



Sustainable Landscape Design of the Karaj-Qazvin Freeway for Enhancing Safety and Maintaining Habitat Connectivity

Mahdi Khansefid^{a*}, Zeinab Ansari Jaber^a, Saba Arasteh^a

^aDepartment of Horticultural Sciences and Green Space, Faculty of Agriculture, University of Tehran, Tehran, Iran.

*Corresponding Author: mkhansfid@ut.ac.ir, <https://orcid.org/0000-0002-8077-6268>

Article Info	ABSTRACT
Article type: Research Article Article history: Received: 2026/02/22 Received in revised form: 2026/04/13 Accepted: 2026/04/28 Available online: 2026/06/01 Keywords: Road safety, Habitat analysis, Wildlife casualties, Ecological corridor, Freeway design.	Freeway networks are essential for transportation efficiency, but they often generate adverse consequences, including increased public safety risks and fragmentation of natural habitats. This study aimed to enhance safety for both human and wildlife populations along the Karaj–Qazvin Freeway by proposing ecologically sensitive and safety-oriented landscape interventions. The study adopted a descriptive–analytical approach combining a systematic literature review, case study selection, and extensive field investigations. The Karaj–Qazvin Freeway was selected as the study area because of its strategic importance, high traffic volume, and its location within a region with significant wildlife presence and a history of road-related accidents. Data were collected through documentary and field survey methods. Documentary sources included traffic accident reports, environmental impact assessments, and previous transportation studies. Field surveys involved direct observation of traffic patterns, identification of wildlife crossing points, and documentation of existing landscape features. A segmented SWOT analysis was employed to identify strengths, weaknesses, opportunities, and threats within different freeway sections. This analytical tool helped in formulating appropriate design strategies tailored to the specific conditions of each segment. The findings indicated that integrating wildlife underpasses, dedicated pedestrian overpasses, and protective barriers combined with guiding vegetation can substantially improve road safety and ecological performance. Wildlife underpasses allow animals to cross safely beneath the freeway, reducing the risk of collisions. Pedestrian overpasses provide safe crossing points for local communities, minimizing human casualties. Protective barriers and guiding vegetation direct both wildlife and pedestrians toward designated crossing structures. Based on the identified needs and environmental conditions, a section of the freeway was redesigned according to engineering and ecological standards. The proposed interventions are expected to reduce wildlife–vehicle collisions and traffic accidents while improving habitat connectivity. The results demonstrate that incorporating ecological principles into freeway landscape design can effectively balance transportation functions with environmental conservation objectives. Such integrated approaches contribute to biodiversity protection, enhance landscape resilience, and promote sustainable transportation infrastructure. This study provides practical recommendations for planners and decision-makers involved in highway development projects in similar ecological contexts.

Introduction

Although the development of freeway networks plays a vital role in facilitating transportation and intercity communication, it is often accompanied by unintended environmental consequences, including habitat fragmentation, wildlife–vehicle collisions, noise and air pollution, and reduced user safety. In Iran, roads are historically perceived not only as transit routes but also as cultural and spatial corridors with distinct identities. However, contemporary freeway design has largely prioritized traffic engineering criteria, often overlooking ecological, aesthetic, and experiential dimensions. This has resulted in ecological disruption, increased wildlife accidents, degraded landscape quality, and reduced user satisfaction. The Karaj–Qazvin Freeway, which passes through foothills, agricultural lands, and settlements, represents a clear example of the conflict between transportation efficiency and environmental considerations. Known as one of the most accident-prone freeways in Iran, it highlights the urgent need to reconsider current design approaches. Key research gaps include the lack of integrated studies addressing safety, sustainability, and habitat restoration simultaneously, limited quantitative evaluation of wildlife crossing effectiveness, and insufficient attention to the cultural and visual functions of freeway landscapes. The main objective of this study is to develop a practical framework for the landscape design of the Karaj–Qazvin Freeway, transforming it into a multifunctional ecological corridor that enhances wildlife safety, resident safety, user safety, and habitat continuity. The significance of this research lies in integrating road ecology, sustainable landscape design, and traffic safety principles to provide a context-sensitive model that can be applied to other freeways in Iran.

