فصلنامه پژوهش در مدیریت شماره ۱- دوره ۲- صفحات ۶۵۱-۶۳۶
Journal of Research in Management
Issn : 3060-6241

تاثیر اقلیم گرم و مرطوب بوشهر بر شهرسازی و مدیریت ایمنی، بهداشت و محیط زیست (HSE)

حامد دهامی [۱*]، حسین مهران پور [۲]
۱ -کارشناسی ارشد مدیریت آموزشی، دانشگاه خلیج فارس. (کارشناس واحد پیشگیری سازمان آتش نشانی)
۲ -کارشناسی مهندسی فناوری عمران - ساختمان سازی، دانشگاه علمی کاربردی همیاری شهرداری‌ها. (محل خدمت - شهرداری منطقه ۲)

چکیده

توسعه و گسترش شهرهای ساحلی در دهه‌های اخیر، به‌ویژه در مناطق دارای اقلیم گرم و مرطوب، با چالش‌های فزاینده‌ای در حوزه ایمنی، سلامت و پایداری محیطی همراه بوده است. شهر بوشهر به دلیل موقعیت جغرافیایی خاص، مجاورت با خلیج فارس، رطوبت نسبی بالا، دماهای زیاد و شوری هوا، نمونه‌ای بارز از شهرهایی است که در آن تعامل میان مهندسی عمران، شهرسازی و مدیریت ایمنی، بهداشت و محیط زیست (HSE) نقشی تعیین‌کننده در کیفیت زندگی شهروندان ایفا می‌کند. در چنین شرایطی، صرف توجه به توسعه کالبدی بدون در نظر گرفتن الزامات ایمنی و پایداری، می‌تواند منجر به افزایش آسیب‌پذیری زیرساخت‌ها، تشدید مخاطرات شهری و کاهش تاب‌آوری شهر شود. هدف اصلی این مقاله، بررسی و تبیین تأثیر اقلیم گرم و مرطوب بوشهر بر فرآیندهای شهرسازی و مدیریت HSE و همچنین تحلیل نقش مهندسی عمران در کاهش ریسک‌های ناشی از این شرایط اقلیمی است. در این راستا، تلاش شده است تا با نگاهی یکپارچه، پیوند میان طراحی زیرساخت‌های شهری، برنامه‌ریزی نوین و الزامات ایمنی و زیست‌محیطی مورد توجه قرار گیرد. روش تحقیق در این مطالعه، مروری–تحلیلی بوده و بر پایه بررسی نظام‌مند منابع علمی، مطالعات اقلیمی، تجربیات اجرایی و رویکردهای نوین شهرسازی و مدیریت HSE شکل گرفته است. داده‌ها و مفاهیم استخراج‌شده، با تمرکز بر شرایط بومی بوشهر، تحلیل و تفسیر شده‌اند تا تصویری جامع از چالش‌ها و راهکارهای موجود ارائه شود. یافته‌های پژوهش نشان می‌دهد که اقلیم گرم و مرطوب بوشهر تأثیر مستقیمی بر دوام سازه‌ها، ایمنی کارگاه‌های عمرانی، سلامت شهروندان و کیفیت محیط زیست شهری دارد و بی‌توجهی به آن، هزینه‌های اقتصادی و اجتماعی قابل‌توجهی به همراه خواهد داشت. در مقابل، ادغام اصول مهندسی عمران مقاوم با مدیریت HSE و شهرسازی پایدار، می‌تواند به کاهش ریسک‌ها، افزایش طول عمر زیرساخت‌ها و ارتقای تاب‌آوری شهری منجر شود. در نهایت، نتیجه‌گیری مقاله بر این نکته تأکید دارد که دستیابی به توسعه شهری ایمن و پایدار در بوشهر، مستلزم رویکردی جامع، اقلیم‌محور و هماهنگ میان مهندسی عمران، برنامه‌ریزی شهری و مدیریت HSE است.

واژگان کلیدی: اقلیم گرم و مرطوب، شهرسازی پایدار، مهندسی عمران، مدیریت HSE، ایمنی شهری

مقدمه

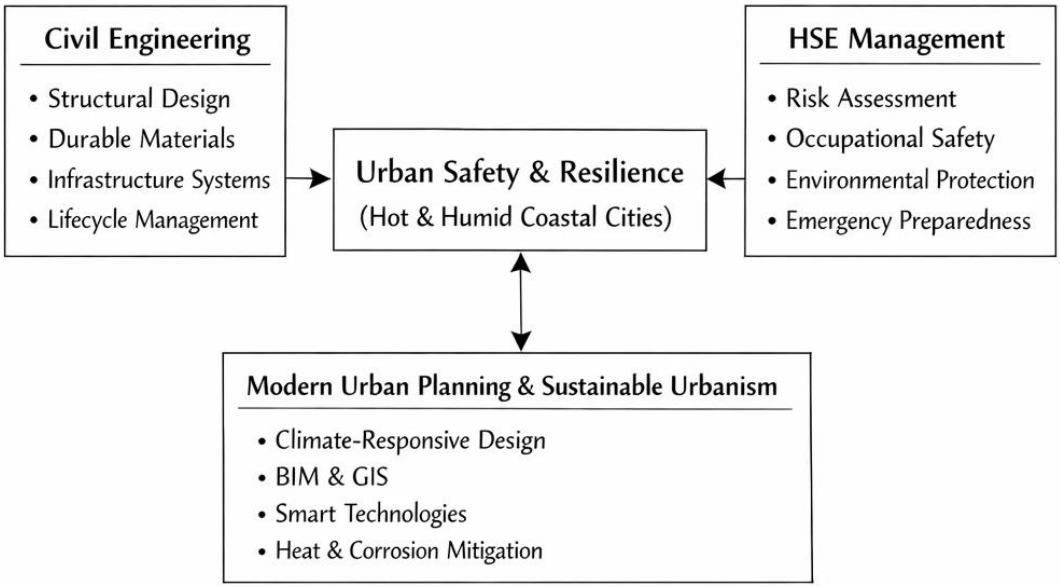
۱: مقدمه

توسعه فیزیکی شهرها همواره با مجموعه‌ای از ریسک‌های ذاتی همراه بوده است که مدیریت صحیح آن‌ها، معیار سنجش موفقیت برنامه‌ریزی شهری محسوب می‌شود. در دهه‌های اخیر، با افزایش پیچیدگی ساختار شهرها و شدت گرفتن تأثیرات تغییرات اقلیمی، نقش مهندسی عمران به عنوان بانیان اصلی زیرساخت‌ها و مدیریت HSE به عنوان ضامن حفظ سلامت انسان و محیط زیست، اهمیتی دوچندان یافته است. این دو حوزه، که به ظاهر مجزا به نظر می‌رسند، در واقع دو روی یک سکه در تأمین ایمنی شهری پایدار هستند؛ عمران زیرساخت فیزیکی را فراهم می‌آورد و HSE چارچوب‌های عملیاتی لازم برای تضمین ایمنی در حین ساخت، بهره‌برداری و مقابله با بحران‌ها را تدوین می‌کند (نامیان و ایلانی، ۲۰۲۵). شهر بوشهر، با قرارگیری در پهنه ساحلی خلیج فارس و مواجهه با اقلیم گرم و بسیار مرطوب، یک آزمایشگاه طبیعی برای سنجش کارایی این هم‌افزایی است. رطوبت بالا، نمک موجود در هوا و دمای زیاد، سرعت فرسایش سازه‌های بتنی و فلزی را تشدید می‌کند، که این امر ضرورت اعمال استانداردهای پیشرفته مهندسی مواد و روش‌های حفاظتی HSE را بیش از پیش برجسته می‌سازد (رشیدی، ۲۰۱۴)

برنامه‌ریزی نوین شهری، فراتر از صرفاً ایجاد سازه‌ها، بر ایجاد "شهر تاب‌آور" تمرکز دارد؛ شهری که بتواند شوک‌های ناشی از بلایای طبیعی، حوادث غیرمترقبه یا فشارهای محیطی را جذب کرده و به سرعت به حالت عادی بازگردد. این تاب‌آوری تنها با محاسبات سازه‌ای استاندارد به دست نمی‌آید، بلکه مستلزم درک عمیق از پایداری بلندمدت مصالح و فرآیندهای اجرایی است که مستقیماً تحت پوشش اصول HSE قرار دارند. به عنوان مثال، مدیریت ایمنی کارگاه‌های عمرانی در بوشهر باید ملاحظات ویژه‌ای برای جلوگیری از گرمازدگی و بیماری‌های ناشی از رطوبت مزمن داشته باشد، در حالی که مهندسی عمران نیز باید طراحی‌هایی را ارائه دهد که در برابر خوردگی تسریع‌شده محیطی مقاوم باشند (همان منبع). عدم توجه به این ارتباط متقابل، به طور مکرر منجر به بروز حوادث جبران‌ناپذیر در پروژه‌های بزرگ شده است، چه در زمینه ایمنی کارکنان و چه در زمینه تخریب زودرس سرمایه‌گذاری‌های شهری.

