به نام خدا

مدیریت شهری در زمان جنگ و اختلال زیرساخت

مولفان :

مهدی نیلگون بخت

احسان توکلی نژاد

انتشارات ارسطو

(سازمان چاپ و نشر ایران – ۱۴۰۵)

نسخه الکترونیکی این اثر در سایت سازمان چاپ و نشر ایران و اپلیکیشن کتاب رسان موجود می باشد

Chaponashr.ir

سرشناسه : نیلگون بخت، مهدی ، ۱۳۷۶
عنوان و نام پدیدآورندگان: مدیریت شهری در زمان جنگ و اختلال زیرساخت/ مولفان: مهدی نیلگون بخت ،احسان توکلی نژاد
مشخصات نشر : انتشارات ارسطو (سازمان چاپ و نشر ایران)، ۱۴۰۵.
مشخصات ظاهری : ۷۲ ص.
شابک : ۸-۹۵۰-۱۲۹-۶۲۲-۹۷۸
شناسه افزوده: توکلی نژاد ، احسان،۱۳۷۵
وضعیت فهرست نویسی : فیپا
یادداشت : کتابنامه.
موضوع : مدیریت شهری
رده بندی کنگره : TP ۹۸۳
رده بندی دیویی : ۶۶۸/۵۵
شماره کتابشناسی ملی : ۸۵۱۲۳۶
اطلاعات رکورد کتابشناسی : فیپا

نام کتاب : مدیریت شهری در زمان جنگ و اختلال زیرساخت
مولفان: : مهدی نیلگون بخت- احسان توکلی نژاد
ناشر : انتشارات ارسطو (سازمان چاپ و نشر ایران)
صفحه آرایی، تنظیم و طرح جلد: الهام غفاری
تیراژ : ۱۰۰۰ جلد
نوبت چاپ : اول ــ ۱۴۰۵
چاپ : زبرجد
قیمت :۱۶۰۰۰۰ تومان
فروش نسخه الکترونیکی - کتاب رسان :
https//:chaponashr.ir/ketabresan
شابک : ۸-۹۵۰-۱۲۹-۶۲۲-۹۷۸
تلفن مرکز پخش : ۰۹۱۲۰۲۳۹۲۵۵
www.chaponashr.ir

فهرست

فصل اول 5
مبانی نظری، ماهیت تهدیدات جنگی و آسیب‌پذیری زیرساخت‌های حیاتی 5
مفاهیم پایه و اصول پدافند غیرعامل در شهرسازی: 5
از تاب‌آوری سنتی تا تاب‌آوری زمان مخاصمات مسلحانه 9
سناریوهای تهاجم و الگوی تخریب: 11
بمباران و موشک‌باران، تهدیدات پهپادی و حملات هم‌زمان سایبری-فیزیکی 13
اثر دومینووار و وابستگی متقابل شبکه‌ها 15
تأثیر قطعی برق بر شبکه آب، سیستم‌های درمانی و مدیریت پسماند 17
رویکردهای مکانی و آمایش شهری مقاوم 19
فصل دوم 23
فرماندهی عملیات و حفظ تداوم خدمات اضطراری شهری 23
ساختار فرماندهی حادثه (ICSشهری) در وضعیت جنگی 23
تمرکززدایی از تصمیم‌گیری به سطح نواحی و محلات 26
فصل سوم 31
مدیریت اجتماعی، ارتباطات ریسک، اسکان موقت و پناهگاه‌ها 31
شبکه پناهگاه‌ها و فضاهای امن چندمنظوره 31
دسته‌بندی و سطوح حفاظتی پناهگاه‌ها 31
مکان‌یابی و تحلیل دسترسی در شبکه شهری 32
الزامات تحلیل دسترسی و توزیع مکانی: 33
سامانه‌های پشتیبان زیستی در فضاهای زیرسطحی 33
پروتکل‌های عملیاتی تغییر کاربری ضربتی فضاهای چندمنظوره 34
مدیریت ترافیک انسانی و پیشگیری از ازدحام مرگبار: 35
سازمان مدیریت داخلی و انضباط مدنی پناهگاه 35
پیوند با تاب‌آوری کلانشهری 36
تغییر کاربری ایستگاه‌های مترو، پارکینگ‌های طبقاتی زیرزمینی و تونل‌ها 37
ایستگاه‌های شبکه قطار شهری (مترو) 37

پارکینگ‌های طبقاتی زیرزمینی 38
تونل‌های زیرزمینی شهری و ترانزیت 40
ماتریس مقایسه‌ای الزامات سازه‌ای، ایمنی و خدماتی 42
پروتکل فرماندهی و مراحل عملیاتی انتقال کاربری 42
هماهنگی فرابخشی و چارچوب حقوقی 43
استانداردهای تهویه، آب، ایمنی و بهداشت در پناهگاه‌ها 43
استانداردهای تهویه و کنترل کیفیت هوا 44
استانداردهای آبرسانی، بهداشت آب و ذخیره‌سازی 46
مدیریت پساب، پسماند و مهار طغیان‌های عفونی 47
ایمنی حریق، روشنایی اضطراری و کنترل مخاطرات کالبدی 48
چک‌لیست پایش روزانه محیط زیستی پناهگاه 50
فصل چهارم 52
ارزیابی خسارت، بازسازی سریع و نوسازی زیرساخت‌ها در دوران گذار 53
ارزیابی سریع خسارات (RDA) با فناوری‌های نوین 53
مؤلفه‌های فنی به‌کارگیری سامانه‌های هوابرد: 54
سازوکار ثبت و کدگذاری میدانی: 56
استفاده از تصاویر ماهواره‌ای، پهپادها و سامانه‌های GIS در پایش آسیب‌ها 58
کارکردهای تخصصی سامانه‌های هوابرد بدون سرنشین: 59
ارکان و کارکردهای GIS در مدیریت فاز گذار: 60
برنامه‌های بازیابی سریع عملکردهای حیاتی (Rapid Restoration of Critical Functions) 62

