

## پایش زیرساخت‌های حیاتی شهری با استفاده از فناوری رادار نفوذی زمین (GPR) به منظور پیشگیری از بحران و تقویت پدافند غیرعامل

### ۱. چکیده

در سال‌های اخیر، فرسودگی و آسیب‌پذیری زیرساخت‌های حیاتی شهری نظیر شبکه‌های آب، گاز، فاضلاب، مترو و کابل‌های ارتباطی، از عوامل اصلی وقوع بحران‌های ثانویه در شرایط اضطراری بوده است. فناوری رادار نفوذی زمین (Ground Penetrating Radar) با قابلیت تصویربرداری از لایه‌های زیرسطحی بدون نیاز به حفاری، می‌تواند ابزاری کارآمد در پایش مستمر، پیش‌بینی آسیب‌ها و مدیریت ریسک زیرساختی محسوب شود. در این طرح، کاربرد GPR به‌عنوان سامانه‌ای برای پدافند غیرعامل زیرساختی و افزایش تاب‌آوری شهری بررسی و الگویی عملیاتی برای استفاده در مدیریت بحران ارائه می‌گردد.

### ۲. مقدمه و بیان مسئله

زیرساخت‌های شهری کشور در بسیاری از مناطق با مشکلاتی نظیر فرونشست زمین، نشت شبکه‌های آب و فاضلاب، فرسودگی تأسیسات زیرسطحی و نبود داده‌های مکانی دقیق مواجه‌اند. در شرایط بحرانی مانند زلزله یا حملات سایبری و فیزیکی، این ناپایداری‌ها منجر به گسترش خسارات و کاهش کارایی مدیریت بحران می‌شوند. در چارچوب پدافند غیرعامل، شناسایی آسیب‌پذیری‌های پنهان و پایش مستمر وضعیت زیرسطحی، از اولویت‌های راهبردی محسوب می‌شود. فناوری GPR با ارسال امواج الکترومغناطیسی و تحلیل بازتاب آن‌ها، امکان شناسایی لایه‌ها، حفرات، کابل‌ها، لوله‌ها و مناطق فرسوده را فراهم می‌سازد و داده‌های به‌موقع برای پیشگیری از بحران و تصمیم‌گیری مدیریتی ارائه می‌دهد.

### ۳. اهداف طرح

- توسعه‌ی یک سامانه‌ی بومی پایش زیرساخت‌های زیرسطحی با تکیه بر فناوری GPR.
- شناسایی و نقشه‌برداری از آسیب‌پذیری‌های زیرسطحی در مناطق حساس شهری.
- ایجاد پایگاه داده مکانی برای تصمیم‌سازی در حوزه‌ی پدافند غیرعامل.
- ارائه‌ی مدل پیش‌بینی فرونشست و شکست زیرساختی برای پیشگیری از بحران.
- افزایش تاب‌آوری زیرساخت‌ها از طریق پایش هوشمند و هشدار زودهنگام.

#### ۴. روش اجرا

- مرحله ۱: مطالعات کتابخانه‌ای و تطبیقی در حوزه‌ی GPR، پدافند غیرعامل و مدل‌های بین‌المللی پایش زیرساخت.
- مرحله ۲: طراحی سامانه‌ی GPR متحرک (نصب بر روی خودرو یا پهپاد زمینی) برای پایش خطوط حیاتی.
- مرحله ۳: جمع‌آوری داده‌های زیرسطحی در مناطق منتخب شهری (به‌ویژه مناطق دارای احتمال فرونشست یا تداخل شبکه‌ها).
- مرحله ۴: تحلیل داده‌ها با استفاده از الگوریتم‌های پردازش سیگنال و یادگیری ماشین جهت شناسایی ناهنجاری‌ها.
- مرحله ۵: ایجاد نقشه‌ی خطر زیرسطحی و مدل پیش‌بینی آسیب زیرساخت‌ها.
- مرحله ۶: ارائه‌ی راهکارهای مدیریتی برای پیشگیری از بحران و بهبود طراحی پدافند غیرعامل شهری.

#### ۵. نتایج مورد انتظار

- شناسایی دقیق ناپایداری‌ها و نقاط آسیب‌پذیر زیرساختی پیش از وقوع بحران.
- ارائه‌ی نقشه‌های آسیب‌پذیری زیرسطحی به سازمان‌های مدیریت بحران و شهرداری‌ها.
- بهبود تاب‌آوری زیرساخت‌های حیاتی در برابر زلزله، فرونشست و نفوذ دشمن.
- توسعه‌ی فناوری بومی GPR و الگوریتم‌های تحلیل داده متناسب با شرایط زمین‌شناسی ایران.
- کاهش هزینه‌های تعمیرات اضطراری و افزایش ایمنی عمومی.

#### ۶. کاربردها و نوآوری طرح

- کاربرد مستقیم در پدافند غیرعامل زیرساختی، مدیریت بحران شهری و برنامه‌ریزی ایمن‌سازی شبکه‌ها.
- قابلیت ادغام با سامانه‌های GIS، سنجش‌ازدور و پایگاه‌های داده مدیریت شهری.
- استفاده از GPR در قالب پایش هوشمند مستمر (Continuous Monitoring) به‌جای بازرسی‌های دوره‌ای.
- نوآوری در اتصال داده‌های GPR با الگوریتم‌های پیش‌بینی یادگیری ماشین برای هشدار زودهنگام.

## ۷. جمع‌بندی

این طرح با ترکیب فناوری پیشرفته GPR و اصول پدافند غیرعامل، مدلی عملیاتی برای پایش پیشگیرانه‌ی زیرساخت‌های شهری ارائه می‌دهد. اجرای آن می‌تواند موجب کاهش ریسک بحران، صرفه‌جویی اقتصادی و افزایش تاب‌آوری اجتماعی گردد. به‌ویژه در شهرهای بزرگ، این روش به‌عنوان لایه‌ای مکمل در سامانه‌های مدیریت بحران می‌تواند نقش مؤثری در جلوگیری از خسارات و حفظ پایداری خدمات حیاتی ایفا نماید.