

## زیرساخت‌های چندمنظوره در سنگاپور، تبدیل سرمایه‌گذاری عمرانی به امنیت ملی، تاب‌آوری شهری و ارزش اقتصادی

یکی از ویژگی‌های کمتر شناخته‌شده توسعه سنگاپور، تلاش برای طراحی زیرساخت‌هایی است که به‌جای انجام یک وظیفه محدود، چند نیاز راهبردی را به‌طور هم‌زمان پاسخ دهند. در این الگو، یک پروژه عمرانی می‌تواند علاوه بر کارکرد فنی اصلی خود، در تأمین آب، کنترل سیلاب، حفاظت ساحلی، ایجاد فضای عمومی، ارتقای کیفیت زندگی و تقویت تصویر بین‌المللی کشور نقش داشته باشد.

نمونه شاخص این رویکرد، سد و مجموعه آبی Marina Barrage است؛ پروژه‌ای که در دهانه کانال مارینا احداث شد و سه کارکرد اصلی دارد: کمک به مدیریت سیلاب، ایجاد مخزن آب شیرین و فراهم کردن فضای عمومی و تفریحی. بر اساس اطلاعات رسمی سازمان آب سنگاپور، این پروژه مخزن مارینا را ایجاد کرد. مخزنی با حوضه آبریز حدود ۱۰ هزار هکتار که به گسترش سطح زمین تحت پوشش جمع‌آوری آب در سنگاپور کمک کرده است. این مجموعه در ۳۱ اکتبر ۲۰۰۸ افتتاح شد و مخزن مارینا در نوامبر ۲۰۱۰ به‌عنوان مخزن آب شیرین به بهره‌برداری رسید.

اهمیت این تجربه فراتر از یک سازه مهندسی است. سنگاپور در اینجا نشان می‌دهد که چگونه می‌توان یک محدودیت جغرافیایی — کمبود زمین و آسیب‌پذیری یک شهر ساحلی در برابر سیلاب — را به محرکی برای نوآوری در طراحی زیرساخت تبدیل کرد.

منطق راهبردی این رویکرد را می‌توان در چهار اصل خلاصه کرد:

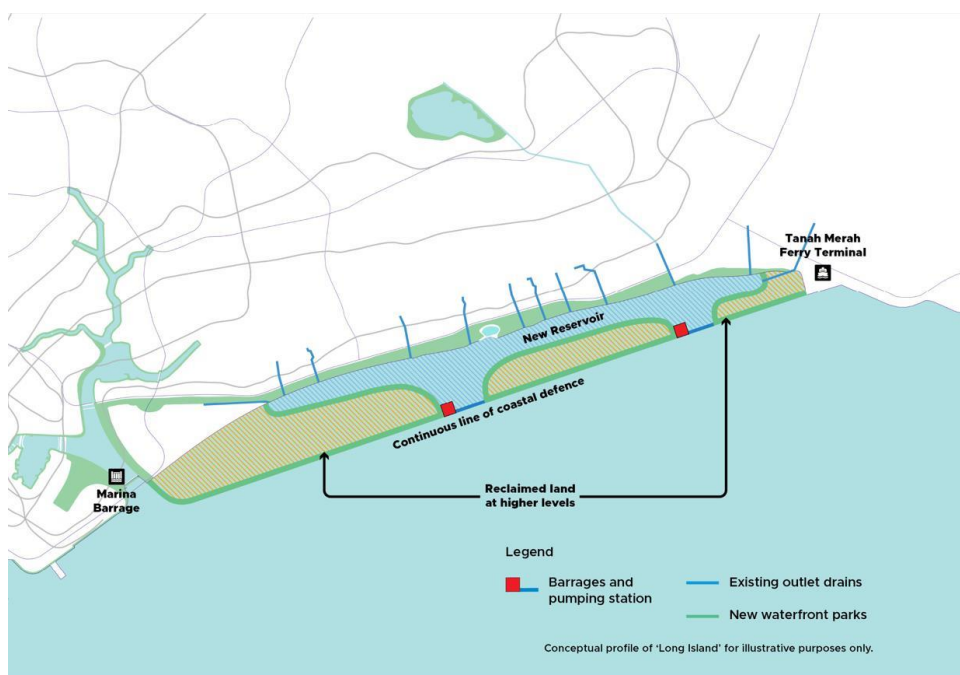
- چندکارکردی کردن سرمایه‌گذاری عمومی: یک پروژه باید تا حد امکان چند مسئله مرتبط را حل کند.
- اتصال زیرساخت به برنامه‌ریزی سرزمینی: سازه‌ها باید در ارتباط با شهر، آب، حمل‌ونقل، محیط‌زیست و نیازهای اجتماعی طراحی شوند.
- در نظر گرفتن ریسک‌های بلندمدت: زیرساخت باید نه فقط برای شرایط عادی، بلکه برای بارندگی شدید، مد دریا و تغییرات اقلیمی نیز برنامه‌ریزی شود.
- تبدیل فضای فنی به دارایی عمومی: زیرساخت می‌تواند علاوه بر کارکرد تخصصی، به فضایی برای فعالیت اجتماعی و آموزش عمومی تبدیل شود.