فصل اول

مبانی نظری، ماهیت تهدیدات جنگی و آسیب‌پذیری زیرساخت‌های حیاتی

مفاهیم پایه و اصول پدافند غیرعامل در شهرسازی:

توسعه شتابان شهرنشینی، افزایش چشمگیر تراکم کالبدی و وابستگی تمام‌عیار سکونتگاه‌های انسانی به شریان‌های فناورانه و شبکه‌ای، شهرهای قرن حاضر را به سیستم‌های به غایت آسیب‌پذیر در برابر منازعات نظامی مدرن تبدیل کرده است. در سده‌های گذشته، مواجهه با تهدیدات جنگی عمدتاً در ایجاد باروها، خندق‌ها و مرزهای فیزیکی پیرامون شهر خلاصه می‌شد؛ اما با دگرگونی ماهیت جنگ‌ها و ابداع تسلیحات دوربرد، نقطه‌زن و پرتابه‌های هدایت‌شونده، کل فضای جغرافیایی و زیست‌بوم شهر به میدان نبرد بالقوه بدل شده است. در پارادایم کلاسیک برنامه‌ریزی شهری، متغیرهایی چون توجیه اقتصادی، سودآوری بازار زمین، کارایی ترافیکی و زیبایی‌شناسی بصری ارکان اصلی تصمیم‌گیری بودند، اما در دوران پرآشوب معاصر، مقوله «امنیت ساختاری» و «بقا» به پیش‌شرط ناگزیر هرگونه زیست پایدار ارتقا یافته است. نقطه تلاقی این دو حوزه، مفهومی بنیادین تحت عنوان پدافند غیرعامل در شهرسازی است؛ دانشی میان‌رشته‌ای که به دنبال بازآرایی و سازماندهی کالبدی، فضایی و عملکردی شهر به منظور به حداقل رساندن آسیب‌پذیری و تضمین تداوم حیات در سخت‌ترین شرایط ژئوپلیتیکی است(وندا, 2012).

پدافند غیرعامل در مقیاس شهری فراتر از سلسله‌ای از تمهیدات مهندسی منفرد یا احداث چند سازه مستحکم بتنی تعریف می‌شود؛ این مفهوم دربرگیرنده تفکری سیستمی و جامع‌نگر است که از مقیاس کلان آمایش سرزمین و طرح‌های جامع شهری آغاز شده، در طرح‌های تفصیلی و پهنه‌بندی کاربری‌ها جاری می‌گردد و در نهایت در جزئیات طراحی شهری و مصالح ساختمانی تجلی می‌یابد. هدف غایی این رویکرد، سلب انگیزه از مهاجم از طریق کاهش کارآمدی تهاجم، کاهش تلفات انسانی، به حداقل رساندن خسارات وارده به تأسیسات حیاتی و شریان‌های حیاتی، استمرار بی‌وقفه خدمات‌رسانی در شرایط اضطرار و در نهایت تسهیل فرایندهای بازسازی و احیای شهر پس از بحران است.



شکل 1-1-اصول و راهبردهای کلیدی پدافند غیرعامل در ساختار کالبدی شهر ایمن و تاب‌آور

برای درک عمیق این حوزه، تفکیک ماهوی میان «تاب‌آوری در برابر بلایای طبیعی» و «تاب‌آوری دفاعی در زمان جنگ» ضرورتی اجتناب‌ناپذیر است. در بلایای طبیعی مانند زمین‌لرزه یا سیلاب، عامل بحران پدیده‌ای تصادفی، فاقد نیت قبلی و کور است که انرژی خود را بدون تحلیل استراتژیک در محیط آزاد می‌کند؛ این پدیده‌ها معمولاً ضربه‌ای کوتاه‌مدت وارد ساخته و سپس فروکش می‌کنند و الگوهای ارزیابی خطر آن‌ها بر پایه احتمالات آماری و سوابق تاریخی استوار است. در نقطه مقابل، تهدیدات جنگی توسط عاملی کاملاً هوشمند، هدفمند، تطبیق‌پذیر و مجهز به داده‌های دقیق اطلاعاتی طراحی و هدایت می‌شوند. متخاصم با بررسی ساختار کالبدی و جریان داده‌ها در شهر، عمداً نقاط تکینگی، گلوگاه‌های حیاتی و آسیب‌پذیرترین اتصالات شبکه را برای ضربه زدن برمی‌گزیند تا با کمترین هزینه، بیشترین میزان فلج‌شدگی عملکردی و فروپاشی روانی را به جامعه شهری تحمیل کند. علاوه بر این، تهاجم نظامی می‌تواند روزها، ماه‌ها یا سال‌ها به‌صورت مستمر، چندمرحله‌ای و پیش‌بینی‌ناپذیر ادامه یابد. از این رو، تاب‌آوری دفاعی نمی‌تواند صرفاً بر بازیابی وضعیت موجود یا بازگشت به تعادل پیشین تکیه کند؛ بلکه باید بر پایه «تاب‌آوری بقا» استوار باشد؛ ساختاری که ظرفیت مقاومت حداکثری، پذیرش تخریب‌های موضعی بدون از پا افتادن کل پیکره شهر، و عملکرد به شیوه مجمع‌الجزایری را در شرایط قطع ارتباط با جهان خارج داراست(وندا, 2012).

