازگار با محیط زیست در کشورهای در حال توسعه کمک می‌کند. این مطالعه فراتر از تحلیل‌های معماری سنتی با ادغام دینامیک سیالات محاسباتی (CFD) و شبیه‌سازی‌های محیطی برای تأیید کارایی طرح‌های مسکن مدولار مبتنی بر کانتینر است.

تحلیل تطبیقی بین سواحل مکران در ایران و چیتاگونگ در بنگلادش، پایه‌ای برای شناسایی استراتژی‌های تطبیقی بود که معماری بومی را با اصول طراحی مدولار معاصر ترکیب می‌کند. این روش راهکارهایی را برای معماران با هدف توسعه مسکن اقتصادی در مناطق آب‌وهوایی مشابه ارائه می‌دهد.

موضوع که اختلاف فشار نشان‌دهنده توان بالقوه برای جریان باد در محیط است و هرچه اختلاف فشار بیشتر باشد، جریان قوی‌تر و تهویه مؤثرتری اتفاق می‌افتد (Walker, 2016). این مدل بالاترین اختلاف فشار (معادل ۸/۳۵ پاسگال) را رقم زده است. از طرفی دیگر، حداکثر سرعت باد در مدل‌های M5 (3.03 m/s) و M4 (2.95 m/s) بالاتر از مدل M1 (2.79 m/s) بوده، اما با توجه به اهمیت تهویه طبیعی در قسمت حیاط مرکزی و به دنبال آن اهمیت آسایش حرارتی در این اقلیم، مدل M1 با دستیابی به سرعت ۲/۳ متر بر ثانیه در حیاط مرکزی، بالاترین رقم را بین مدل‌های دیگر به خود اختصاص داد. البته مدل M2 با سرعت ۱/۹۶ متر بر ثانیه شاید نزدیک به مدل M1 نظر بیاید، ولی همین تفاوت (۰/۴۳) متر بر ثانیه) با مدل انتخابی M1، در واقع اختلاف سرعت ۱/۵ کیلومتر بر ساعت باد بیشتر در حیاط M1 را ایجاد می‌کند. پس در نتیجه با این تفاسیر می‌توان گفت که مدل انتخابی M1 به خوبی نشان می‌دهد که چیدمان مدول‌ها باعث جذب باد غالب و توزیع مؤثر آن در فضای داخلی می‌شود و نشان‌دهنده کارایی سیستم تهویه طبیعی این مدل است که چنین مدلی برای اقلیم گرم و مرطوب مناسب است.

جدول ۴. مقایسه مقادیر به‌دست‌آمده در شبیه‌سازی.

مدل چیدمان	حداکثر سرعت باد جهت‌دار واحد متر بر ثانیه	دامنه سرعت باد در حیاط مرکزی واحد متر بر ثانیه	اختلاف فشار* واحد پاسگال
M1	2.79 m/s	0.51-2.03 m/s	8.35 pa
M2	2.71 m/s	0.49-1.96 m/s	5.63 pa
M3	2.49 m/s	0.23-1.59 m/s	4.21 pa
M4	2.95 m/s	0.54-1.88 m/s	7.53 pa
M5	3.03 m/s	0.28-1.65 m/s	7.53 pa
M6	2.54 m/s	0.46-1.62 m/s	4.01 pa

اختلاف کل فشار برابر است با:  $\Delta P = P_{max} - P_{min}$  که مقادیر فشار منفی و فشار مثبت به‌دست‌آمده توسط نرم‌افزار که در نوار پایین تصاویر «جدول ۲» است و جای‌گذاری میشود. مفهوم فشار مثبت (+): زمانی رخ می‌دهد که باد به یک سطح برخورد می‌کند و هوا روی آن متراکم می‌شود. این فشار ناشی از نیروی واردشده توسط جریان هوا به سطح است. فشار مثبت: نشان‌دهنده تجمع هوا در مناطقی است که باد مستقیم به سطح برخورد می‌کند. مفهوم فشار منفی (-): زمانی رخ می‌دهد که باد از یک سطح عبور کرده و در پشت آن سطح یک ناحیه کم‌فشار (مکش) ایجاد می‌شود. فشار منفی: نشان‌دهنده مکش هوا در مناطقی است که جریان باد از سطح دور شده و گردابه‌ها ایجاد شده‌اند. (Larsen, 2006)



در کشورهای در حال توسعه که با چالش‌های مشابهی مواجه هستند، تأکید می‌کند و در نتیجه به توسعه زیرساخت‌های انعطاف‌پذیر و تقویت پاسخ‌های نوآورانه به تقاضاهای مسکن موقت کمک می‌کند.