ارزش راهبردی زیرساخت را نباید صرفاً با هزینه ساخت یا ظرفیت فنی آن سنجید. معیار مهم‌تر، مجموعه منافع است که در طول عمر پروژه ایجاد می‌کند، میزان ریسک‌هایی که کاهش می‌دهد و انعطافی که برای آینده فراهم می‌سازد.

**Marina Barrage: نمونه شاخص زیرساخت چندمنظوره**

مارینا باراژ نمونه‌ای روشن از رویکرد سنگاپور به طراحی زیرساخت‌های چندمنظوره است. این سازه در کانال مارینا، در مرکز شهر، احداث شده و با ایجاد یک مانع در برابر نفوذ آب دریا، امکان شکل‌گیری مخزن آب شیرین مارینا را فراهم کرده است.

حوضه آبریز این مخزن حدود ۱۰ هزار هکتار است. بر اساس اطلاعات سازمان آب سنگاپور، همراه با دو مخزن دیگر، ایجاد مخزن مارینا سهم مساحت کشور تحت پوشش جمع‌آوری آب را از حدود نیمی از مساحت سنگاپور به حدود دوسوم افزایش داده است.





### ۱.۱. کارکرد نخست: مدیریت منابع آب

سنگاپور به دلیل محدودیت منابع طبیعی آب شیرین، سیاستی چندمنبعی برای تأمین آب خود اتخاذ کرده است. جمع‌آوری آب باران و رواناب شهری یکی از چهار منبع اصلی تأمین آب کشور محسوب می‌شود؛ در کنار آب وارداتی، آب بازیافتی NEWater و آب شیرین‌شده از دریا.

مخزن مارینا بخشی از همین راهبرد است. این پروژه به دولت امکان می‌دهد آب حاصل از بارندگی و رواناب حوضه شهری را جمع‌آوری کند و در چارچوب نظام مدیریت آب کشور به کار گیرد.

نکته مهم آن است که حوضه آبریز مارینا به‌شدت شهری است. در چنین محیطی، جمع‌آوری آب تنها به ساخت مخزن وابسته نیست؛ کیفیت رواناب، شبکه زهکشی، آلودگی‌های سطحی و نحوه مدیریت آب در سراسر حوضه نیز اهمیت دارند.

یک زیرساخت شهری می‌تواند هم‌زمان بخشی از نظام آبرسانی کشور باشد. در نتیجه، برنامه‌ریزی آب نباید صرفاً در محدوده تأسیسات تصفیه یا مخازن انجام شود، بلکه باید کل حوضه آبریز و کاربری‌های شهری مرتبط را در بر گیرد.



## ۱.۲. کارکرد دوم: کنترل سیلاب

مارینا باراژ بخشی از سامانه مدیریت سیلاب سنگاپور است. این مجموعه از ۹ دریچه بزرگ برای کنترل جریان آب استفاده می‌کند. هنگامی که بارندگی شدید رخ می‌دهد و شرایط جزرومدی اجازه می‌دهد، آب اضافی از طریق دریچه‌ها به دریا تخلیه می‌شود. اگر بارندگی شدید با مد بالای دریا هم‌زمان شود، پمپ‌های بزرگ برای تخلیه آب اضافی به کار گرفته می‌شوند.

این طراحی به یک مسئله مهندسی مهم پاسخ می‌دهد. در مناطق ساحلی، بارندگی شدید و افزایش سطح آب دریا ممکن است به‌طور هم‌زمان ظرفیت تخلیه آب را محدود کنند.