یکی از محورهای اصلی این هم‌افزایی، مدیریت ریسک است. در محیط شهری، ریسک‌ها پیچیده و در هم تنیده هستند؛ از ریسک ریزش ترانشه در هنگام حفاری تأسیسات شهری تا ریسک شکست سازه‌ای ناشی از فرسایش دریایی. رویکرد HSE، با ابزارهای تحلیلی خود مانند HAZOP، FMEA و ارزیابی اثرات زیست‌محیطی (EIA)، چارچوبی جامع برای شناسایی، ارزیابی و کاهش این ریسک‌ها فراهم می‌آورد که مهندسان عمران باید آن را در مدل‌سازی‌های خود ادغام کنند (مهرورز و همکاران، ۲۰۲۴). برای شهری مانند بوشهر، ارزیابی ریسک باید شامل سناریوهای خاصی مانند افزایش سطح آب‌های زیرزمینی ناشی از بارندگی‌های ناگهانی در کنار تخریب پوشش‌های حفاظتی سازه‌ها در برابر یون کلر باشد. این تحلیل چندوجهی، هسته اصلی برنامه‌ریزی نوین شهری است که دیگر صرفاً بر کارایی سازه‌ای تمرکز ندارد. شهرسازی پایدار، خود یک الزام اخلاقی و عملیاتی است که در آن، ایمنی نسل‌های آتی نیز لحاظ می‌شود. مهندسی عمران پایدار بر استفاده از مواد با انرژی خاکستره (Embodied Energy) پایین و افزایش طول عمر مفید سازه تأکید دارد، در حالی که HSE بر کاهش آلودگی‌های ناشی از فرآیندهای ساخت و کاهش پسماندهای خطرناک در سایت‌های عمرانی تمرکز می‌کند (مودت و نوروزی، ۲۰۱۹). در بوشهر، این تعادل باید با حساسیت بیشتری برقرار شود؛ استفاده از مصالح محلی سازگار با اقلیم گرم و مرطوب، در عین رعایت استانداردهای ایمنی کارگران در برابر گرد و غبار و شرایط جوی، یک چالش طراحی-اجرایی مهم است. بدون یکپارچگی کامل بین اهداف بلندمدت پایداری و الزامات کوتاه‌مدت HSE، پروژه‌های عمرانی ممکن است بهای سنگینی از منظر ایمنی محیطی و انسانی در پی داشته باشند.

بنابراین، این مقاله با هدف تبیین جایگاه محوری این دو رشته در شکل‌دهی به آینده ایمن‌تر شهرهای ساحلی مانند بوشهر تدوین شده است. ما به دنبال پاسخ به این سؤال هستیم که چگونه می‌توان با اتخاذ رویکردهای برنامه‌ریزی نوین، که بر تحلیل داده‌محور و مدل‌سازی پیشرفته تکیه دارند، استانداردهای HSE را به طور مؤثر در طراحی و اجرای زیرساخت‌های عمرانی ادغام کرد تا تاب‌آوری شهری در برابر تهدیدات خاص اقلیمی به حداکثر برسد. تمرکز بر بوشهر به ما اجازه می‌دهد تا به صورت موردی و عینی، چالش‌های حاصل از ترکیب رطوبت بالا، شوری محیط و نیاز به زیرساخت‌های مقاوم را مورد بررسی قرار دهیم و راهکارهای عملی را در چارچوب اصول شهرسازی پایدار مطرح نماییم.



شکل ۱. مدل مفهومی ارتقای ایمنی و تاب‌آوری شهری از طریق هم‌افزایی مهندسی عمران، مدیریت HSE و برنامه‌ریزی نوین شهری در شهرهای ساحلی با اقلیم گرم و مرطوب (مطالعه موردی: بوشهر).

در شکل ۱، یک مدل مفهومی یکپارچه برای تبیین نقش هم‌زمان مهندسی عمران، مدیریت ایمنی، بهداشت و محیط زیست (HSE) و برنامه‌ریزی نوین شهری در ارتقای ایمنی و تاب‌آوری شهری ارائه شده است. در این مدل، مهندسی عمران با تمرکز بر طراحی سازه‌ای، انتخاب مصالح بادوام، مدیریت چرخه عمر زیرساخت‌ها و توسعه سیستم‌های عمرانی مقاوم، بستر فیزیکی شهر ایمن را فراهم می‌سازد. در مقابل، مدیریت HSE با ابزارهایی نظیر ارزیابی ریسک، ایمنی شغلی، حفاظت از محیط زیست و آمادگی در شرایط اضطراری، نقش مکمل و کنترلی در کاهش مخاطرات انسانی و محیطی ایفا می‌کند. تعامل این دو حوزه در مرکز مدل، منجر به شکل‌گیری مفهوم «ایمنی و تاب‌آوری شهری» متناسب با شرایط شهرهای ساحلی گرم و مرطوب می‌شود. در بخش پایینی مدل، برنامه‌ریزی نوین شهری و شهرسازی پایدار به‌عنوان عامل پیونددهنده و تقویت‌کننده این هم‌افزایی معرفی شده است. این رویکرد با بهره‌گیری از طراحی اقلیم‌محور، فناوری‌های نوین مانند BIM و GIS، فناوری‌های هوشمند شهری و راهکارهای کاهش اثرات گرما و خوردگی، زمینه تحقق توسعه‌ای ایمن، پایدار و آینده‌نگر را فراهم می‌کند. در نهایت، قرار گرفتن «مطالعه موردی بوشهر» در پایین شکل نشان‌دهنده کاربرد عملی این چارچوب مفهومی در یک بستر واقعی با شرایط اقلیمی خاص است؛ به‌گونه‌ای که مدل ارائه‌شده می‌تواند مبنایی برای تصمیم‌گیری، طراحی و مدیریت پروژه‌های شهری در شهرهای ساحلی مشابه باشد.

۲. مبانی نظری و چارچوب مفهومی: پیوند ناگسستنی عمران، HSE و پایداری شهری

ادغام مهندسی عمران، به عنوان علم شکل‌دهی به محیط مصنوع، با سیستم‌های مدیریت HSE، به عنوان ناظر و تنظیم‌کننده ریسک، یک پارادایم ضروری در مدیریت شهر معاصر است. چارچوب نظری این ادغام بر این اصل استوار است که ایمنی زیرساخت‌ها (Safety of Infrastructure) باید از همان مرحله مفهومی طراحی، هم‌راستا با ایمنی فرآیند (Process Safety) و ایمنی محیط زیست (Environmental Safety) قرار گیرد (مهدی‌نژادگودرزی و همکاران، ۲۰۲۳). شهرسازی پایدار، که بر سه رکن اقتصادی، اجتماعی و زیست‌محیطی استوار است، الزام می‌کند که هر مداخله عمرانی باید علاوه بر عملکرد سازه‌ای مناسب، کمترین اثر مخرب را بر محیط زیست بگذارد و بیشترین سطح ایمنی را برای کاربران نهایی در طول عمر مفید خود فراهم آورد. این دیدگاه، فاصله بین طراحی صرفاً عملکردی و طراحی ریسک‌آگاه را پر می‌کند.

در اقلیم‌های خاص مانند بوشهر، این پیوند بیش از هر جای دیگری اهمیت می‌یابد. مهندسی عمران در این مناطق با پدیده‌هایی مانند کرنش‌های ناشی از تغییرات حرارتی گسترده، حمله یون‌های کلر و سولفات به بتن، و لزوم انتخاب پوشش‌های مقاوم در برابر تابش شدید فرابنفش مواجه است. در مقابل، HSE ابزارهایی مانند ارزیابی چرخه عمر (LCA) را ارائه می‌دهد که می‌تواند اثرات زیست‌محیطی انتخاب‌های مصالح را ارزیابی کرده و با تعریف استانداردهای سخت‌گیرانه برای کنترل رطوبت و خوردگی در محل کارگاه، از آسیب‌پذیری‌های آتی جلوگیری کند (عباس‌زاده و همکاران، ۲۰۱۴). بنابراین، یک رویکرد نوین، مهندس عمران را ملزم می‌سازد که نه تنها مقاومت مصالح در برابر بارهای طراحی را تضمین کند، بلکه پایداری آن مصالح در برابر عوامل خورنده محیطی را نیز تحت نظر پروتکل‌های HSE تضمین نماید. برنامه‌ریزی نوین شهری، با بهره‌گیری از فناوری‌های سنجش از دور و مدل‌سازی اطلاعات ساختمان (BIM)، امکان شبیه‌سازی پیشگویانه ریسک‌ها را فراهم می‌آورد. BIM، به عنوان ابزاری برای مدیریت چرخه عمر، به طور طبیعی با سیستم‌های مدیریت HSE همسو می‌شود، چرا که اجازه می‌دهد ریسک‌های ایمنی مربوط به تعمیر و نگهداری، دسترسی به فضاهای تنگ در زیرساخت‌ها، و حتی سناریوهای تخلیه اضطراری در سازه‌های بزرگ شهری، پیش از ساخت مدل‌سازی و بهینه‌سازی شوند (مصباح، ۲۰۲۵). در محیط مرطوب بوشهر، این مدل‌سازی می‌تواند نشت‌های احتمالی در شبکه فاضلاب یا خوردگی زودرس اتصالات فلزی پل‌ها را در بازه‌های زمانی مختلف شبیه‌سازی کند و راهکارهای مداخله‌ای HSE را برای نگهداری فعالانه تعریف نماید.

مفهوم "شهر تاب‌آور" مستقیماً از ادغام HSE و طراحی انعطاف‌پذیر عمران ناشی می‌شود. تاب‌آوری فقط در مورد ایستادگی سازه در برابر زلزله نیست؛ بلکه شامل توانایی سیستم‌های شهری (مانند شبکه برق، آبرسانی و حمل و نقل) برای بازیابی سریع عملکرد پس از یک رویداد بحرانی است. این بازیابی سریع، نیازمند برنامه‌ریزی HSE برای شرایط اضطراری و همچنین طراحی زیرساخت‌ها با قابلیت افزونگی (Redundancy) و دسترسی آسان برای تعمیرات است که این امر، دغدغه مهندسان عمران متخصص در شبکه‌های زیرزمینی می‌باشد (بحرینی و همکاران، ۲۰۱۶). در مناطق ساحلی، افزایش سطح آب دریا و وقوع سیلاب‌های ناگهانی، ایجاب می‌کند که تجهیزات حیاتی زیرساختی (مانند پمپ‌خانه‌ها) نه تنها در برابر خوردگی مقاوم باشند، بلکه از لحاظ ارتفاع و مکان‌یابی، استانداردهای ایمنی زیست‌محیطی را رعایت کنند. تحول از شهرسازی سنتی به شهرسازی پایدار، نیازمند تغییر فرهنگی در سازمان‌های عمرانی است. دیگر کافی نیست که پیمانکار صرفاً مجوزهای ایمنی را دریافت کند؛ بلکه باید اصول ایمنی، بهداشت و محیط زیست به بخشی درونی از فرآیند تصمیم‌گیری مهندسی تبدیل شود. این امر به ویژه در پروژه‌های توسعه شهری بوشهر که اغلب با محدودیت‌های زمانی و بودجه‌ای شدید روبرو هستند، اهمیت دارد. استفاده از تکنیک‌های نوین HSE، مانند تحلیل ریسک شغلی (JSA) پیش از شروع هر فعالیت خُرد ساختمانی، تضمین می‌کند که بهره‌وری و ایمنی همزمان ارتقا یابند، نه اینکه یکی قربانی دیگری شود (عباس‌زاده و همکاران، ۲۰۱۴).