به‌کارگیری روش‌های ساخت مدولار مسکن مبتنی بر کانتینر به عنوان راه حلی سازگار با محیط زیست هم نیازهای فوری اسکان موقت و هم اهداف پایداری بلندمدت مناطق صنعتی ترانزیتی را مورد توجه قرار می‌دهد. این رویکرد بین رشته‌ای امکان شبیه‌سازی این چنین مدل‌ها در سطح جهانی، به‌ویژه

## پی‌نوشت‌ها

1. Chittagong
2. Velocity
3. (ΔP)pressure difference
4. Computational Fluid Dynamics
5. Energy Plus Weather

## فهرست منابع

- انصاری مهبیاری، الهه و خدابخشیان کنارکی، مقدی (۱۴۰۲)، معماری بومی در مناطق گرم و مرطوب جنوب کشور و رعایت الزامات معماری پایدار ۱، سومین کنفرانس بین‌المللی معماری، عمران، شهرسازی، محیط زیست و اقلیم‌های هنر اسلامی در بیانیه گام دوم انقلاب، تبریز، <https://civilica.com/doc/1960021>.
- سعادت، داوود؛ کریمی‌نژاد، سیامک؛ پورعلیخانی، مسعود (۱۳۹۴)، نگاهی به معماری بومی در اقلیم گرم و مرطوب (سواحل جنوبی ایران)، کنفرانس بین‌المللی پژوهش‌های نوین در عمران، معماری و شهرسازی. <https://sid.ir/paper/855216/fa>
- شجاعی، فاطمه؛ تیمورتاش، شبنم (۱۳۹۷)، بررسی تأثیر بازشوها و طراحی داخلی بر تهویه طبیعی جهت بهینه‌سازی مصرف، چهارمین همایش ملی معماری و شهر پایدار، دانشگاه تربیت دبیر شهید رجایی، تهران، ایران، ۱۸ اسفند ۱۳۹۷.
- قربانی، مریم؛ شاهرودی، عباسعلی (۱۳۹۸)، بررسی ساخت‌وساز مسکن کانتینری، ششمین کنگره ملی عمران، معماری و توسعه شهری، تهران. <https://civilica.com/doc/1002971>
- عمادی، مریم؛ نصر، طاهره (۱۳۹۷)، بررسی بازشو در معماری سنتی ایران با توجه به معماری پایدار (با نگاهی به عملکرد نور در پنجره رنگی شهرهای شیراز، یزد، قزوین، کاشان، بوشهر)، کنفرانس بین‌المللی عمران، معماری و مدیریت توسعه شهری در ایران، تهران - دانشگاه تهران، مرداد ماه ۱۳۹۷.
- قبادیان، وحید (۱۳۹۲)، بررسی اقلیمی ابنیه سنتی ایران، انتشارات دانشگاه تهران، چاپ هشتم، ۶۸ الی ۹۸.
- مصوری نظام‌آباد، زهرا (۱۴۰۰)، تأثیر اقلیم بر معماری بومی و پایدار مناطق گرم و مرطوب، مطالعات جغرافیا، عمران و مدیریت شهری، دوره ۷، شماره ۳، صفحات ۴۹-۶۰.
- نجارسیلیقه، محمد (۱۳۸۳)، مدل‌سازی مسکن همساز با اقلیم برای شهر چابهار، جغرافیا و توسعه، ۲ (پیاپی ۴)، ۱۴۷-۱۷۰. [SID.https://sid.ir/paper/77393/fa](https://sid.ir/paper/77393/fa)
- Abba, H. Y., Majid, R. A., Ahmed, M. H., & Gbenga, O. (2022). Validation of designbuilder simulation accuracy using field measured data of indoor air temperature in a classroom building. *Management*, 7 (27), 171-8.
- Chowdhury, A. A., Rasul, M. G., & Khan, M. M. K. (2022). Thermal performance assessment of a retrofitted building using an integrated energy and computational fluid dynamics (IE-CFD) approach. *Energy Reports*, 8, 709-717.
- Haque, M. O., Aman, J., & Mohammad, F. (2022). Construction sustainability of container-modular-housing in coastal regions towards resilient community. *Built Environment Project and Asset Management*, 12 (3), 467-485. <https://doi.org/10.1108/BEPAM-01-2021-0011>
- Haque, M. O., Rahman, N. N., Tabassum, N., & Aman, J. (2022). Evaluating the daylighting and energy performance of container housing systems in coastal regions: An Iterative modeling approach. In *Advances in Architecture, Engineering and Technology: Smart Techniques in Urban Planning & Technology* (pp. 153-165). Cham: Springer International Publishing
- Hassan, M., Ullah, M. S., & Gomez, C. D. (2000). Rural housing in Bangladesh: An enquiry into housing typology, con-