Method

This research was implemented in five consecutive steps using a combined approach based on context-sensitive design. In the first step, the Karaj–Qazvin Freeway was selected as a case study due to its unique features, including passing through natural and agricultural areas, proximity to metropolises, and high biodiversity. In the second step, extensive library studies were conducted on reputable domestic and international sources in the fields of road ecology, sustainable landscape design, traffic safety, and ecological corridors to identify and formulate the theoretical foundations and background of the research. In the third step, a comprehensive field survey was conducted along the entire 13.3 km freeway route, which included systematic photography, documentation of landscape elements (skyline, building facades, visual quality, walls, vegetation, and adjacent uses), and recording the precise location of natural and man-made features. In the fourth step, using field data and base maps, a SWOT (Strengths, Weaknesses, Opportunities, and Threats) analysis was conducted for the entire route as well as for its various sections (based on the division into sections A, B, and C), and the potential and design constraints in each section were identified. To increase the accuracy of the analysis, adjacent uses were classified into eight main categories (parks, intersections, private gardens, rivers, wastelands, agricultural lands, industrial areas, and religious sites) and the location of each was tracked and recorded. In the fifth step, based on the findings of the analysis, design strategies were developed for each section, and then a section of the freeway (including the linear park and the riverfront) as an example reached the executive design stage, and 2D maps and planting plans were prepared. The data analysis method was qualitative-analytical and combined field observations, library documents, and standard design criteria. The main limitation of the research was the lack of access to accurate wildlife accident statistics and long-term traffic data along the route, which was partially compensated by field observations and qualitative analyses.

Results

The field survey and SWOT analysis of the Karaj–Qazvin freeway identified several key strengths, including its scenic route passing near the Botanical Garden, the presence of

agricultural and mountainous landscapes, cultural–religious landmarks such as Imamzadeh sites, and relatively well-planned design in certain segments. However, notable weaknesses were also observed, such as poor asphalt quality in some sections, outdated irrigation practices, insufficient retaining structures, lack of pedestrian infrastructure, visual disorder in certain areas, and noise pollution affecting nearby residents. At the same time, the analysis highlighted important opportunities, including the rehabilitation of degraded lands along the freeway, increasing vegetation cover in the median strip, development of a riverside landscape along the Karaj River, establishment of roadside rest areas, and improvement of visual quality through artistic facade design. Key threats included environmental pollution from heavy traffic, uncontrolled urban development, damage from metro infrastructure, proximity of residential zones to the highway, and weak institutional coordination in landscape management.

Based on these findings, four main design strategies were proposed: enhancing wildlife safety through ecological crossings and protective barriers; improving pedestrian and residential safety via bridges, sidewalks, and bicycle paths; reducing driver fatigue and improving safety through vegetation planning, visual diversity, and rest areas; and restoring ecological continuity by developing linear parks, rehabilitating the Karaj River corridor, and planting native, resilient species to reduce pollution and maintenance needs. Some of these strategies have already progressed to implementation, particularly in the form of linear park and river corridor development projects.

Conclusions

The findings indicate that the Karaj–Qazvin Expressway, despite its important transportation function, faces significant ecological, visual, and safety challenges. Its predominantly traffic-oriented design has disrupted natural habitats, increased risks to wildlife and residents, and created a monotonous and tiring visual experience for drivers. The study therefore emphasizes a shift toward integrated, context-based landscape design that simultaneously addresses human safety, wildlife protection, visual quality, and ecological sustainability. The proposed strategies, including ecological underpasses, pedestrian bridges, protective green walls, linear parks, and roadside rest areas, could transform the expressway into a natural-cultural corridor while improving safety, protecting biodiversity, and enhancing the travel experience. Successful implementation, however, requires institutional coordination, sustainable funding, community participation, and continuous scientific monitoring. Future research should focus on GIS-based mapping of wildlife–vehicle conflict zones, evaluating the effects of interactive landscape elements on driver behavior and public awareness, and quantitatively assessing multilayer vegetation for noise reduction, safety improvement, and ecological sustainability. The proposed approach can also serve as a model for other Iranian freeways facing similar environmental and safety challenges.



طراحی منظر پایدار آزادراه کرج-قزوین با هدف ارتقای ایمنی و حفظ پیوستگی زیستگاهها

مهدی خان سفید^{a*}، زینب انصاری جابری^a، صبا آراسته^a

^aگروه علوم باغبانی و فضای سبز، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه تهران، تهران، ایران.