ادبیات موجود نشان می‌دهد که عدم توجه به الزامات HSE در مراحل اولیه طراحی، هزینه‌های بلندمدت نگهداری و ریسک‌های ایمنی عمومی را به شدت افزایش می‌دهد. به عنوان مثال، انتخاب نادرست پوشش‌های ضدآب برای تأسیسات زیرزمینی در خاک مرطوب بوشهر، به دلیل صرفه‌جویی اولیه در هزینه، می‌تواند منجر به نشت‌های مکرر، آلودگی آب‌های زیرزمینی و در نهایت خرابی زودهنگام زیرساخت شود، که این یک شکست در اصول شهرسازی پایدار و ایمنی محیط زیست است (شاعری و وکیلی‌نژاد، ۲۰۱۹). بنابراین، چارچوب مفهومی ما بر این تأکید دارد که سرمایه‌گذاری در تحلیل‌های پیشرفته HSE در فاز طراحی، در حقیقت سرمایه‌گذاری در کاهش هزینه‌های بلندمدت شکست سازه‌ای و حوادث شهری است. در نهایت، دستیابی به ایمنی شهری پایدار در بوشهر مستلزم تدوین استانداردهای محلی‌سازی شده‌ای است که دانش مهندسی عمران را با درک عمیق از اقلیم گرم و مرطوب ترکیب کند و چارچوب‌های مدیریتی HSE را برای نظارت بر اجرای این استانداردها به کار گیرد. این تلفیق، مسیر روشنی برای حرکت از توسعه صرفاً فیزیکی به سوی توسعه زیرساخت‌های تاب‌آور و ایمن فراهم می‌آورد که می‌تواند الگویی برای سایر شهرهای ساحلی منطقه باشد (مهدی‌نژادگودرزی و همکاران، ۲۰۲۲).

۳. نقش مهندسی عمران در طراحی زیرساخت‌های مقاوم در برابر شرایط اقلیمی بوشهر

مهندسی عمران ستون فقرات فیزیکی هر شهر است و در بوشهر، این ستون فقرات باید در برابر تهاجم مداوم رطوبت، حرارت و نمک مقاومت کند. طراحی زیرساخت‌های شهری – شامل شبکه‌های آب، فاضلاب، خیابان‌ها، پل‌ها و ساختمان‌ها – در این اقلیم نیازمند خروج از استانداردهای عمومی و به‌کارگیری اصول مهندسی پیشرفته با رویکرد "دفاع در عمق" است. یکی از مهم‌ترین چالش‌ها، طراحی سازه‌های بتنی است که باید در برابر نفوذ یون کلر و سولفات مقاومت کافی نشان دهند. این امر مستلزم انتخاب نسبت آب به سیمان (w/c) بسیار پایین، استفاده از سیمان‌های مقاوم (مانند سیمان پرتلند نوع ۵ یا آمیخته با سرباره یا خاکستر بادی) و اعمال پوشش‌های محافظتی با نفوذپذیری بسیار کم است (اکبری‌حسن و حسینی‌نژاد، ۲۰۲۰). مهندسان عمران باید طراحی‌هایی ارائه دهند که طول عمر مفید (Service Life) سازه را بر اساس شرایط محیطی بوشهر (که به مراتب کوتاه‌تر از مناطق خشک است) تخمین زده و تضمین کنند.

شبکه‌های زیرزمینی، به ویژه شبکه جمع‌آوری فاضلاب و آب شرب، در بوشهر به دلیل نزدیکی به سطح آب‌های زیرزمینی و ماهیت شور و مرطوب خاک، در معرض تخریب سریع قرار دارند. مهندسی عمران در این بخش باید با رویکرد HSE ادغام شود تا از انتخاب لوله‌هایی که در برابر حمله شیمیایی خاک ضعیف هستند، جلوگیری شود. استفاده از لوله‌های با اتصالات مقاوم به نشت و سیستم‌های پایش الکترونیکی برای تشخیص زودهنگام خوردگی یا شکست در خطوط، نه تنها ایمنی بهداشتی را حفظ می‌کند (جلوگیری از اختلاط آب شرب و فاضلاب)، بلکه ریسک حفاری‌های مکرر و ایجاد اختلال در ترافیک شهری را نیز کاهش می‌دهد (ناصری و همکاران، ۲۰۲۴). طراحی مدولار و قابلیت جداسازی سریع قطعات آسیب‌دیده نیز باید بخشی از استراتژی مقاوم‌سازی شهری باشد. در حوزه ابنیه و ساختمان‌ها، طراحی سازه‌ای باید تاب‌آوری در برابر بارهای جانبی ناشی از بادهای شدید و همچنین مقاومت در برابر آتش‌سوزی در محیط‌های گرم را مد نظر قرار دهد. سیستم‌های تهویه مطبوع و تأسیساتی (MEP) باید به گونه‌ای نصب شوند که از نظر دسترسی برای تعمیر و نگهداری، پروتکل‌های ایمنی HSE را رعایت کنند. به عنوان مثال، قرارگیری تجهیزات حساس در ارتفاع یا در فضاهایی با تهویه مناسب، از خطرات ناشی از گرمای بیش از حد و خرابی ناگهانی جلوگیری می‌کند (غیب‌الهی سعید و قاراخانی، ۲۰۱۶). مهندس طراح باید این ملاحظات را در زمان مدل‌سازی سازه لحاظ کند تا از ایجاد حفره‌های خطرناک یا فضاهای محبوس که می‌تواند محل تجمع گازهای سمی یا گرمای شدید باشد، اجتناب شود.

پایدارسازی خاک و پی‌سازی در بوشهر چالشی دوگانه است: مقابله با خاک‌های سست ساحلی و مقابله با تأثیر آب شور بر پی‌ها. روش‌های نوین مهندسی ژئوتکنیک، مانند تزریق دوغاب‌های مخصوص مقاوم در برابر نفوذ یون کلر یا استفاده از شمع‌هایی با پوشش‌های اپوکسی یا فیبر کربن، باید جایگزین روش‌های سنتی شوند که طول عمر کمتری در این شرایط دارند (عباس‌زاده و همکاران، ۲۰۱۴). از منظر HSE، عملیات اجرای شمع‌کوبی و تزریق، نیازمند کنترل دقیق گرد و غبار، مدیریت پسماندهای تزریق و نظارت بر ایمنی کارگران در برابر ریزش‌های احتمالی در گودبرداری‌های عمیق است. این نشان می‌دهد که فرآیند طراحی مهندسی، بدون نظارت فعال HSE، محکوم به شکست‌های میدانی خواهد بود. طراحی شبکه‌های حمل و نقل شهری نیز تحت تأثیر اقلیم است. آسفالت‌ریزی در دماهای بالای ۴۰ درجه سانتی‌گراد، نیازمند تعدیل در طرح اختلاط آسفالت و کنترل دقیق دمای اجرای آن است تا از روان شدن زودرس یا ترک‌خوردگی ناشی از اختلاف دمای روز و شب جلوگیری شود. علاوه بر این، ایمنی پیاده‌روها و مسیرهای دوچرخه‌سواری باید با در نظر گرفتن سایه‌افکنی کافی و استفاده از مصالحی که جذب حرارت کمتری دارند (کاهش پدیده جزیره حرارتی شهری)، تضمین شود که این امر مستقیماً با اصول شهرسازی پایدار و آسایش حرارتی شهروندان مرتبط است (مهدی‌نژادگودرزی و همکاران، ۲۰۲۳).

مدیریت آب‌های سطحی و سیستم‌های زهکشی یکی دیگر از نقاط تمرکز است. با توجه به شدت بالای تبخیر در بوشهر و احتمال وقوع ناگهانی سیلاب، شبکه‌های زهکشی باید علاوه بر توانایی دفع حجم بالا، در برابر رسوب‌گذاری سریع ناشی از طوفان‌های شن یا گرد و غبار نیز مقاوم باشند. مهندسی عمران باید با طراحی حوضچه‌های موقتی تأخیری و استفاده از موانع نفوذی نوین، نقش مخازن آب طبیعی را شبیه‌سازی کند، در حالی که HSE بر پایش کیفیت آب جمع‌آوری‌شده و جلوگیری از تبدیل این حوضچه‌ها به کانون‌های آلودگی یا زادآوری ناقلین بیماری تأکید دارد (مصباح، ۲۰۲۵). در نهایت، طراحی زیرساخت‌ها باید قابلیت نگهداری فعال (Proactive Maintenance) را پشتیبانی کند. این بدان معناست که هر عنصر حیاتی باید دارای دسترسی ایمن (مطابق با الزامات HSE) برای بازرسی‌های دوره‌ای باشد. برای مثال، نصب حسگرهای هوشمند در عرشه پل‌ها و سازه‌های مهم برای پایش مستمر تنش‌ها و میزان خوردگی، نیازمند طراحی فضاهای ایمن برای نصب و تعویض این تجهیزات است. این رویکرد مهندسی، با هدایت HSE، از رویکرد واکنشی به رویکرد پیشگیرانه در مدیریت دارایی‌های شهری حرکت می‌کند (بحرینی و همکاران، ۲۰۱۶).