اگر خروجی کانال‌ها به دریا تحت تأثیر مد بالا قرار گیرد، آب باران ممکن است نتواند با سرعت کافی تخلیه شود. بنابراین، ایجاد یک مانع قابل کنترل همراه با پمپاژ، انعطاف بیشتری برای مدیریت شرایط مختلف فراهم می‌کند.

باین‌حال، مارینا باراژ به‌تنهایی تمام خطر سیلاب سنگاپور را برطرف نمی‌کند. عملکرد آن باید در ارتباط با شبکه زهکشی، ظرفیت کانال‌ها، پیش‌بینی بارندگی و سایر اقدامات حفاظتی ارزیابی شود.

## ۱.۳. کارکرد سوم: فضای عمومی و کیفیت زندگی

سطح سبز و فضای عمومی مارینا باراژ به مکانی برای پیاده‌روی، پیک‌نیک، بادبادک‌بازی و فعالیت‌های تفریحی تبدیل شده است. این فضا در کنار کارکردهای فنی سازه، امکان استفاده عمومی از یک تأسیسات زیرساختی را فراهم می‌کند.

این ویژگی از نظر مدیریت شهری مهم است. در بسیاری از شهرها، زیرساخت‌های تخصصی به فضاهایی بسته و کم‌ارتباط با زندگی روزمره شهروندان تبدیل می‌شوند. در مارینا باراژ، بخش‌هایی از مجموعه به‌گونه‌ای طراحی شده‌اند که شهروندان بتوانند در محیطی عمومی با زیرساخت آب و اهمیت پایداری منابع آشنا شوند.

این کارکرد اجتماعی، جایگزین وظیفه فنی سازه نیست؛ بلکه ارزش افزوده‌ای است که از طراحی یکپارچه حاصل می‌شود.

## ۲. اصل بنیادین: طراحی یک پروژه برای حل چند مسئله مرتبط

درس مهم مارینا باراژ آن است که زیرساخت چندمنظوره نباید صرفاً به معنای افزودن امکانات جانبی به یک پروژه باشد. چندکارکردی بودن زمانی ارزش واقعی ایجاد می‌کند که وظایف مختلف از مرحله طراحی با یکدیگر هماهنگ شده باشند.

در این پروژه، کنترل جریان آب، مدیریت سیلاب، ایجاد مخزن و دسترسی عمومی به یکدیگر مرتبط‌اند. به همین دلیل، طراحی واحد می‌تواند منافع ایجاد کند که اجرای جداگانه هر بخش لزوماً با همان هزینه یا همان کیفیت به دست نمی‌دهد.

این منطق را می‌توان در سه سطح تحلیل کرد.

سطح نخست: هم‌افزایی فنی. یک سازه می‌تواند هم‌زمان به تنظیم جریان آب و ذخیره‌سازی آن کمک کند. اما این هم‌افزایی مستلزم طراحی دقیق و سازگاری میان نیازهای عملیاتی است.

سطح دوم: بهره‌وری اقتصادی. استفاده مشترک از زمین، دسترسی‌ها و برخی اجزای زیرساختی می‌تواند ارزش سرمایه‌گذاری عمومی را افزایش دهد. البته صرف چندمنظوره بودن، تضمین نمی‌کند که پروژه ارزان‌تر باشد. هزینه ساخت، نگهداری و پیچیدگی عملیاتی نیز باید محاسبه شوند.

سطح سوم: ارزش اجتماعی. هنگامی که زیرساخت با فضای عمومی، آموزش و فعالیت‌های روزمره پیوند می‌خورد، منافع آن از کاربران مستقیم خدمات فراتر می‌رود.

در نتیجه، ارزیابی پروژه باید بر اساس مجموع منافع و هزینه‌های چرخه عمر انجام شود، نه صرفاً هزینه اولیه ساخت یا تعداد کارکردهای اسمی آن.

## ۳. از مارینا باراژ تا حفاظت ساحلی، زیرساخت‌های آینده سنگاپور

سنگاپور رویکرد چندمنظوره خود را به پروژه‌های آینده حفاظت ساحلی نیز گسترش داده است. دلیل این امر، آسیب‌پذیری جغرافیایی کشور است. سنگاپور شهری ساحلی، پرتراکم و کم‌ارتفاع است که با خطر هم‌زمان بارندگی شدید، سیلاب داخلی و افزایش سطح دریا مواجه است.