*نویسنده مسئول: mkhansafid@ut.ac.ir

اطلاعات مقاله	چکیده
نوع مقاله: مقاله پژوهشی	توسعه شبکه های آزادراهی اگرچه نقش بسزایی در تسهیل حمل و نقل و افزایش کارایی جابه جایی دارد، اما اغلب با پیامدهای ناخواسته ای همچون به خطر انداختن ایمنی شهروندان، افزایش تصادفات جاده ای و تخریب زیستگاه های طبیعی همراه است. این پژوهش با هدف کاهش اثرات نامطلوب و با تمرکز بر افزایش ایمنی برای انسان و حیات وحش در مسیر آزادراه کرج - قزوین انجام شده است. آزادراه کرج - قزوین به دلیل موقعیت راهبردی، تردد بالای وسایل نقلیه، حضور چشمگیر حیات وحش در حاشیه مسیر و سابقه تصادفات جاده ای مرتبط با حیوانات، به عنوان محدوده مطالعه انتخاب گردید. روش کار به این صورت بود که پس از بررسی منابع معتبر و مرور نظام مند پژوهش های پیشین در زمینه ایمنی راه ها و گذرگاه های بوم شناختی، این آزادراه به عنوان مطالعه موردی انتخاب و در ادامه، بررسی میدانی کاملی در طول مسیر آن انجام گرفت. در بازدیدهای میدانی، الگوهای تردد خودروها، نقاط عبور حیات وحش و وضعیت تأسیسات و مناظر حاشیه راه مورد شناسایی و مستندسازی قرار گرفت. با استفاده از تحلیل SWOT برای هر بخش از آزادراه، نقاط قوت، ضعف، فرصت ها و تهدیدها شناسایی و بر اساس آن، راهبردهای طراحی متناسب با شرایط هر بخش تدوین شد. بر اساس یافته ها، راهکارهای اصلی شامل ایجاد زیرگذرهای بوم شناختی برای عبور ایمن حیوانات، ساخت پل های عابر پیاده ویژه ساکنان محلی، و احداث دیوارهای محافظ همراه با پوشش گیاهی هدایت کننده است که حیوانات و عابران را به سمت گذرگاه های تعیین شده سوق می دهد. در ادامه، بخشی از آزادراه بر اساس استانداردهای طراحی مهندسی و بوم شناختی بازطراحی شد. نتایج نشان می دهد اجرای این اقدامات می تواند حوادث جاده ای و تصادفات ناشی از برخورد با حیات وحش را کاهش داده و اتصال زیستگاه ها را حفظ کند. در مجموع، رویکرد تلفیقی طراحی منظر با اصول بوم شناختی می تواند ضمن بهبود ایمنی راه ها، به حفاظت از تنوع زیستی و ارتقای پایداری زیرساخت های حمل و نقل کمک نماید.
تاریخ دریافت: ۱۴۰۴/۱۲/۰۲ تاریخ بازنگری: ۱۴۰۵/۰۱/۲۴ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۵/۰۲/۰۸ تاریخ انتشار: ۱۴۰۵/۰۳/۱۱	
کلیدواژه ها: ایمنی جاده ای، تحلیل زیستگاه، تلفات حیات وحش، راهروهای بوم شناختی، طراحی آزادراه.	

مقدمه

در ایران، مفهوم «راه» به دلیل تنوع جغرافیایی، پیشینه طولانی زیست و کوچ‌نشینی، با برداشت رایج در دیگر نقاط جهان تفاوت دارد. راه‌ها در این سرزمین نه تنها مسیر عبور، بلکه راهروهای بوم‌شناختی طبیعی و فرهنگی با هویت مستقل و حامل رویدادها و نشانه‌های فرهنگی بوده‌اند. در طول زمان، عناصر وابسته به راه و پدیده‌های فرهنگی پیرامون آن به جاذبه‌ها و محل مراجعه انسان‌ها تبدیل شده و مفهوم «راه فرهنگی» که ¹ICOMOS در دهه‌های اخیر برای ثبت جهانی مطرح کرده‌است، در ایران زمینه‌ای غنی برای توسعه و تعمیق دارد (Bird, 2024; Fardanesh & Arefian, 2021).