تحقق چنین تاب‌آوری ساختاری مستلزم طبقه‌بندی و اولویت‌بندی دقیق سرمایه‌ها و زیرساخت‌های شهری بر مبنای حساسیت زیستی و نظامی است. همه اجزای شهر دارای وزن دفاعی یکسانی نیستند و امکان ایمن‌سازی مطلق کلیه بافت‌ها نیز وجود ندارد. زیرساخت‌ها در این چارچوب به مراکزی تقسیم می‌شوند که تخریب آن‌ها امنیت و انسجام کلان شهر یا کشور را به قهقرا می‌برد—مانند سدهای مادر، نیروگاه‌های اصلی، اتاق‌های فرماندهی و مدیریت بحران و مراکز استراتژیک پالایشی و سوخت‌رسانی—

و مراکزی که انهدامشان با ایجاد شوک شدید، امدادرسانی و زیست روزمره شهروندان را مختل می‌کند—همچون تصفیه‌خانه‌های آب، ایستگاه‌های تقلیل فشار گاز، بیمارستان‌های تخصصی، گره‌های اصلی مخابراتی و پل‌های راهبردی ترانزیتی. لایه‌های بعدی شامل شریان‌های پشتیبان و نهایتاً پهنه‌های مسکونی و تجاری عادی هستند. این سطح‌بندی، نقشه راه اصلی مدیران و طراحان شهری را برای تصمیم‌گیری در خصوص نحوه استقرار، فاصله‌گذاری و درجه حفاظت کالبدی تعیین می‌کند.

بر این اساس، مجموعه‌ای از اصول و استراتژی‌های فضایی باید در ساختار کالبدی شهر نهادینه شوند. اصل نخست، مکان‌یابی علمی و انضباط کاربری اراضی است. شهرسازی ایمن به شدت از همجواری نامتجانس کاربری‌های پرخطر با کاربری‌های عمومی اجتناب می‌ورزد. قرارگیری تأسیسات شیمیایی، پایگاه‌های نظامی، مخازن سوخت یا زاغه‌های لجستیکی در مجاورت بافت‌های مسکونی متراکم یا مراکز درمانی، فاجعه‌ای دوچندان می‌آفریند؛ چراکه در صورت هدف قرار گرفتن انبارها، اثرات ثانویه ناشی از موج انفجار، انتشار گازهای سمی و حریق‌های گسترده، مراکز درمانی و جمعیتی پیرامون را بلعیده و توان واکنش اضطراری شهر را عقیم می‌سازد. از همین رو، اعمال حریم‌های ایمنی متناسب با حداکثر بار انفجاری، استفاده از عوارض طبیعی مانند تپه‌ها برای حائل‌سازی و فاصله‌گذاری فیزیکی در مکان‌یابی این‌گونه تأسیسات، از پایه‌ای‌ترین الزامات کالبدی به شمار می‌روند(هاشمی et al., 2017).

اصل محوری دیگر، تفرق، پراکندگی و نفی تمرکزگرایی در بافت شهری است. تجمیع خدمات در قالب مگاپروژه‌های عظیم—مانند احداث بیمارستان‌های فوق‌تخصصی چند هزارتخته مرکزی یا مجتمع‌های مخابراتی واحد—شاید از منظر اقتصاد مقیاس و سودآوری شرکتی توجیه‌پذیر به نظر برسد، اما از دیدگاه پدافند غیرعامل، ایجاد یک «نقطه تکینگی بحران‌زا» است که مهاجم می‌تواند با نابودی آن، زنجیره درمان یا ارتباطات کل منطقه را نابود سازد. رویکرد صحیح، توزیع متوازن و پراکنده خدمات اساسی در قالب مراکز کوچک‌تر، چندگانه و متکثر در پهنه‌های مختلف شهری است تا آسیب به یک نقطه، سایر بخش‌ها را از حیز انتفاع ساقط نکند. این اصل مستقیماً با افزونگی و شبکه‌بندی هم‌پوشان گره خورده است؛ به این معنا که شبکه‌های حیاتی آب، فاضلاب، انرژی و معابر ترابری هرگز نباید خطی، تک‌مسیره یا درختی باشند، بلکه باید با فرم‌های حلقوی و مشبک طراحی شوند تا در صورت انهدام یک خط لوله اصلی، ترانسفورماتور یا یک پل ارتباطی، جریان سیال یا تردد با تغییر مسیرهای خودکار و بهره‌گیری از خطوط پشتیبان ادامه یابد(نادری et al., 2024).

در پیوند با این استراتژی‌ها، نظریه مدولارسازی و خودمختاری سلولی محلات شهری نقشی بی‌بدیل ایفا می‌کند. یک کلان‌شهر تاب‌آور در دوران مخاصمه باید بتواند در صورت گسست شریان‌ها به مجموعه‌ای از زیست‌بوم‌های محلی خودکفا تبدیل شود. در چنین ساختاری، هر منطقه یا ناحیه شهری به صورت

مجزا دارای مخازن ذخیره آب اضطراری، سامانه‌های تولید برق مستقل نظیر سیستم‌های فتوولتائیک یا مولدهای دیزلی محلی، درمانگاه‌های مجهز و مراکز توزیع ارزاق پایه است؛ ساختاری سلولی که امکان بقا و مدیریت محلی را دست‌کم برای چند روز اول بحران، حتی در شرایط قطع کامل ارتباط با هسته مرکزی شهر، فراهم می‌آورد.

علاوه بر این، کارایی پدافند غیرعامل در گرو تحقق «چندمنظورگی فضاها» است. صرف منابع مالی هنگفت برای ایجاد سازه‌های پدافندی محض که تنها برای روز مبادا ساخته شده و در شرایط عادی بدون استفاده رها شوند، از منظر اقتصادی و اجتماعی غیرمنطقی است. بر همین اساس، برنامه‌ریزی شهری نوین بر فضاهای زیرزمینی و عمومی با کارکرد دوگانه تأکید دارد؛ فضاهایی نظیر ایستگاه‌ها و تونل‌های مترو، پارکینگ‌های طبقاتی زیرزمینی و گودال‌باغچه‌ها و میادین فرورفته که در شرایط صلح بار ترافیکی و تفریحی شهر را به دوش می‌کشند، اما در هندسه، تأسیسات هواسازی، سامانه‌های فیلتراسیون و استحکام جداره‌ها به گونه‌ای ساخته می‌شوند که با اعلام وضعیت خطر، ظرف چند ساعت به پناهگاه‌های ضدبمب، بیمارستان‌های ترومای صحرایی، یا قرارگاه‌های مدیریت بحران تغییر وضعیت دهند. در لایه نهایی نیز اصولی همچون بهره‌گیری از عوارض طبیعی، آرایش خط آسمان و پوشش‌های گیاهی مناسب برای کاهش بازتاب‌های بصری و راداری، ساختار کالبدی شهر را از سیبل آشکار بودن برای تسلیحات هدایت‌شونده دور می‌سازد.