بر اساس اطلاعات دبیرخانه ملی تغییرات اقلیمی سنگاپور که در ژوئیه ۲۰۲۶ به‌روزرسانی شده، حدود ۳۰ درصد مساحت کشور کمتر از پنج متر بالاتر از میانگین سطح دریاست. در سناریوهای بررسی‌شده، افزایش میانگین سطح دریا تا

سال ۲۱۰۰ ممکن است به ۱,۱۵ متر برسد. در شرایط ترکیبی افزایش سطح دریا، مد بالا و امواج ناشی از توفان، سطح آب می‌تواند به‌طور موقت بسیار بیشتر شود.

این شرایط، حفاظت ساحلی را به مسئله‌ای بلندمدت و بین‌نسلی تبدیل می‌کند.

### ۳.۱. برنامه حفاظت ساحلی City-East Coast

مطالعه بخش City-East Coast که در سال ۲۰۲۵ تکمیل شد، مجموعه‌ای از راهکارها را برای مناطق مختلف ساحلی بررسی کرده است. برای بخش Greater Southern Waterfront، ایجاد موانع ساحلی پیشنهاد شده و برای منطقه چانگی، ترکیبی از سازه‌های مرتفع‌شده و دریاچه‌های جزرومدی مورد توجه قرار گرفته است. این طرح‌ها هنوز به مطالعات طراحی تفصیلی، ارزیابی‌های محیط‌زیستی و مراحل اجرایی نیاز دارند.

اهمیت این رویکرد در آن است که دولت برای تمام بخش‌های ساحل یک راهکار یکسان در نظر نمی‌گیرد. شرایط زمین، نوع کاربری، وجود زیستگاه‌های طبیعی، دسترسی دریایی و برنامه‌های توسعه آینده در انتخاب راهکار دخالت دارند. این روش از نظر مهندسی و سیاست‌گذاری، یک اصل مهم را نشان می‌دهد: راهکار حفاظت باید متناسب با ویژگی‌های مکانی و کارکردی هر بخش طراحی شود.

### ۳.۲. پروژه Long Island

یکی دیگر از طرح‌های مهم، پروژه Long Island در ساحل شرقی سنگاپور است. این پروژه در چارچوب برنامه‌های بلندمدت حفاظت ساحلی و توسعه شهری مطرح شده و شامل احیای زمین، ایجاد مخزن و احداث سازه‌های کنترلی و ایستگاه‌های پمپاژ است.

بر اساس اطلاعات رسمی منتشر شده، طرح مفهومی شامل احیای حدود ۸۰۰ هکتار زمین و ایجاد یک خط دفاعی پیوسته در برابر افزایش سطح دریاست. سازه‌های پیش‌بینی شده قرار است علاوه بر حفاظت ساحلی، در مدیریت آب و توسعه آینده زمین نیز نقش داشته باشند. جزئیات فنی و اجرایی همچنان تابع مطالعات مربوط است.

از دیدگاه راهبردی، چنین پروژه‌ای سه موضوع را به یکدیگر پیوند می‌دهد: امنیت ساحلی، مدیریت آب و توسعه زمین.

اما این نوع پروژه‌ها با هزینه‌های سنگین سرمایه‌ای، پیامدهای احتمالی زیست‌محیطی، پیچیدگی مهندسی و دوره اجرای طولانی همراه‌اند. بنابراین، چندمنظوره‌ب و دن پروژه باید با ارزیابی دقیق هزینه - فایده و بررسی آثار جانبی همراه شود.

#### ۴. نمونه مکمل Gardens by the Bay و پیوند زیرساخت با پایداری محیطی

نمونه دیگری از رویکرد یکپارچه سنگاپور، مجموعه Gardens by the Bay است. این مجموعه در درجه نخست یک فضای سبز و جاذبه عمومی شهری است، اما طراحی آن شامل سازوکارهایی برای مدیریت انرژی و آب نیز می‌شود.

طبق اطلاعات رسمی مجموعه، گلخانه‌های بزرگ با استفاده از مجموعه‌ای از فناوری‌های کنترل گرما و سرمایش طراحی شده‌اند که مصرف انرژی را در مقایسه با ساختمان‌هایی با فناوری سرمایش متعارف حدود ۳۰ درصد کاهش می‌دهد. در این سازوکارها، کنترل ورود گرمای خورشیدی، سرمایش بخش‌های موردنیاز و استفاده از حرارت بازیافتی نقش دارند.