۴. ادغام اصول HSE در مدیریت چرخه عمر پروژه عمرانی شهری بوشهر

پیاده‌سازی موفقیت‌آمیز ایمنی شهری پایدار در بوشهر وابسته به ادغام کامل اصول HSE در تمامی مراحل چرخه عمر پروژه، از مفهوم‌سازی تا تخریب است، نه صرفاً به عنوان یک مرحله بازرسی پایانی. این رویکرد جامع، تضمین می‌کند که ریسک‌ها به صورت سیستمی شناسایی و مدیریت شوند و هزینه‌های ایمنی در طول زمان کاهش یابد (بحرینی و همکاران، ۲۰۱۶). در مرحله طراحی، HSE با مهندسی عمران تلاقی پیدا می‌کند تا "ایمنی ذاتی" (Inherent Safety) در طرح گنجانده شود؛ به این معنی که خطرات تا حد امکان از طریق انتخاب مصالح، جانمایی بهتر یا کاهش پیچیدگی‌های عملیاتی حذف شوند. در شرایط بوشهر، این می‌تواند به معنای استفاده از مصالح پیش‌ساخته با کنترل کیفیت بالا در محیط کنترل‌شده کارخانه، به جای ساخت در محل با شرایط جوی متغیر باشد.

مرحله برنامه‌ریزی و تدارکات، نقطه حساس دیگری است که HSE می‌تواند نقش محوری ایفا کند. انتخاب پیمانکاران و تأمین‌کنندگان باید بر اساس سوابق ایمنی و تعهد آن‌ها به استانداردهای زیست‌محیطی باشد، نه صرفاً کمترین قیمت. برای مثال، در تأمین مصالح بتنی، باید تضمین شود که مواد افزودنی مورد استفاده (مانند فوق روان‌کننده‌ها) مطابق با الزامات

کاهش VOC و پایداری مورد تأیید HSE باشند. همچنین، برنامه‌ریزی لجستیک برای انتقال مصالح به سایت‌های شهری بوشهر، باید شامل طرح‌های کنترل گرد و غبار و مدیریت ایمنی ترافیک باشد تا ایمنی شهروندان در طول زمان ساخت حفظ شود (مهدی‌نژادگودرزی و همکاران، ۲۰۲۲). مرحله ساخت و اجرا، که پرخطرترین فاز است، نیازمند نظارت مداوم بر رعایت استانداردهای HSE است. در بوشهر، این نظارت باید فراتر از استفاده از تجهیزات حفاظت فردی (PPE) باشد و بر کنترل محیط کار تمرکز کند. این شامل برنامه‌های دقیق برای مدیریت گرمازدگی، استفاده از سیستم‌های تهویه موقت در فضاهای بسته (مانند کانال‌های تأسیساتی)، و همچنین کنترل دقیق جوشکاری و برشکاری در فضای باز برای جلوگیری از آتش‌سوزی و آسیب‌های ناشی از تابش شدید خورشید است. مهندسین عمران اجرایی باید به طور مداوم گزارش‌های HSE را برای تنظیم برنامه روزانه کار، با در نظر گرفتن شرایط لحظه‌ای هوا، مورد استفاده قرار دهند (شاعری و وکیلی‌نژاد، ۲۰۱۹).

پس از اتمام ساخت، مرحله بهره‌برداری و نگهداری آغاز می‌شود که در آن، ایمنی زیرساخت به چالش کشیده می‌شود. HSE در این فاز، از طریق تعریف برنامه‌های نگهداری پیشگیرانه (Preventive Maintenance) با ریسک‌سنجی دقیق، ارزش خود را نشان می‌دهد. برای مثال، برنامه‌ریزی برای بازرسی‌های دوره‌ای پوشش‌های محافظتی پل‌ها در برابر خوردگی، باید شامل پروتکل‌های ایمنی برای کار در ارتفاع و روی آب باشد (ناصری و همکاران، ۲۰۲۴). عدم وجود این برنامه‌های مبتنی بر ریسک، می‌تواند منجر به غافلگیری و شکست‌های ناگهانی سازه‌ای شود که ایمنی عمومی شهر را به خطر می‌اندازد. همچنین، مدیریت پسماند پروژه (Construction Waste Management) بخش حیاتی از HSE در شهرسازی پایدار است. در بوشهر، به دلیل محدودیت‌های زیرساخت‌های بازیافت، مهندسان عمران باید طراحی‌هایی را پیشنهاد دهند که میزان پسماند را در مبدأ کاهش دهند (Lean Construction) و پسماندهای باقی‌مانده، به ویژه مواد شیمیایی یا بتن تخریبی، به صورت ایمن و مطابق با مقررات زیست‌محیطی دفع شوند. این امر مستلزم ایجاد ایستگاه‌های موقت تفکیک و ذخیره‌سازی ایمن در سایت‌های بزرگ عمرانی است (اکبری‌حسن و حسینی‌نژاد، ۲۰۲۰).

آموزش کارکنان به عنوان یک اصل دائمی در HSE، باید در تمام طول پروژه تکرار شود. در زمینه پروژه‌های شهری، آموزش‌ها باید شامل سناریوهای خاص منطقه باشند؛ مانند آموزش نحوه واکنش به نشت مواد شیمیایی در نزدیکی آب‌های ساحلی، یا پروتکل‌های کار در مناطق پرتردد شهری با حداقل اختلال برای شهروندان. یک نیروی کار آموزش‌دیده، نه تنها کمتر دچار حادثه می‌شود، بلکه بهتر می‌تواند مسائل فنی ناشی از شرایط نامساعد محیطی را مدیریت کند (مهدی‌نژادگودرزی و همکاران، ۲۰۲۲). ارتباط با ذی‌نفعان شهری، از جمله جامعه محلی و نهادهای نظارتی، یکی دیگر از اجزای چرخه عمر پروژه است که HSE آن را تقویت می‌کند. شفافیت در گزارش‌دهی در مورد خطرات احتمالی ساخت و ساز، زمان‌بندی فعالیت‌های پر سر و صدا یا آلوده‌کننده، و همچنین پاسخگویی به شکایات مردمی در مورد مسائل ایمنی، اعتماد عمومی را جلب می‌کند و به تسهیل فرآیند شهرسازی پایدار کمک می‌نماید (غیب‌الهی سعید و قاراخانی، ۲۰۱۶). در نهایت، مرحله تخریب یا بازسازی نیز باید تحت مدیریت HSE قرار گیرد. در شهری مانند بوشهر، تخریب سازه‌های قدیمی باید با ملاحظات ایمنی محیطی همراه باشد؛ به خصوص اگر این سازه‌ها حاوی مواد خطرناک مانند آزبست یا رنگ‌های حاوی سرب باشند. برنامه‌ریزی HSE برای مدیریت گرد و غبار ناشی از تخریب و جلوگیری از نفوذ آلاینده‌ها به خلیج فارس، یک وظیفه مهندسی-زیست‌محیطی است که باید پیش از شروع عملیات تخریب به صورت مکتوب تدوین گردد.

۵. برنامه‌ریزی نوین شهری: رویکردهای مبتنی بر داده و مدل‌سازی پیشرفته

برنامه‌ریزی نوین شهری از مدل‌های خطی و ایستا فاصله گرفته و به سمت رویکردهای پویای مبتنی بر داده‌های کلان و مدل‌سازی‌های پیچیده حرکت کرده است. این رویکرد به مهندسان عمران و مدیران HSE اجازه می‌دهد تا ایمنی شهری را نه به صورت واکنشی، بلکه به صورت پیش‌بینانه مدیریت کنند. استفاده از سیستم‌های اطلاعات جغرافیایی (GIS) برای نقشه‌برداری دقیق از آسیب‌پذیری‌های زیرساخت‌ها در برابر سیل، فرسایش ساحلی و تراکم جمعیتی، پایه و اساس این برنامه‌ریزی نوین است (عباس‌زاده و همکاران، ۲۰۱۴). در بوشهر، GIS باید به طور مداوم با داده‌های مربوط به میزان نفوذ رطوبت در خاک، تغییرات سطح آب‌های زیرزمینی و نرخ خوردگی سازه‌های عمومی به‌روزرسانی شود تا نقاط بحرانی (Hotspots) مشخص گردند.

مدل‌سازی اطلاعات ساختمان (BIM) به عنوان ابزاری برای یکپارچه‌سازی طراحی، اجرا و بهره‌برداری، نقش محوری در این برنامه‌ریزی دارد. BIM امکان اجرای شبیه‌سازی‌های چندفیزیکی (Multi-physics Simulation) را فراهم می‌آورد که در آن، تعاملات پیچیده بین بارهای سازه‌ای، تنش‌های حرارتی، رطوبت و خوردگی به صورت همزمان تحلیل می‌شوند (مهدی‌نژادگودرزی و همکاران، ۲۰۲۲). این مدل‌ها می‌توانند عمر مفید یک ساختمان در بوشهر را با دقت بسیار بالاتری نسبت به روش‌های سنتی پیش‌بینی کنند و این داده‌ها مستقیماً در تعیین زمان‌بندی بازرسی‌های HSE و برنامه‌ریزی برای تعویض قطعات مصرفی لحاظ می‌شوند. هوشمندسازی زیرساخت‌ها (Smart Infrastructure) نیز بخشی جدایی‌ناپذیر از این برنامه‌ریزی نوین است. نصب حسگرهای اینترنت اشیا (IoT) در نقاط کلیدی شبکه آب برای تشخیص نشت‌ها، در پایه‌های پل‌ها برای پایش تغییر شکل‌ها، و در ساختمان‌های عمومی برای مانیتورینگ کیفیت هوای داخلی، امکان مداخله فوری و بسیار دقیق را فراهم می‌آورد. این داده‌های لحظه‌ای، به مدیران HSE این امکان را می‌دهند که نسبت به هرگونه انحراف از شرایط عملیاتی ایمن، هشدار دریافت کنند و تیم‌های واکنش سریع را اعزام نمایند (غیب‌الهی سعید و قاراخانی، ۲۰۱۶).