با وجود شفافیت نظری این اصول، پیاده‌سازی پدافند غیرعامل در جریان توسعه شهری با چالش‌های ساختاری عمیقی دست به گریبان است. بارزترین چالش، تعارض بنیادین این اصول با منطق انباشت سرمایه و اقتصاد بازارمحور شهری است؛ چراکه اعمال تفرق، فاصله‌گذاری و حفظ حریم‌های باز، مانع از تراکم‌فروشی حداکثری و اشغال فشرده زمین می‌شود و توجیه مالی پروژه‌ها را در کوتاه‌مدت کاهش می‌دهد. از سوی دیگر، در حالی که اعمال این استانداردها در شهرهای جدید یا فازهای توسعه پیرامونی با سهولت نسبی میسر است، دخالت در بافت‌های تاریخی، فرسوده و ساخته‌شده کنونی که با معابر تنگ، تراکم جمعیتی سرسام‌آور و شریان‌های فرسوده مشخص می‌شوند، پروژه‌ای فوق‌العاده پرهزینه، زمان‌بر و پیچیده به شمار می‌رود. افزون بر این، چندپارگی نهادی، تداخل وظایف میان شهرداری‌ها، وزارتخانه‌های متولی انرژی و ارتباطات و نهادهای دفاعی، و در نهایت نبود یک نظام پایش و ضابطه‌گذاری حقوقی الزام‌آور، غالباً این اصول حیاتی را در حد توصیه‌هایی نظری در اسناد فرادست باقی می‌گذارد؛ امری که بازنگری در ساختار حکمروایی شهری و تقدم بخشیدن به پارادایم پدافند غیرعامل را به عنوان یک ضرورت حیاتی برای تضمین بقای سکونتگاه‌های انسانی گوشزد می‌کند(زاده et al., 2025).

از تاب‌آوری سنتی تا تاب‌آوری زمان مخاصمات مسلحانه

مفهوم تاب‌آوری در دهه‌های اخیر دگرگونی عمیقی را تجربه کرده و از حوزه‌های بوم‌شناسی و مدیریت سوانح طبیعی به قلب مباحث امنیت شهری و دفاع غیرعامل راه یافته است. در رویکردهای کلاسیک و سنتی، تاب‌آوری شهری عمدتاً بر توانایی یک سامانه برای جذب شوک‌های ناشی از پدیده‌های طبیعی مانند زلزله، سیلاب، طوفان یا خشکسالی و بازگشت سریع به نقطه تعادل پیشین متمرکز بود. در این پارادایم که ریشه در مهندسی سازه و اکولوژی تعادلی دارد، فرض بر این است که تهدید ماهیتی تصادفی، فاقد شعور راهبردی و کور دارد که بر اساس چرخه‌های اقلیمی یا گسل‌های زمین‌شناختی و در قالب منحنی‌های توزیع احتمالاتی عمل می‌کند؛ بنابراین پس از تخلیه ناگهانی انرژی بحران، سامانه‌های شهری با تکیه بر ذخایر تاب‌آوری کالبدی و اجتماعی، روند بازسازی و احیای کارکردها را آغاز می‌کنند و به اصطلاح به وضعیت تعادل اولیه بازمی‌گردند(زاده et al., 2026).



شکل 1-2-تحول از مدیریت بحران واکنشی به تاب‌آوری دفاعی و هوشمند در شهرسازی نوین

اما با ورود به دوران منازعات مسلحانه مدرن، این درک کلاسیک از تاب‌آوری دیگر کارآمد نیست و چه بسا به خطاهای محاسباتی مهلک در مدیریت شهری منجر شود. در شرایط جنگ، ماهیت تهدید به کلی دگرگون می‌شود؛ عامل برهم‌زننده تعادل نه یک رخداد آماری و طبیعی، بلکه عاملی انسانی، هوشمند، هدفمند، تطبیق‌پذیر و مجهز به داده‌های مکانی و اطلاعاتی دقیق است که راهبرد تخریب خود را بر پایه شناخت گلوگاه‌ها، آسیب‌پذیری‌های نهادی و فلج‌سازی آگاهانه جریان‌های زیستی شهر استوار می‌سازد. در این نوع رویارویی، حملات معمولاً تک‌مرحله‌ای نیستند، بلکه زنجیره‌ای، مکرر، تطبیق‌یابنده با واکنش‌های مدافعان و همراه با ایجاد شوک‌های ترکیبی کالبدی، سایبری و روانی طراحی می‌شوند تا

جامعه شهری فرصت تنفس و بازیابی ساختاری را نیابد. در چنین وضعیتی، هدف مهاجم صرفاً تخریب ابنیه نیست، بلکه فرسایش اراده اجتماعی، قطع زنجیره‌های بقا و فروپاشی نظام حکمرانی محلی است.