همچنین، سامانه دریاچه‌ها و پوشش گیاهی مجموعه در جمع‌آوری و پالایش طبیعی بخشی از رواناب و استفاده از آب برای آبیاری نقش دارند. این کارکردها به پیوند فضای سبز، مدیریت آب و حفاظت از تنوع زیستی کمک می‌کنند.

تفاوت این نمونه با مارینا باراژ مهم است: مارینا باراژ در اصل زیرساختی برای مدیریت آب و سیلاب است که کارکرد عمومی نیز دارد، درحالی‌که Gardens by the Bay یک فضای سبز و تفریحی است که در طراحی آن، کارکردهای پایداری و مدیریت منابع نیز ادغام شده‌اند.

بالاین‌حال، هر دو پروژه از یک منطق مشترک پیروی می‌کنند: طراحی شهری می‌تواند چند هدف را هم‌زمان دنبال کند، مشروط بر آنکه کارکردهای فنی و محیطی از ابتدا در طراحی لحاظ شوند.





## ۵. منافع اقتصادی و مدیریتی زیرساخت‌های چندمنظوره

ارزش زیرساخت‌های چندمنظوره را می‌توان از چند منظر ارزیابی کرد.

### ۵.۱. افزایش بازده سرمایه‌گذاری عمومی

هنگامی که یک پروژه هم‌زمان چند نیاز را پاسخ می‌دهد، سرمایه‌گذاری عمومی می‌تواند منافع گسترده‌تری ایجاد کند. برای مثال، مارینا باراژ علاوه بر مدیریت آب، به کاهش خطر سیلاب در بخش‌هایی از شهر کمک می‌کند و فضای عمومی نیز فراهم می‌آورد.

با این حال، برای اثبات برتری اقتصادی این رویکرد باید مقایسه‌ای واقعی انجام شود. هزینه ساخت و نگهداری پروژه چندمنظوره در برابر هزینه اجرای جداگانه راهکارهای جایگزین، همراه با ارزش منافع اجتماعی و محیطی.

### ۵.۲. کاهش تعارض میان کاربری‌های زمین

در کشوری همچون سنگاپور که با محدودیت زمین، تخصیص یک قطعه بزرگ برای یک هدف واحد می‌تواند هزینه فرصت بالایی داشته باشد. طراحی چندمنظوره می‌تواند بخشی از این محدودیت را کاهش دهد.

برای نمونه، فضای عمومی روی یک سازه یا در کنار آن ممکن است امکان استفاده اجتماعی از زمینی را فراهم کند که در غیر این صورت به طور کامل به تأسیسات فنی اختصاص می‌یافت.

البته این اصل در همه پروژه‌ها قابل اجرا نیست. برخی زیرساخت‌ها به حریم ایمنی، دسترسی عملیاتی یا محدودیت‌های سخت‌گیرانه نیاز دارند و باز کردن آن‌ها به روی عموم می‌تواند خطرناک یا غیراقتصادی باشد.

### ۵.۳. ارتقای تاب‌آوری

زیرساختی که از ابتدا برای سناریوهای مختلف طراحی شده باشد، ممکن است در برابر شرایط متغیر انعطاف بیشتری داشته باشد. مارینا بارژ با ترکیب دریچه‌ها و پمپ‌ها، امکان واکنش به شرایط متفاوت بارندگی و جزرومد را فراهم می‌کند. اما تاب‌آوری فقط به طراحی سازه وابسته نیست. نگهداری، برق‌رسانی، قطعات یدکی، نیروی انسانی متخصص، سامانه‌های هشدار و برنامه‌های واکنش اضطراری نیز ضروری‌اند.

### ۵.۴. ایجاد ارزش عمومی و اعتماد اجتماعی

وقتی زیرساخت برای مردم قابل مشاهده و قابل استفاده باشد، فرصت آموزش عمومی درباره آب، محیط‌زیست و مدیریت ریسک افزایش می‌یابد. این امر می‌تواند درک عمومی از هزینه‌ها و ضرورت سرمایه‌گذاری‌های بلندمدت را تقویت کند.