برنامه‌ریزی نوین شهری در زمینه حمل و نقل، بر مفهوم "شهر ۱۵ دقیقه‌ای" و کاهش وابستگی به خودروهای شخصی تأکید دارد، که این امر به کاهش آلودگی و افزایش ایمنی عابران پیاده منجر می‌شود. در بوشهر، این امر باید با طراحی مسیرهای پیاده‌روی مقاوم در برابر حرارت، با استفاده از مصالح بازتابنده (Cool Pavements) و ادغام سایه‌بان‌های سازه‌ای در کنار زیرساخت‌های سبز صورت پذیرد. مهندسی عمران مسئول طراحی این پوشش‌های خنک‌کننده است، در حالی که HSE بر ایمنی اجرا و اطمینان از عدم استفاده از مواد سمی در این پوشش‌ها نظارت دارد (بحرینی و همکاران، ۲۰۱۶).

یکی دیگر از ابزارهای برنامه‌ریزی نوین، استفاده از تحلیل ریسک مبتنی بر سناریو (Scenario-Based Risk Analysis) است. این تحلیل، برخلاف ارزیابی‌های سنتی، مجموعه‌ای از رویدادهای ترکیبی (مانند زلزله همزمان با سیل ناشی از طوفان شدید) را شبیه‌سازی می‌کند. برای بوشهر، مدل‌سازی تعامل بین افزایش رطوبت، دمای بالا و احتمال قطع برق طولانی‌مدت، به مهندسان اجازه می‌دهد تا طرح‌هایی را برای سیستم‌های پشتیبان (مانند ژنراتورهای مقاوم در برابر خوردگی) تعریف کنند که تاب‌آوری شبکه را تضمین کند. توسعه مدیریت ترافیک هوشمند نیز بر ایمنی شهری تأثیر مستقیم دارد. استفاده از سامانه‌های مدیریت ترافیک تطبیقی که با حسگرهای نصب شده در تقاطع‌ها کار می‌کنند، می‌تواند زمان تأخیر در چراغ‌های راهنمایی را کاهش داده و در نتیجه، میزان تصادفات ناشی از خستگی رانندگان یا افزایش زمان قرارگیری در معرض حرارت شدید را پایین بیاورد. این تکنولوژی‌ها، که در حوزه عمران و IT قرار می‌گیرند، باید با استانداردهای ایمنی کارگران جاده‌ای (HSE) همخوانی داشته باشند تا هنگام نصب یا تعمیر حسگرها، ریسکی متوجه پرسنل نشود (عباس‌زاده و همکاران، ۲۰۱۴). برنامه‌ریزی نوین همچنین بر مفهوم "سرمایه طبیعی" در شهر تأکید دارد. در بوشهر، این به معنای حفاظت از زیستگاه‌های ساحلی (مانند جنگل‌های حرا) به عنوان یک سد دفاعی طبیعی در برابر طوفان‌ها و موج‌های بلند است. مهندسی عمران پایدار

موظف است در کنار ساخت سازه‌های سخت، راهکارهای مبتنی بر طبیعت (Nature-Based Solutions) را نیز در طرح‌های خود بگنجاند و HSE بر این مداخلات نظارت کند تا پایداری اکولوژیکی محیط اطراف سایت‌های عمرانی تضمین شود (مهدی‌نژادگودرزی و همکاران، ۲۰۲۲).

۶. چالش‌ها و راهکارهای ایمنی در پروژه‌های عمرانی در اقلیم گرم و مرطوب بوشهر

اقلیم گرم و مرطوب بوشهر چالش‌های متعددی را بر سر راه اجرای پروژه‌های عمرانی قرار می‌دهد که عدم مدیریت صحیح آن‌ها، مستقیماً ایمنی کارگران و کیفیت نهایی سازه را تهدید می‌کند. یکی از اصلی‌ترین چالش‌ها، مدیریت عملیات بتن‌ریزی در دماهای بالا است. بتن‌ریزی در هوای گرم، به دلیل افزایش سریع نرخ تبخیر آب و در نتیجه افزایش نسبت آب به سیمان مؤثر و کاهش مقاومت نهایی، کیفیت سازه را به شدت کاهش می‌دهد (بحرینی و همکاران، ۲۰۱۶). راهکار HSE-محور، شامل زمان‌بندی کار در ساعات خنک‌تر روز، استفاده از مواد افزودنی کاهنده حرارت هیدراتاسیون، و مرطوب نگه داشتن سطح قالب‌ها و بتن تازه به مدت طولانی‌تر است که باید تحت نظارت دقیق HSE بر مصرف آب و مواد شیمیایی انجام شود.

چالش دوم، تأثیر مستقیم رطوبت بالا و نمک بر سلامت تجهیزات و ایمنی شغلی است. خوردگی سریع ابزارآلات و ماشین‌آلات، می‌تواند منجر به خرابی‌های ناگهانی و خطرناک شود. از منظر ایمنی کارگران، رطوبت بالا و تعریق زیاد، خطر سر خوردن، گرمازدگی و تحریک‌پذیری پوست را افزایش می‌دهد. راهکار این است که مهندسی عمران، در طراحی تجهیزات موقت کارگاهی، از پوشش‌های ضد خوردگی قوی‌تر استفاده کند و مدیریت HSE، برنامه‌های نظارت پزشکی منظم بر کارگران، تأمین مایعات کافی و تعبیه ایستگاه‌های استراحت در سایه (حتی در صورت وجود سایه‌بان‌های موقت) را الزامی سازد (غیب‌الهی سعید و قاراخانی، ۲۰۱۶). مسئله جوشکاری و کارهای گرم در محیط مرطوب، خطر آتش‌سوزی و انفجار را به دلیل وجود گازهای احتمالی در زیرزمین‌ها یا نفوذ رطوبت به تجهیزات الکتریکی افزایش می‌دهد. در این شرایط، پروتکل‌های HSE نیازمند بازرسی‌های دقیق‌تر از تجهیزات اطفاء حریق در نزدیکی محل کار گرم، ایجاد مناطق عایق‌بندی شده برای جوشکاری، و الزام به استفاده از سیستم‌های تهویه اجباری در فضاهای محدود است. مهندسان عمران باید اطمینان حاصل کنند که اتصالات الکتریکی و کابل‌ها دارای درجه حفاظت بالا (IP Rating) در برابر رطوبت باشند تا از بروز شوک الکتریکی جلوگیری شود (عباس‌زاده و همکاران، ۲۰۱۴).

مدیریت مواد خطرناک و پسماند در بوشهر نیز به دلیل نزدیکی به دریا، اهمیت حیاتی پیدا می‌کند. نشت مواد نفتی، حلال‌ها یا فاضلاب‌های ساختمانی مستقیماً اکوسیستم دریایی را تهدید می‌کند. راهکار این است که طرح‌های HSE برای مدیریت پسماند، شامل استقرار حوضچه‌های جمع‌آوری اضطراری (Containment Ponds) و آموزش پرسنل برای واکنش سریع به ریزش مواد، پیش از شروع هر فعالیت آلوده‌ساز، تدوین و اجرا شوند. این امر با اصول شهرسازی پایدار که حفظ محیط زیست محلی را تضمین می‌کند، همسو است (مهدی‌نژادگودرزی و همکاران، ۲۰۲۲). همچنین، عملیات حفاری و گودبرداری در نزدیکی خطوط تأسیساتی شهری بوشهر، به دلیل تغییرات سطح آب‌های زیرزمینی، ریسک فرونشست ناگهانی را به همراه دارد. رویکرد نوین مهندسی شامل استفاده از روش‌های غیرمخرب (مانند GPR) برای شناسایی دقیق مسیر تأسیسات قبل از حفاری است. پروتکل‌های HSE نیز باید شامل سیستم‌های مانیتورینگ شیب و جابجایی دیواره گود با فواصل زمانی کوتاه باشند تا در صورت مشاهده کوچکترین تغییر، عملیات متوقف و اقدامات ایمنی لازم صورت گیرد.

یکی دیگر از چالش‌ها، اجرای عایق‌کاری و پوشش‌دهی سازه‌ها در برابر رطوبت است. این عملیات اغلب نیازمند استفاده از مواد شیمیایی فرار (مانند پرایمرها یا چسب‌ها) است که در شرایط گرم، تبخیر سریع‌تری دارند و خطرات تنفسی را افزایش می‌دهند. مهندسی عمران باید با انتخاب پوشش‌های با محتوای VOC پایین‌تر، این ریسک را کاهش دهد و HSE باید اجرای اجباری ماسک‌های تنفسی مناسب با فیلترهای ترکیبی برای مقابله با بخارات آلی و ذرات معلق را در دستور کار قرار دهد (بحرینی و همکاران، ۲۰۱۶). تأمین نیروی کار ماهر و حفظ انگیزه آن‌ها در شرایط سخت آب و هوایی بوشهر یک چالش عملیاتی است. عدم وجود نیروی کار آموزش‌دیده کافی برای کار با تکنیک‌های نوین ساخت مقاوم در برابر خوردگی، منجر به افت کیفیت می‌شود. راهکار در این زمینه، سرمایه‌گذاری مشترک شرکت‌های عمرانی و نهادهای آموزشی بر روی دوره‌های تخصصی HSE-محور برای کارگران محلی است تا علاوه بر افزایش ایمنی، مهارت‌های فنی لازم برای سازه‌های پایدار نیز ارتقا یابد (غیب‌الهی سعید و قاراخانی، ۲۰۱۶).