از این رو، نظریه تاب‌آوری در زمان مخاصمات مسلحانه از بازگشت ساده به گذشته فاصله می‌گیرد و بر مفهوم «تاب‌آوری دگرگون‌شونده و بقامحور» تکیه می‌زند. در این رویکرد، شهر به عنوان یک سیستم پیچیده انطباق‌پذیر پذیرفته می‌شود که ممکن است هرگز به نقطه تعادل پیش از جنگ بازنگردد، بلکه باید قادر باشد شوک‌های متوالی و هدفمند را مهار کرده، بخش‌های آسیب‌دیده را از مدار اصلی تفکیک کند و در سطحی بازآرایی‌شده و منعطف به کارکرد خود ادامه دهد. این تاب‌آوری جنگی بر سه ستون اصلی استوار است: ظرفیت جذب که توانایی کالبد و ساختار شهر در دفع ضربه اولیه بدون فروپاشی سیستماتیک را نشان می‌دهد؛ ظرفیت انطباق که به معنای بازپیکربندی سریع فرایندها، تغییر روش‌های توزیع خدمات از الگوهای متمرکز به شبکه‌های سلولی و انطباق جامعه با الگوهای جیره‌بندی و سازگاری اضطراری است؛ و در نهایت ظرفیت تحول که به ساماندهی مجدد ساختار مدیریتی، حقوقی و فنی شهر برای ادامه بقا در شرایط جنگ فرسایشی و طولانی‌مدت اشاره دارد. این گذار پارادایمی، مدیریت شهری را وادار می‌سازد تا از خوش‌بینی‌های مهندسی سنتی عبور کرده و شهر را برای بدترین سناریوهای ناشی از بدخواهی عامدانه و برنامه‌ریزی‌شده آماده سازد(حسینی et al., 2020).

عملیاتی‌سازی این تاب‌آوری دفاعی، بدون سنجش نظام‌مند نقاط ضعف و ارزیابی موشکافانه آسیب‌پذیری دارایی‌های حیاتی شهری ناممکن است. دارایی‌های حیاتی شامل آن دسته از سامانه‌ها، تأسیسات فیزیکی، زنجیره‌های تأمین و جریان‌های داده‌ای هستند که هرگونه توقف یا تخریب آن‌ها پیامدهایی ویرانگر بر امنیت، سلامت عمومی، نظم اجتماعی و اقتصاد شهر برجای می‌گذارد؛ این دارایی‌ها از نیروگاه‌ها و سدها گرفته تا تصفیه‌خانه‌های آب، خطوط انتقال سوخت، گره‌های فیبر نوری، پایگاه‌های ترابری، بیمارستان‌های تروما و مراکز داده‌های اداری و مالی را در بر می‌گیرند. ارزیابی آسیب‌پذیری در این ساحت، فراتر از سنجش مقاومت مصالح ساختمانی در برابر امواج انفجاری بوده و نیازمند یک رویکرد ماتریسی و چندلایه است که بر پیوند میان «تهدیدشناسی»، «حساسیت دارایی» و «وابستگی متقابل» متمرکز باشد(Raji, 2026).

فرایند ارزیابی آسیب‌پذیری با شناسایی، ثبت دقیق مکانی و اولویت‌بندی دارایی‌ها بر مبنای نقش کارکردی آن‌ها در زمان اضطرار آغاز می‌شود. در این گام، تأسیسات شهری بر اساس شدت پیامد انهدام—شامل تلفات جانی مستقیم، فلج شدن زیرساخت‌های هم‌پیوند، گستره جغرافیایی اختلال و زمان مورد نیاز برای احیا—به سطوح حیاتی، حساس و مهم رتبه‌بندی می‌شوند. در گام بعد، آسیب‌پذیری ذاتی هر دارایی در برابر انواع سناریوهای تهاجم مورد سنجش قرار می‌گیرد؛ یعنی ارزیابی می‌شود که یک تأسیسات

خاص در برابر حملات موشکی نقطه‌زن، نفوذ ریزپرنده‌ها، ترکش‌ها، موج شوک انفجار سطحی، نفوذ سایبری به سامانه‌های کنترل صنعتی مانند اسکادا و حتی خرابکاری فیزیکی از درون چه میزان شکنندگی دارد.

اما پیچیده‌ترین و کلیدی‌ترین لایه در این ارزیابی، تحلیل «آسیب‌پذیری شبکه‌ای و اثرات دومینووار» است. در شهرهای مدرن، زیرساخت‌ها در انزوا عمل نمی‌کنند؛ یک دارایی حیاتی مانند تصفیه‌خانه آب ممکن است از نظر سازه‌ای کاملاً مستحکم باشد، اما آسیب‌پذیری آن از طریق وابستگی تام به شبکه انتقال برق خارجی یا پمپ‌های تغذیه‌شونده با گاز رقم بخورد؛ اختلال در شبکه مخابرات، سامانه توزیع سوخت آمبولانس‌ها و ماشین‌آلات آواربرداری را زمین‌گیر می‌کند و قطع برق، کنترل ترافیک و پمپاژ آب به سامانه‌های اطفا حریق را فلج می‌سازد. از این رو، ارزیابی آسیب‌پذیری شهری با بهره‌گیری از مدل‌سازی‌های گراف، سامانه‌های اطلاعات مکانی و شبیه‌سازی ماتریس‌های وابستگی متقابل انجام می‌گیرد تا نقاط تکینگی یا گره‌هایی که حذف آن‌ها سبب آبشار خاموشی و سقوط سلسله‌مراتبی خدمات در کل شهر می‌شود، به دقت شناسایی گردند. حاصل این ارزیابی جامع، تولید نقشه‌های آسیب‌پذیری و اطلس ریسک شهری در زمان جنگ است که نه تنها نقاط ضعف کالبدی و فنی را برای مداخله مهندسی و پدافندی آشکار می‌کند، بلکه اولویت‌های تخصیص منابع، ایجاد افزونگی، جداسازی مدارها و تمرکز برنامه‌های پاسخ اضطراری را به روشنی برای تصمیم‌گیران ترسیم می‌نماید(Raji, 2026).