البته این اثر باید به عنوان یک منفعت بالقوه در نظر گرفته شود، نه نتیجه‌ای خودکار. کیفیت ارتباطات عمومی، دسترسی برابر و تجربه واقعی استفاده از فضا بر میزان تحقق آن اثر می‌گذارند.

### ۶. محدودیت‌ها و خطرهای طراحی چندمنظوره

رویکرد چندمنظوره، با وجود مزایای بالقوه، خطرهایی نیز دارد که در تصمیم‌گیری‌های کلان نباید نادیده گرفته شوند.

نخست، پیچیدگی عملیاتی. هرچه تعداد کارکردهای یک پروژه بیشتر باشد، هماهنگی میان نیازهای عملیاتی نیز دشوارتر می‌شود. برای مثال، مدیریت سطح آب در مخزن باید با ایمنی، کنترل سیلاب و فعالیت‌های تفریحی سازگار باشد.

دوم، تعارض میان اهداف. سطح آب مناسب برای برخی فعالیت‌های تفریحی ممکن است با نیازهای مدیریت مخزن در شرایط خاص یکسان نباشد. به همین دلیل، اهداف اصلی ایمنی و بهره‌برداری باید بر فعالیت‌های ثانویه اولویت داشته باشند.

سوم، هزینه نگهداری بلندمدت. پروژه‌ای که امکانات عمومی، فضای سبز و تجهیزات فنی بیشتری دارد، ممکن است هزینه عملیاتی و نگهداری بالاتری نیز ایجاد کند. محاسبه هزینه چرخه عمر برای جلوگیری از برآوردهای خوش‌بینانه ضروری است.

چهارم، ریسک‌های اقلیمی و عدم قطعیت . طراحی بر مبنای شرایط تاریخی ممکن است برای آینده کافی نباشد. افزایش سطح دریا، بارندگی‌های شدیدتر و تغییر الگوهای جوی می‌توانند مفروضات اولیه پروژه را تحت تأثیر قرار دهند. پنجم، آثار محیط‌زیستی . پروژه‌های بزرگ ساحلی یا احیای زمین ممکن است بر زیستگاه‌های طبیعی، کیفیت آب و حرکت رسوبات اثر بگذارند. بنابراین، ارزیابی محیط‌زیستی و مشورت با گروه‌های مرتبط باید بخشی از فرایند طراحی باشد. برنامه رسمی حفاظت ساحلی سنگاپور نیز بر بررسی شرایط محلی، مشورت با ذی‌نفعان و ارزیابی آثار محیطی تأکید می‌کند .

#### **7.1. مدیریت آب و سیلاب باید یکپارچه شود**

در شهرهایی که با کم‌آبی و سیلاب‌های مقطعی مواجه‌اند، بررسی ارتباط میان جمع‌آوری رواناب، ذخیره‌سازی، زهکشی، کیفیت آب و فضاهای عمومی می‌تواند به طراحی راهکارهای مؤثرتر کمک کند. البته هر پروژه ذخیره آب باران نیازمند ارزیابی کیفیت آب، شرایط حوضه آبریز، تبخیر، هزینه تصفیه و تناسب با نیازهای مصرف است.

#### **7.2. زیرساخت می‌تواند بخشی از بازآفرینی شهری باشد**

پروژه‌های کنترل سیلاب، کانال‌ها، مخازن و فضاهای پیرامونی آن‌ها را می‌توان در چارچوب برنامه‌ریزی شهری بررسی کرد تا در صورت امکان، علاوه بر کارکرد فنی، به مسیرهای عمومی، فضای سبز یا فضاهای آموزشی تبدیل شوند. این رویکرد زمانی مفید است که دسترسی عمومی با الزامات ایمنی و بهره‌برداری سازگار باشد.

#### **7.3. حفاظت ساحلی باید با توسعه اقتصادی هماهنگ باشد**

در مناطق ساحلی، حفاظت از شهرها، بنادر، صنایع و زیرساخت‌های حیاتی باید با برنامه‌ریزی کاربری زمین، ارزیابی محیط‌زیستی و سناریوهای اقلیمی همراه شود.

تجربه سنگاپور نشان می‌دهد که حفاظت ساحلی می‌تواند به‌صورت مرحله‌ای و متناسب با شرایط هر منطقه طراحی شود. اما راهکار مناسب برای یک بندر صنعتی الزاماً برای یک منطقه گردشگری یا زیستگاه طبیعی مناسب نیست.