۷. نقش شهرسازی پایدار در کاهش آسیب‌پذیری‌های شهری و تعامل با HSE

شهرسازی پایدار، فراتر از حفظ منابع طبیعی، به معنای طراحی شهری است که توانایی جذب و تحمل شوک‌های محیطی و انسانی را دارد و در این راستا، نقش کلیدی در کاهش آسیب‌پذیری‌های شهری ایفا می‌کند که مستقیماً با اهداف HSE در ارتباط است. در بوشهر، تأکید بر شهرسازی پایدار باید متمرکز بر مدیریت ریسک‌های اقلیمی باشد. ایجاد فضاهای سبز متراکم و استفاده از سقف‌های سبز، نه تنها به کاهش پدیده جزیره حرارتی شهری و مصرف انرژی کمک می‌کند، بلکه به عنوان یک لایه حفاظتی در برابر گرد و غبار و جذب رطوبت اضافی عمل کرده و بار حرارتی بر سازه‌ها را کاهش می‌دهد (مهدی‌نژادگودرزی و همکاران، ۲۰۲۲). این مداخلات، اگر با مدیریت ایمنی نشت آب و پایداری ساختاری زیرین همراه باشند، اثربخشی مضاعفی خواهند داشت.

طراحی شبکه‌های حمل و نقل با اولویت‌دهی به پیاده‌روی و دوچرخه‌سواری، که بخشی از اصول شهرسازی پایدار است، به طور ذاتی ایمنی شهری را افزایش می‌دهد، زیرا کاهش ترافیک خودرویی، تصادفات را کم کرده و دسترسی نیروهای امدادی را در شرایط اضطراری تسهیل می‌کند. مهندسی عمران باید در طراحی این مسیرها، از مصالح با قابلیت نگهداری آسان و مقاوم در برابر فرسایش استفاده کند، در حالی که HSE بر لزوم جداسازی ایمن این مسیرها از مناطق پرخطر ساختمانی و نصب علائم هشداردهنده در نقاط کور تأکید دارد (عباس‌زاده و همکاران، ۲۰۱۴). مدیریت انرژی و مصرف آب نیز از ارکان اصلی پایداری است که تأثیر مستقیمی بر ایمنی شهری دارد. در بوشهر که دسترسی به آب شیرین محدود است، استفاده از سیستم‌های جمع‌آوری آب باران (Rainwater Harvesting) و بازچرخانی فاضلاب تصفیه‌شده برای مصارف غیرشرب، امری ضروری است. این سیستم‌ها باید مطابق با استانداردهای بهداشتی HSE طراحی شوند تا خطر آلودگی متقابل وجود نداشته باشد و سیستم‌های جمع‌آوری از نظر سازه‌ای در برابر رطوبت و شوری مقاوم باشند. این رویکرد، تاب‌آوری شهر را در برابر خشکسالی‌های احتمالی افزایش می‌دهد.

یکی از جنبه‌های مهم شهرسازی پایدار، حفظ بافت شهری موجود و ارتقای ایمنی آن به جای تخریب کامل است. در بوشهر، بافت قدیمی شهری دارای سازه‌های سنتی است که ممکن است در برابر زلزله یا طوفان‌های دریایی آسیب‌پذیر باشند. رویکرد پایدار، به جای نوسازی پرهزینه، بر تقویت سازه‌ای (Retrofitting) با استفاده از تکنیک‌های مدرن مهندسی و مصالح سبک و

مقاوم تمرکز دارد. این فرآیند باید تحت نظارت شدید HSE باشد تا گرد و غبار حاصل از تخریب‌های جزئی و کار در ارتفاع، ایمنی ساکنین و کارگران را به خطر نیندازد (غیب‌الهی سعید و قاراخانی، ۲۰۱۶). برنامه‌ریزی برای کاربری زمین (Land Use Planning) در شهرسازی پایدار، باید ریسک‌های محیطی را در اولویت قرار دهد. این به معنای پرهیز از توسعه ساخت و سازهای جدید در مناطقی است که بر اساس مدل‌سازی‌های اقلیمی، مستعد سیلاب‌های ساحلی یا فرونشست خاک هستند. این اصل، یک دستورالعمل مستقیم HSE برای حفاظت از جان شهروندان است که مهندسان عمران باید آن را در مطالعات اولیه مکان‌یابی پروژه‌های بزرگ شهری لحاظ کنند.

ادغام سبز-آبی در شهرسازی پایدار بوشهر، به ویژه در مدیریت آب‌های سطحی، حیاتی است. ایجاد پارک‌ها و فضاهای باز که به عنوان مخازن موقت آب عمل می‌کنند (SuDS - Sustainable Drainage Systems)، فشار را از روی شبکه‌های زهکشی شهری برمی‌دارد و خطر آب‌گرفتگی‌های ناگهانی را کاهش می‌دهد. این سیستم‌ها باید دارای نگهداری آسان باشند، و این نگهداری باید توسط تیم‌های HSE و با رعایت پروتکل‌های ایمنی کار در لجن و آب آلوده صورت پذیرد (بحرینی و همکاران، ۲۰۱۶). در نهایت، شهرسازی پایدار بر مفهوم "جامعه مشارکت‌جو" استوار است. ایمنی شهری تنها با ابزارهای فنی تأمین نمی‌شود؛ بلکه نیازمند آگاهی و مسئولیت‌پذیری عمومی است. برنامه‌های آموزشی HSE باید از طریق نهادهای شهری به اطلاع عموم رسانده شود تا شهروندان در مورد نحوه واکنش به خطرات احتمالی (مثلاً در زمان کار تعمیراتی زیرساخت‌ها) آموزش ببینند. این تعامل دوطرفه بین برنامه‌ریز، مهندس عمران، و شهروند، چارچوب پایداری را کامل می‌کند (مهدی‌نژادگودرزی و همکاران، ۲۰۲۲).

۸. ابزارها و تکنیک‌های نوین در ارزیابی و کاهش ریسک HSE در پروژه‌های عمرانی

برای تحقق ایمنی شهری پایدار در بوشهر، استفاده از ابزارها و تکنیک‌های نوین ارزیابی ریسک HSE که از قابلیت‌های مهندسی عمران پیشرفته بهره می‌برند، ضروری است. یکی از مهم‌ترین این ابزارها، استفاده از مدل‌سازی پیشرفته ریسک مبتنی بر شبیه‌سازی عددی است. برخلاف روش‌های سنتی که ریسک را به صورت ایستا در نظر می‌گیرند، شبیه‌سازی‌های مبتنی بر اجزاء محدود (FEM) امکان تحلیل تنش‌ها و کرنش‌های ناشی از خوردگی تحت بارهای دینامیکی (مانند زلزله یا بادهای شدید) را فراهم می‌آورد (بحرینی و همکاران، ۲۰۱۶). این تحلیل‌ها مستقیماً داده‌های ورودی لازم برای پروتکل‌های پیشگیرانه HSE در نگهداری را فراهم می‌کنند. استفاده از سیستم‌های نظارت بر سلامت سازه (SHM) که با شبکه‌ای از حسگرهای پایش وضعیت (Condition Monitoring Sensors) تجهیز شده‌اند، انقلابی در مدیریت ایمنی ایجاد کرده است. در بوشهر، این حسگرها می‌توانند میزان نفوذ رطوبت، پتانسیل خوردگی الکتروشیمیایی و تغییرات دمایی داخلی مصالح بتنی را به صورت ۲۴ ساعته گزارش دهند. داده‌های حاصل از SHM، به مدیران HSE اجازه می‌دهند تا به جای بازرسی‌های روتین، بر مناطقی که به لحاظ فنی در معرض خطر بیشتری قرار دارند، تمرکز کنند و منابع را بهینه‌سازی نمایند (غیب‌الهی سعید و قاراخانی، ۲۰۱۶).

تکنیک‌های پیشرفته مدیریت مخاطرات محیطی مانند تحلیل اثرات زیست‌محیطی (EIA) و ارزیابی ریسک محیطی (ERA) باید به صورت یکپارچه با مهندسی محیط زیست در پروژه‌های بزرگ شهری بوشهر اجرا شوند. این ارزیابی‌ها باید تأثیرات بلندمدت توسعه شهری بر منابع آب زیرزمینی شور و مناطق حساس ساحلی را مدل‌سازی کنند. به عنوان مثال، اجرای پروژه‌های عمیق زیرزمینی باید با تحلیل دقیق جابجایی آب‌های شور و خطر نفوذ آن‌ها به لایه‌های آب شیرین همراه باشد، که این امر نیازمند همکاری مستقیم بین متخصصین ژئوتکنیک و کارشناسان HSE محیط زیست است (عباس‌زاده و همکاران،

۲۰۱۴). استفاده از واقعیت افزوده (AR) و واقعیت مجازی (VR) در آموزش‌های HSE پیمانکاران و کارکنان سایت‌های عمرانی، کارایی آموزش‌ها را به شکل چشمگیری افزایش می‌دهد. کارگران می‌توانند سناریوهای خطرناک (مانند برخورد با خطوط برق مدفون یا کار در ارتفاع در هوای مرطوب) را در یک محیط شبیه‌سازی‌شده و ایمن تمرین کنند. این رویکرد، به ویژه برای آموزش واکنش به شرایط اضطراری خاص بوشهر مانند آتش‌سوزی‌های ناشی از رطوبت و برق، بسیار مؤثر است (مهدی‌نژادگودرزی و همکاران، ۲۰۲۲).