سناریوهای تهاجم و الگوی تخریب:

دگرگونی‌های بنیادین در فناوری‌های نظامی، مفهوم و الگوهای تهاجم به شهرها را به طور ریشه‌ای متحول ساخته است. در نبردهای سنتی، تخریب زیرساخت‌ها عمدتاً پیامدی ناگزیر از آتش‌باری‌های کور توپخانه‌ای یا بمباران‌های فرشی و گسترده هوایی بر سر کل مساحت شهر بود؛ اما در مخاصمات معاصر، الگوهای تهاجم بر دکترین «جنگ‌های مبتنی بر اثر (Effects-Based Operations)» و اصابت دقیق به گلوگاه‌های حیاتی تکیه دارند. در این الگو، مهاجم در پی تسطیح کالبدی کل شهر یا صرفاً اشغال زمین نیست، بلکه با هدف‌گیری نقاط حساس، به دنبال سلب قابلیت اداره شهر، ایجاد گسست در زنجیره‌های خدمات‌رسانی، شکستن اراده مدنی و تحمیل هزینه‌های بازسازی سنگین به حاکمیت شهری است. در نتیجه این رویکرد، سناریوهای تهاجم امروزی در سه الگوی محوری فیزیکی-نقطه‌زن، ریزپرنده‌ها و نبردهای تلفیقی سایبری-فیزیکی تبلور یافته‌اند.

نخستین و مخرب‌ترین سناریو، حملات موشکی هدایت‌شونده و نقطه‌زن است. سامانه‌های مدرن موشکی با بهره‌گیری از ناوبری ماهواره‌ای، هدایت اپتیکی و حسگرهای تطبیق عوارض زمینی، خطای اصابت را به چند متر کاهش داده‌اند. الگوی تخریب این تسلیحات از یک سو متأثر از موج شوک مافوق‌صوت (Blast

Wave) و از سوی دیگر اثرات ناشی از ترکش‌ها و حرارت اولیه شدید است. موج انفجار مثبت با فشاری ناگهانی دیوارهای پیرامونی، سقف‌ها و عناصر غیرسازه‌ای را در هم می‌شکند و بلافاصله فاز مکش منفی ایجاد می‌کند که منجر به فروریزش پیش‌رونده در ساختمان‌های مجاور می‌شود. ترکش‌های فلزی با سرعت بالا، تأسیسات حیاتی روباز نظیر ترانسفورماتورهای فشار قوی، لوله‌های هیدرولیکی، کابل‌های فیبر نوری هوایی و مخازن تحت فشار را سوراخ کرده و از کار می‌اندازند. علاوه بر این، در سناریوی استفاده از موشک‌های نفوذگر بتن‌شکن، الگوی تخریب به عمق خاک یا پناهگاه‌های زیرزمینی کشانده می‌شود؛ جایی که موج ارتعاشی ناشی از انفجار درون‌زمینی مانند یک زلزله با بسامد بالا عمل کرده و اتصالات لوله‌های مدفون آب، فاضلاب و شریان‌های زیرسطحی را حتی در فواصلی دورتر از نقطه برخورد متلاشی می‌کند(Elham, 2026).

سناریوی دوم که به مشخصه نبردهای سده کنونی بدل شده، بهره‌گیری از ریزپرنده‌ها، پهپادهای انتحاری پرسه زن (Loitering Munitions) و حملات فوجی (Swarm Attacks) است. این تجهیزات برخلاف موشک‌های بالستیک، دارای سر جنگی کوچک‌تر اما دقت عملکردی فوق‌العاده بالا هستند و معمولاً با پرواز در ارتفاع پست، از دید رادارهای پدافندی دور می‌مانند. الگوی تخریب پهپادها عمدتاً «هدف‌گیری اجزای غیرقابل جایگزینِ یک سامانه حیاتی» است؛ برای نمونه، پهپاد نه کل بدنه یک نیروگاه، بلکه سالن توربین، سیستم خنک‌کننده اضطراری یا تجهیزات سوئیچ‌برد اصلی را هدف قرار می‌دهد که تهیه مجدد آن‌ها مستلزم ماه‌ها زمان و فرایندهای پیچیده مهندسی است. در حملات فوجی، ده‌ها ریزپرنده به صورت هم‌زمان به شبکه توزیع سوخت، ایستگاه‌های مخابراتی یا کاروان‌های لجستیکی شهری هجوم می‌آورند که چنین هجومی علاوه بر اثرات تخریب متمرکز، سامانه‌های دفاع هوایی و تیم‌های واکنش اضطراری شهر را اشباع و ناتوان می‌سازد.

پیچیده‌ترین و فراگیرترین سناریو در الگوی نبردهای امروزی، حملات هم‌زمان سایبری-فیزیکی (Cyber-Physical Attacks) است که به معنای واقعی کلمه تهاجم هیبریدی را شکل می‌دهد. در این سناریو، حملات سایبری نه تنها برای سرقت اطلاعات یا انتشار پروپاگاندا، بلکه به عنوان پیش‌درآمد یا کاتالیزور حملات فیزیکی به کار گرفته می‌شوند. مهاجم با نفوذ به سامانه‌های پایش، کنترل و جمع‌آوری داده‌ها (SCADA) و کنترل‌کننده‌های منطقی برنامه‌پذیر (PLC) در شریان‌های شهری نفوذ می‌کند. تخریب در این لایه می‌تواند از طریق ارسال فرمان‌های مخرب صورت گیرد؛ برای مثال، مسدود ساختن ناگهانی شیرهای فشارشکن شبکه انتقال آب که پدیده «ضربه قوچ» را ایجاد کرده و خطوط لوله شهری را می‌ترکاند، دستکاری دورسنج‌های شبکه گاز و ایجاد انفجار خودکار در ایستگاه‌های تقلیل فشار، یا از کار انداختن رله‌های حفاظتی خطوط انتقال برق که سبب انفجار ترانس‌ها و ورود ژنراتورها به شرایط فوق‌بحرانی می‌شود. هنگامی که این حملات دیجیتال هم‌زمان با یک حمله فیزیکی موشکی یا پهپادی

اجرا شوند، اختلال در تابلوهای فرمان ترافیک شهری، قطع ارتباطات مراکز دیسپاچینگ، و قفل شدن دسترسی به اطلاعات مانع از ورود تیم‌های امدادی به محل حادثه شده و پاسخگویی به بحران را از درون فلج می‌کند.