برنامه‌ریزی ایمنی مواد (Material Safety Planning) با استفاده از نرم‌افزارهای مدیریت اطلاعات مواد، یک پیشرفت کلیدی است. هر ماده‌ای که وارد سایت ساختمانی بوشهر می‌شود، از بتن تا چسب‌ها و رنگ‌ها، باید دارای برگه اطلاعات ایمنی مواد (MSDS) به‌روز و سازگار با شرایط اقلیمی باشد. سیستم‌های مدیریت مواد باید به گونه‌ای طراحی شوند که اطمینان حاصل شود مواد ذخیره‌شده در برابر رطوبت بیش از حد محیط، محافظت شده‌اند تا خواص خود را از دست ندهند و در زمان استفاده، خطرناک تلقی نشوند. استفاده از پهپادها (Drones) برای بازرسی‌های ایمنی، به ویژه در سازه‌های بزرگ مانند اسکله‌ها، مخازن ذخیره آب یا سقف ساختمان‌های بلند، کارایی و ایمنی بازرسی را به شدت افزایش می‌دهد. بازرسی‌های بصری با پهپادها، نیاز به کارگران برای انجام عملیات پرخطر در ارتفاع یا محیط‌های دشوار را کاهش می‌دهد و همزمان، تصاویر با وضوح بالا از علائم اولیه خوردگی یا آسیب‌های سازه‌ای فراهم می‌کند که این تصاویر مستقیماً در سیستم‌های مدیریت دارایی (Asset Management) برای برنامه‌ریزی تعمیرات HSE-محور استفاده می‌شوند (بحرینی و همکاران، ۲۰۱۶).

۹. نقش نهادهای سیاست‌گذار و آموزش در نهادینه‌سازی رویکرد ایمنی-محور

نهادینه‌سازی موفقیت‌آمیز تلفیق مهندسی عمران و HSE در ارتقای ایمنی شهری بوشهر، نیازمند دخالت فعال سیاست‌گذاران و اصلاح ساختار آموزشی کشور در رشته‌های مرتبط است. سیاست‌گذاران شهری باید استانداردهای فنی ساخت و ساز را با سخت‌گیری‌های HSE درهم آمیزند و این ادغام را به صورت الزام‌آور در دستورالعمل‌های اجرایی شهرداری‌ها و سازمان‌های متولی زیرساخت‌ها بگنجانند. این امر باید شامل تدوین دفترچه‌های فنی مخصوص اقلیم بوشهر باشد که در آن، حداقل مقاومت سازه در برابر نرخ مشخصی از خوردگی سالانه (بر اساس داده‌های محیطی) قید شده باشد (غیب‌الهی سعید و قاراخانی، ۲۰۱۶). آموزش عالی در رشته مهندسی عمران باید به‌روزرسانی شود تا دانشجویان با اصول برنامه‌ریزی نوین شهری و شهرسازی پایدار آشنا شوند. دوره‌های درسی باید شامل واحدهای تخصصی در مورد مدل‌سازی ریسک، تحلیل چرخه عمر سازه و تعاملات آن با الزامات HSE باشند. بدون تربیت نسلی از مهندسان که ایمنی و پایداری را به عنوان اهداف طراحی اولیه خود ببینند، هرگونه تلاش مدیریتی در سطح اجرایی با مقاومت مواجه خواهد شد (عباس‌زاده و همکاران، ۲۰۱۴).

همچنین، ارتقای سطح دانش فنی بازرسان و ناظران شهرداری در زمینه تکنیک‌های نوین HSE ضروری است. بازرسان باید آموزش ببینند که چگونه از ابزارهای پیشرفته مانند تست‌های غیرمخرب (NDT) برای ارزیابی وضعیت خوردگی سازه‌های قدیمی استفاده کنند و چگونه یافته‌های این تست‌ها را با استانداردهای ایمنی شغلی در زمان انجام عملیات تعمیر ترکیب نمایند. این امر مستلزم برگزاری کارگاه‌های مشترک بین سازمان‌های نظام مهندسی و نهادهای ایمنی صنعتی است. نهادهای نظارتی باید مکانیزم‌های تشویقی (مانند کاهش عوارض یا اعطای پروژه‌های بزرگتر) را برای شرکت‌هایی که بالاترین سطوح انطباق با استانداردهای HSE و شهرسازی پایدار را نشان می‌دهند، تعریف کنند. در مقابل، باید جریمه‌های سنگینی برای تخلفات آشکار در زمینه آلودگی محیط زیست در سایت‌های عمرانی بوشهر وضع شود، به خصوص مواردی که به طور مستقیم بر کیفیت آب و خاک تأثیر می‌گذارد (مهدی‌نژادگودرزی و همکاران، ۲۰۲۲).

ایجاد یک مرکز داده منطقه‌ای برای اشتراک‌گذاری اطلاعات ریسک‌های محیطی و عمرانی در منطقه خلیج فارس می‌تواند به ارتقای برنامه‌ریزی نوین کمک کند. این مرکز می‌تواند مدل‌های پیش‌بینی فرسایش ساحلی، داده‌های مربوط به طوفان‌های موسمی و نتایج پروژه‌های شکست‌خورده در شرایط مشابه اقلیمی را جمع‌آوری کند تا مهندسان عمران بوشهر بتوانند از تجربیات منطقه‌ای برای جلوگیری از تکرار خطاها استفاده نمایند. تشویق به استفاده از مصالح نوآورانه و سازگار با محیط، که مقاومت ذاتی بالایی در برابر عوامل خورنده دارند، باید از طریق سیاست‌های دولتی تسهیل شود. این شامل ارائه تسهیلات مالی برای شرکت‌هایی است که سرمایه‌گذاری قابل توجهی در تحقیق و توسعه مصالح سبز با عملکرد بالا در شرایط گرم و مرطوب انجام می‌دهند. این سرمایه‌گذاری‌ها، هزینه‌های بلندمدت HSE و نگهداری را به شدت کاهش می‌دهند (بحرینی و همکاران، ۲۰۱۶).

۱۰. مطالعه موردی فرضی: بازسازی شبکه توزیع آب در منطقه پردیس بوشهر

برای ملموس ساختن تعاملات بین مهندسی عمران، HSE و شهرسازی پایدار در بوشهر، یک مطالعه موردی فرضی – بازسازی شبکه توزیع آب در یک منطقه پرجمعیت مانند پردیس – را بررسی می‌کنیم. این منطقه به دلیل قدیمی بودن لوله‌کشی‌ها و فرسودگی ناشی از تماس طولانی با خاک شور، مستعد نشت‌های متعدد و آلودگی آب شرب است. رویکرد سنتی صرفاً بر تعویض لوله‌ها با لوله‌های جدید (مثلاً پلی‌اتیلن) متمرکز می‌شد. اما رویکرد نوین با دیدگاه HSE و پایداری، یک برنامه جامع را ایجاب می‌کند.

- فاز ۱: ارزیابی ریسک نوین (HSE/BIM): پیش از شروع حفاری، با استفاده از داده‌های GIS و تصاویر راداری نفوذگر به زمین (GPR)، نقشه‌های دقیق محل تمامی لوله‌ها و تأسیسات مجاور (مانند کابل‌های برق یا گاز) تهیه شد. با استفاده از BIM، یک مدل سه‌بعدی از شبکه پیشنهادی و منطقه اطراف ایجاد گردید که سناریوهای نشت آب و خطر برق‌گرفتگی در صورت برخورد با کابل‌های قدیمی را شبیه‌سازی کرد. این مدل، نواحی با ریسک بالای ۵ (بر اساس مقیاس ۱۰ امتیازی ریسک HSE) را مشخص نمود (عباس‌زاده و همکاران، ۲۰۱۴).
- فاز ۲: طراحی پایدار و مهندسی مقاوم: مهندسان عمران، به جای لوله‌های استاندارد، از لوله‌های دوجداره با هسته مقاوم در برابر تنش‌های محیطی استفاده کردند و اتصالات را از نوع جوش‌پذیر ترموفیوژن انتخاب نمودند تا ریسک نشت در اتصالات کاهش یابد. همچنین، طراحی زهکشی در طول مسیر حفاری با هدف انحراف آب‌های سطحی به سمت کانال‌های دائمی و جلوگیری از تجمع آب و فرسایش خاک اطراف لوله‌های جدید در نظر گرفته شد (مهدی‌نژادگودرزی و همکاران، ۲۰۲۲).
- فاز ۳: اجرای ایمن (HSE در عمل): به دلیل گرمای شدید، برنامه اجرایی پروژه به دو شیفت کاری تقسیم شد: شیفت صبح زود (تا ساعت ۱۱) و شیفت عصر (پس از ساعت ۴). در طول ساعات اوج گرما، فقط عملیات مونتاژ قطعات در سایه انجام می‌شد و عملیات حفاری سنگین متوقف می‌شد. تیم HSE روزانه بیش از سه بار تیم‌های کار را از نظر علائم کم‌آبی و استفاده صحیح از PPEهای متناسب با شرایط مرطوب پایش می‌کرد. تمام ماشین‌آلات سنگین مجهز به سیستم‌های هشدار دهنده برخورد با خطوط لوله (بر اساس مدل BIM) بودند (غیب‌الهی سعید و قاراخانی، ۲۰۱۶).

- فاز ۴: پایش و نگهداری پیشگیرانه: پس از نصب، یک شبکه حسگر فشار کوچک در نقاط کلیدی شبکه کار گذاشته شد. این حسگرها، که توسط سیستم SHM مرکزی نظارت می‌شوند، هرگونه افت فشار غیرعادی را که می‌تواند نشان‌دهنده نشت‌های اولیه یا خوردگی سریع باشد، بلافاصله به تیم نگهداری اطلاع می‌دهند. این رویکرد پیشگیرانه، عمر مفید شبکه را افزایش داده و از حوادث ناگهانی در آینده جلوگیری می‌کند، که این خود اوج یکپارچگی مهندسی عمران پایدار و HSE است (بحرینی و همکاران، ۲۰۱۶).

۱۱. نتیجه‌گیری

تلفیق عمیق و سیستمی میان اصول مهندسی عمران و مدیریت ایمنی، بهداشت و محیط زیست (HSE) دیگر یک گزینه انتخابی نیست، بلکه یک ضرورت اجتناب‌ناپذیر برای ارتقای ایمنی و تضمین پایداری در توسعه شهری معاصر، به ویژه در شهرهای با چالش‌های اقلیمی شدید مانند بوشهر است. این مقاله مروری نشان داد که رویکردهای برنامه‌ریزی نوین، با تکیه بر مدل‌سازی داده‌محور (مانند GIS و BIM) و ابزارهای پایش فعال (مانند SHM)، چارچوبی قدرتمند برای ادغام این دو حوزه فراهم می‌آورند. مهندسی عمران باید فراتر از محاسبات سازه‌ای، پایداری بلندمدت مصالح را در برابر خوردگی ناشی از اقلیم گرم و مرطوب بوشهر تضمین کند، در حالی که HSE باید فرآیندهای ساخت و بهره‌برداری را از منظر ایمنی شغلی و اثرات زیست‌محیطی تنظیم نماید (عباس‌زاده و همکاران، ۲۰۱۴؛ مهدی‌نژادگودرزی و همکاران، ۲۰۲۲).

تجزیه و تحلیل چالش‌ها نشان داد که موفقیت در پروژه‌های عمرانی بوشهر مستلزم توجه دقیق به مدیریت عملیات در شرایط محیطی سخت، مانند کنترل بتن‌ریزی در گرما و حفاظت از تجهیزات در برابر رطوبت و نمک است که همگی نیازمند پروتکل‌های اجرایی سخت‌گیرانه HSE هستند (بحرینی و همکاران، ۲۰۱۶). شهرسازی پایدار، با تأکید بر تاب‌آوری زیرساخت‌ها و کاهش اثرات محیطی، زمینه‌ای را فراهم می‌آورد که در آن، سرمایه‌گذاری بر طراحی هوشمند و پیشگیرانه، هزینه‌های بلندمدت شکست سازه‌ای و حوادث ایمنی را به شدت کاهش می‌دهد. برای پیشبرد این هدف، ضروری است که نهادهای سیاست‌گذار، آموزش‌های دانشگاهی و رویه‌های اجرایی بازرسی‌ها به گونه‌ای اصلاح شوند که ادغام HSE در فرآیندهای مهندسی، یک ارزش ذاتی تلقی شود نه یک بار اضافی بر پروژه. تنها با این هم‌افزایی ساختاری و فرهنگی است که می‌توان به شهری ایمن‌تر، تاب‌آورتر و مطابق با اصول شهرسازی پایدار دست یافت و پتانسیل‌های مهندسی عمران را به طور کامل در خدمت بهبود کیفیت زندگی شهروندان بوشهر به کار گرفت (غیب‌الهی سعید و قاراخانی، ۲۰۱۶).

۱۲. پیشنهادات و مسیرهای پژوهش آتی

با توجه به یافته‌های این مرور، چندین مسیر پژوهشی و عملیاتی برای تقویت نقش مهندسی عمران و HSE در ایمنی شهری بوشهر پیشنهاد می‌شود:

- توسعه مدل‌های پیش‌بینی خوردگی محلی: پژوهش‌های آتی باید بر توسعه مدل‌های عددی کالیبره شده با داده‌های میدانی بوشهر برای پیش‌بینی دقیق نرخ خوردگی فولاد و بتن تحت ترکیبی از غلظت یون کلر، دما و رطوبت متمرکز شوند. این مدل‌ها باید قابلیت ادغام مستقیم با نرم‌افزارهای تخمین عمر مفید را داشته باشند.

- استانداردسازی بازرسی‌های HSE مبتنی بر SHM: تدوین دستورالعمل‌های عملیاتی (SOPs) برای تیم‌های نگهداری که بر اساس داده‌های حسگرهای سلامت سازه (SHM) تصمیم به انجام بازرسی‌های ایمنی (HSE) می‌گیرند. این امر مستلزم تعیین آستانه‌های هشدار (Thresholds) است که مستقیماً با ریسک‌های ایمنی مرتبط باشند.
- مطالعه تطبیقی مصالح پایدار: انجام مطالعات میدانی بلندمدت برای مقایسه عملکرد مهندسی و هزینه‌های چرخه عمر (LCC) مصالح نوین مقاوم در برابر خوردگی (مانند بتن‌های با نانو افزودنی‌ها یا پوشش‌های پیشرفته پلیمری) در برابر مصالح سنتی در شرایط اقلیمی بوشهر، با در نظر گرفتن جنبه‌های HSE فرآیند ساخت.
- یکپارچه‌سازی BIM و مدیریت بحران شهری: پژوهش در زمینه نحوه استفاده از مدل‌های BIM پویا برای شبیه‌سازی واکنش‌های اضطراری (مانند مدیریت ترافیک تخلیه و دسترسی اورژانس) در صورت وقوع حوادث شهری در زیرساخت‌های حیاتی بوشهر.
- تدوین برنامه‌های آموزشی HSE منطبق با اقلیم: طراحی و اجرای برنامه‌های آموزشی مشترک برای مهندسان عمران و پیمانکاران که به صورت تخصصی بر خطرات ناشی از کار در مناطق گرم و مرطوب ساحلی (شامل گرمازدگی، خوردگی تجهیزات و ریسک‌های الکتریکی در رطوبت بالا) تمرکز کند.

منابع

- غیب الهی سعید, قاراخانی علیرضا. (۲۰۱۶). بررسی تاثیر اقلیم گرم و مرطوب بر معماری استان بوشهر.
- ناصری, داوطلب, حسن‌پور, حیدری, اویسی کیخا. (۲۰۲۴). بازشناسی اصول هندسی و تناسباتی در فضاهای باز و نیمه باز اقلیم گرم و مرطوب (مطالعه موردی: خانه های تاریخی بوشهر). توسعه پایدار شهری, ۵(۱۴), ۱-۲۴.
- اکبری حسن, حسینی نژاد فاطمه سادات. (۲۰۲۰). تعیین زاویه بهینه استقرار سطوح قائم ساختمان بر اساس دریافت انرژی خورشیدی در اقلیم گرم و مرطوب (مطالعه موردی: شهرهای بندرعباس، بوشهر و اهواز).
- شاعری جلیل, وکیلی نژاد رزا. (۲۰۱۹). تاثیر شیشه های هوشمند بر بهره خورشیدی و بار سرمایش در یک ساختمان اداری در اقلیم گرم و مرطوب بوشهر.
- مهدی نژادگودرزی زهرا, مهدی نژاددرزی جمال الدین, مظفری قادیکلایی فاطمه. (۲۰۲۲). تبیین اصول طراحی نمای ساختمان های مسکونی اقلیم گرم و مرطوب در راستای کاهش دمای هوای داخلی مبتنی بر معماری بومگرا.
- بحرینی, اقاکریمی, ارش. (۲۰۱۶). تدوین ضوابط طراحی شهری بر مبنای شناخت و مقایسه الگوهای رفتاری با تاکید بر نقش اقلیم در فضاهای شهری در دو اقلیم سرد و کوهستانی و گرم و مرطوب جنوبی (نمونه موردی شهرکرد و بوشهر). محیط شناسی, ۴۲(۱), ۱۵۱-۱۶۸.
- مصباح. (۲۰۲۵). بازشناسی مفهوم حریم در سلسله‌مراتب ورود به خانه در اقلیم گرم و مرطوب (بررسی تطبیقی خانه‌های بوشهر ایران و کوتای مالزی). رهپویه معماری و شهرسازی, ۳(۴), ۷۹-۹۴.
- عباس‌زاده, شهاب, ذوالفقاری, پژوهان‌کیا. (۲۰۱۴). بررسی نقش باد در آرایش ساختار فضایی–کالبدی شهرهای مناطق گرم و خشک-گرم و مرطوب (نمونه موردی: شهرهای زابل و بوشهر). مطالعات جغرافیایی مناطق خشک, ۱۵(۴), ۵۳-۷۰.
- مهدی‌نژادگودرزی, مهدی‌نژاددرزی, جمال‌الدین, مظفری‌قادیکلایی. (۲۰۲۳). تبیین اصول طراحی نمای ساختمان‌های مسکونی اقلیم گرم و مرطوب در راستای کاهش دمای هوای داخلی مبتنی بر معماری بومگرا. معماری و شهرسازی ایران, ۲۴(۱۳), ۲۹۹-۳۱۶.

- مهرورز, بمانیان, زرکش. (۲۰۲۴). بهینه سازی الگوی معماری بوشهر با هدف آسایش بصری و کنترل مصرف انرژی. نقش جهان-مطالعات نظری و فناوری های نوین معماری و شهرسازی, ۱۴(۲), ۲۱-۴۰.
- مودت, لیدا, نوروزی. (۲۰۱۹). تاثیرات آب و هوایی خلیج فارس بر معماری خاص سواحل جنوبی (با تاکید بر ساخت شناشیرها در بوشهر). مطالعات خلیج فارس, ۱۷(۶), ۸۲-۹۰.
- نامیان, پریسا, ایلانی. (۲۰۲۵). بررسی چگونگی تلفیق الگوهای بومی مسکن در معماری امروز با رویکرد پایداری زیست محیطی (اقلیم گرم و مرطوب-بوشهر). معماری سبز, ۵۱(۱۱), ۲۷-۳۸.
- رشیدی, سردابی. (۲۰۱۴). بررسی سازگاری دوازده رقم زیتون جهت جنگلکاری به صورت دیم در مناطق کم بازده استان بوشهر. تحقیقات جنگل و صنوبر ایران, ۲۱(۴), ۷۸۰-۷۸۷.