پیامد تمام این سناریوها، شکل‌گیری «تخریب ثانویه و گسترش شعاع حادثه» است که الگوی تخریب مستقیم را چند برابر می‌کند. انهدام فیزیکی یک ترانسفورماتور روغنی در یک پست توزیع برق، فوراً آتش‌سوزی مهیبی به راه می‌اندازد که به دلیل نبود آب کافی—ناشی از قطعی برق پمپ‌ها—مهار آن ناممکن می‌شود؛ برخورد یک راکت با خیابان اصلی نه تنها مسیر را مسدود می‌کند، بلکه خطوط گاز زیرزمینی را قطع کرده و خطر نشت گاز و حریق گسترده را برای کل بلوک شهری ایجاد می‌کند. همچنین آواربرداری سنگین ناشی از فروریزش سازه‌های بلندمرتبه، شریان‌های مجاور را مسدود کرده و دسترسی به مجروحان را قطع می‌سازد. درک این سناریوها و ماتریس اثرات تخریبی آن‌ها، نقطه آغازین هرگونه برنامه‌ریزی شهری پدافندی است؛ چرا که نشان می‌دهد مدیریت بحران جنگ با تهدیداتی متکثر، متقاطع و شبکه‌ای روبه‌رو است که تفکیک سازه از شریان، و فضا از داده را غیرممکن ساخته است(Elham, 2026).

بمباران و موشک‌باران، تهدیدات پهپادی و حملات هم‌زمان سایبری-فیزیکی

در چارچوب منازعات مدرن، تهاجم به قلمروهای زیستی و کالبدی شهر دیگر در قالب اقدامات منفک و پراکنده نظامی تعریف نمی‌شود، بلکه منظومه‌ای از راهبردهای هم‌پوشان است که با ترکیب تخریب جنبشی، نبردهای بدون سرنشین و خرابکاری‌های شبکه‌ای، ساختار تاب‌آوری شهر را از پای درمی‌آورند. این سه‌گانه تهاجمی شامل بمباران و موشک‌باران‌های دقیق، تهدیدات پهپادی در لایه‌های کم‌ارتفاع و عملیات هماهنگ سایبری-فیزیکی، چرخه‌ای از تخریب مرحله‌به‌مرحله را شکل می‌دهند که زیرساخت‌ها، شریان‌های ارتباطی و زنجیره تصمیم‌گیری شهری را هدف می‌گیرد.

بمباران و موشک‌باران به‌عنوان سنگین‌ترین شکل تخریب فیزیکی، بر مبنای تحمیل انرژی جنبشی و حرارتی فوق‌العاده در مقیاس‌های متمرکز عمل می‌کند. موشک‌های بالستیک، کروز و پرتابه‌های سنگین هدایت‌شونده، با حمل سرجنگی‌های چندهزار پوندی، رفتاری فراتر از تخریب نقطه‌ای از خود نشان می‌دهند؛ برخورد چنین پرتابه‌هایی لایه‌های ضخیم ژئوتکنیکی و سازه‌ای را شکافته و پدیده‌ای موسوم به «لرزه انفجاری» در لایه‌های خاک پیرامونی برمی‌انگیزد. این شوک زیرسطحی در کنار موج فشار شدید مثبت و منفی جوی، اتصالات صلب سازه‌ای را از هم گسسته، فونداسیون‌های مجاور را دچار نشست‌های نامتقارن کرده و شریان‌های مدفون مانند خطوط تحت‌فشار گاز، شاه‌لوله‌های توزیع آب شرب و شبکه‌های دفع فاضلاب شهری را درهم می‌شکند. در موشک‌باران‌های پیوسته، چالش اصلی شهر صرفاً آواربرداری

سطحی نیست، بلکه انسداد کامل شریان‌های ترابری در اثر پدیده «دره‌زایی آوار» است؛ پدیده‌ای که در آن ریزش آوار ساختمان‌های پیرامونی به بستر معابر، شاهراه‌های امدادرسانی را مسدود کرده و خودروهای سنگین آتش‌نشانی و تانکرهای آب‌رسان را در گلوگاه‌ها زمین‌گیر می‌سازد. از سوی دیگر، حرارت اولیه حاصل از انفجار مواد پرانرژی و ترکش‌های متخلخل ناشی از بدنه موشک، ترانسفورماتورها و تأسیسات روباز را در کسری از ثانیه منهدم نموده و بسترساز آتش‌سوزی‌های مهارناپذیر شهری می‌شود(نسب et al., 2024).

در لایه‌ای مکمل و بسیار موذیانه‌تر، تهدیدات پهپادی تعریف می‌شوند که پدافندهای سنتی شهر را به چالش کشیده‌اند. پرنده‌های بدون سرنشین هدایت‌پذیر و مهمات پرسه زن با حرکت در ارتفاع پست، پروفایل راداری ناچیز و امکان مانور در دره‌های شهری، موانع کالبدی را دور زده و به حریم‌هایی نفوذ می‌کنند که سامانه‌های دفاع هوایی سنگین توان درگیری مؤثر با آن‌ها را ندارند. الگوی تخریب پهپادها «هدف‌گیری میکروسکوپی اما اثرگذار کلان» است. یک پهپاد انتحاری نیازی به حمل سرجنگی چندتنی ندارد؛ همین که بتواند حسگرهای پایش فشار، شیرهای قطع اضطراری، خطوط ورودی سوخت ژنراتورها، آنتن‌های دکل‌های مخابراتی یا پست‌های سوئیچینگ برق را سوراخ کند، کل یک سامانه صدها مگاواتی یا یک بیمارستان تخصصی را از کارکرد خارج می‌سازد. در سناریوی پروازهای دسته‌جمعی یا هجوم فوجی، پهپادها ظرفیت تفکیک و پاسخ‌دهی را از سامانه‌های واکنش اضطراری می‌گیرند؛ به این معنا که ارسال ده‌ها ریزپرنده ارزان‌قیمت به‌طور هم‌زمان، نیروهای امدادی، آتشنشانی و منابع پدافندی شهر را در نقاط متعدد متفرق و فرسوده می‌کند و شرایط را برای اصابت هدفمند پرتابه‌های اصلی به نقاط بی‌دفاع فراهم می‌آورد.

با این حال، پیچیده‌ترین و بحران‌زاترین شکل تهدید، هنگامی رخ می‌دهد که این ضربات جنبشی با حملات هم‌زمان سایبری-فیزیکی گره بخورند. سامانه‌های شهری نوین متکی بر لایه‌های هوشمند، سنجنده‌ها، کنترل‌کننده‌های منطقی برنامه‌پذیر و سامانه‌های اسکادا هستند که عملکرد پمپ‌های آب، چراغ‌های راهنمایی، رله‌های شبکه برق و جریان تزریق گاز را هدایت می‌کنند. در این هجمه تلفیقی، بدافزارها و نفوذگران سایبری ابتدا دیدبانی و بینایی سامانه‌های مدیریت شهری را کور می‌کنند؛ با ارسال داده‌های جعلی به اتاق‌های فرمان، وضعیت سامانه‌ها عادی نشان داده می‌شود در حالی که رله‌ها خاموش شده‌اند، یا برعکس، آژیرهای خطر کاذب در تمام نقشه شهر به صدا درمی‌آیند تا هراس عمومی ایجاد شود. مهاجم سایبری می‌تواند پمپ‌های تخلیه فاضلاب را متوقف کند تا معابر شهری در پی بارش یا شکستگی لوله‌ها دچار آب‌گرفتگی شوند، فشار خطوط گاز را به سرحد انفجار برساند یا تابلوهای هدایت مسیر و ارتباطات بی‌سیم نیروهای واکنش سریع را از کار بیندازد(محمد, 2001).

ترکیب هم‌زمان این سه شیوه‌نامه تهاجمی—فرود موشک بر یک پست انتقال نیرو، رخنه پهپاد به مخازن سوخت پشتیبان، و قفل سایبری بر روی شیرهای اتوماتیک شبکه آب‌رسانی و سیستم‌های مخابراتی اورژانس—وضعیتی از «فلج‌شدگی کامل سامانه شهری» پدید می‌آورد. در چنین فضایی، آسیب‌های فیزیکی بلافاصله با ناتوانی اطلاعاتی ترکیب شده و یک چرخه خودتقویت‌شونده از اثرات دومینووار تولید می‌کنند؛ آتش‌سوزی‌ها به دلیل عدم جریان آب در هیدرانت‌ها گسترش می‌یابند، امدادرسانان به دلیل نبود موقعیت‌یابی و شبکه مخابراتی به مقصد نمی‌رسند و بیمارستان‌های مواجه با انبوه مجروحان، بدون دسترسی به برق و ذخایر سوختی باقی می‌مانند. تحلیل پیوسته این سه لایه تهاجم، ضرورت بنیادین دگرگونی در طراحی کالبدی شهرها، جداسازی فیزیکی شبکه‌ها، دستیابی به قابلیت‌های جزیره‌ای شدن تأسیسات و طراحی سناریوهای پدافندی چندوجهی را اثبات می‌نماید.

اثر دومینووار و وابستگی متقابل شبکه‌ها

شهرهای امروزی دیگر صرفاً مجموعه‌ای از ابنیه، خیابان‌ها و کاربری‌های مجزا نیستند، بلکه به‌عنوان یک «سامانه از سامانه‌ها» (System of Systems) عمل می‌کنند که در آن شریان‌های حیاتی در لایه‌های عمیق فنی، کالبدی، جغرافیایی و سایبری به یکدیگر گره خورده‌اند. این درهم‌تنیدگی اگرچه در شرایط عادی صلح موجب بهینه‌سازی توزیع منابع، کاهش هزینه‌های نگهداری و ارتقای کارایی اقتصادی شهر می‌شود، اما در زمان مخاصمات مسلحانه و تهاجمات نظامی به پاشنه‌آشیل اصلی مدیریت شهری بدل می‌گردد. در چنین ساختاری، اصابت یک پرتابه به یک تأسیسات خاص یا از کار افتادن یک سرور کنترلی، در مرزهای همان دارایی محدود نمی‌ماند، بلکه پدیده‌ای پیچیده موسوم به «اثر دومینووار» (Cascade Effect) و فروپاشی سلسله‌مراتبی را در سراسر پیکره شهر به راه می‌اندازد(کوهپایه et al., 2018).

برای درک سازوکار این پدیده، نخست باید گونه‌های وابستگی متقابل میان زیرساخت‌ها را بازشناخت. این پیوندها عموماً در چهار ساحت اصلی رخ می‌دهند: وابستگی کالبدی که در آن خروجی یک زیرساخت ورودی مادی زیرساخت دیگر است، مانند نیاز ژنراتورهای اضطراری به گازوئیل؛ وابستگی سایبری و اطلاعاتی که ناشی از اتکای شبکه‌های خدماتی به بستر داده، خطوط فیبر نوری و سامانه‌های اسکادا برای تبادل فرمان است؛ وابستگی جغرافیایی یا هم‌مکانی که در پی عبور هم‌زمان خطوط آب، کابل‌های برق، لوله‌های گاز و فیبر نوری از یک کانال تأسیساتی مشترک یا یک پل ارتباطی ایجاد می‌شود؛ و در نهایت وابستگی منطقی و رفتاری که به تصمیم‌گیری‌های مدیریتی، واکنش‌های انسانی، بازارهای مالی و ترتیبات حقوقی وابسته است. هنگامی که یک دارایی تخریب می‌شود، این پیوندها مانند رساناهای بحران عمل کرده و ضربه اولیه را با شدتی فزاینده به سایر لایه‌ها منتقل می‌کنند.