در عصر حاضر، طراحی منظر آزادراه‌های شهری دیگر تنها به معنای ایجاد مسیر سریع‌السير نیست؛ بلکه این فضاها به‌عنوان راهروهای بوم‌شناختی و عمومی با تأثیر بر ایمنی کاربران، سلامت بوم‌سازگان‌ها و پایداری محیط‌زیست مطرح هستند (Forman et al., 2013). با افزایش سرعت حرکت خودروها، ادراک بصری کاربران تغییر یافته و توجه بیشتر به عناصر دور و ثابت معطوف می‌شود، از این‌رو طراحی هوشمند جداره‌ها برای ارتقای ایمنی و کیفیت تجربه بصری اهمیت ویژه‌ای دارد (Habibi et al., 2022). آزادراه کرج-قزوین، به عنوان شریان حیاتی کلان‌شهر تهران که از میان عرصه‌های طبیعی، کشاورزی و سکونتگاه‌های انسانی عبور می‌کند، نمونه‌ای بارز از تنش میان عملکرد حمل‌ونقلی و اثرات محیط‌زیستی است و ضرورت رعایت اصول طراحی منظر پایدار در آن دوچندان می‌شود (Habibi et al., 2022). رویکردهای سنتی طراحی آزادراه‌ها عمدتاً بر معیارهای مهندسی ترافیک تمرکز داشته و پیامدهای بوم‌شناختی را موضوعی ثانویه می‌دانند که این امر موجب گسست بوم‌شناختی، افزایش تصادفات با حیوانات و آلودگی منابع طبیعی شده و تاب‌آوری منظر شهری و طبیعی را کاهش داده‌است (Popp et al., 2023). باوجود پیشرفت‌های اخیر در حوزه بوم‌شناسی جاده و طراحی پایدار، همچنان شکاف‌های دانشی مهمی باقی است. نخست، مطالعات یکپارچه‌ای که هم‌زمان ابعاد ایمنی، پایداری و احیای زیستگاه را باتوجه به ویژگی‌های خاص منطقه بررسی کنند، بسیار محدود هستند. دوم، ارزیابی کمی اثرگذاری طرح‌های اجراشده مانند گذرگاه‌های حیات‌وحش با روش‌های علمی به‌ندرت انجام شده است. سوم، ظرفیت منظر آزادراه برای ارائه خدمات فرهنگی و ارتقای تجربه بصری رانندگان کمتر موردتوجه قرار گرفته‌است (Gao et al., 2025; Kim et al., 2024; Sukhontapitapak et al., 2025).

آزادراه کرج - قزوین به دلیل عبور از مناطق طبیعی ارزشمند مانند کوهپایه‌های البرز و دشت حاصلخیز قزوین، مجاورت با کلان‌شهرها و تنوع زیستی بالا، نمونه‌ای ایده‌آل برای بررسی تعارض و فرصت هم‌زیستی زیرساخت‌های خطی و محیط‌زیست است. این مسیر چالش‌ها و فرصت‌های پیونددهنده طراحی زیرساخت، ایمنی و بوم‌شناسی را نمایان کرده و امکان توسعه رویکردی بین‌رشته‌ای برای طراحی منظر پایدار را فراهم می‌سازد. باتوجه به این زمینه‌ها، این پژوهش تلاش دارد چارچوبی عملی برای طراحی منظر آزادراه کرج-قزوین ارائه دهد تا مسیر به یک **راهروهای بوم‌شناختی** چند عملکرد تبدیل شود و هم‌زمان ایمنی، خدمات بوم‌سازگانی و کیفیت ادراکی کاربران ارتقا یابد. اهداف پژوهش شامل افزایش ایمنی حیات‌وحش از طریق ایجاد دالان‌های زیرگذر و روگذر و ارتقای آموزش عمومی در زمینه حفاظت از حیوانات، ارتقای ایمنی ساکنین حریم راه با طراحی پل‌ها و حایل‌های مناسب و ساماندهی فضاهای ناامن، افزایش ایمنی کاربران با کنترل دید، جلوگیری از خیرگی و ایجاد تنوع بصری مسیر برای کاهش خستگی رانندگان و در نهایت احیای پیوستگی زیستگاه و تقویت خدمات بوم‌سازگانی است (Gholampour et al., 2022).

¹ International Council on Monuments and Sites

در مجموع، این مطالعه نه تنها به بازخوانی مفهوم تاریخی و فرهنگی راه در ایران می‌پردازد، بلکه با الهام از آن، مسیر آزادراه کرج-قزوین را به نمونه‌ای از طراحی منظر پایدار، ایمن و چند عملکردی تبدیل می‌کند که هماهنگی میان نیازهای انسانی و الزامات بوم‌شناختی را در بستر یک فضای خطی فراهم می‌آورد.

پیشینه پژوهش

بررسی سیر تحقیقات انجام‌شده در حوزه طراحی جاده‌های حساس به حیات‌وحش و منظر بزرگراه‌های شهری، حاکی از توجه تدریجی به ابعاد بوم‌شناختی و اجتماعی است. در بستر ملی، در پژوهشی به بهسازی منظر حاشیه بزرگراه چمران شیراز پرداختند و بر ایجاد مسیرهای پیاده‌روی پیوسته، ایمن و تفریحی منطبق بر باغ‌های موجود و فرهنگ منطقه تأکید کردند. یافته‌های آن‌ها اولویت‌های کاربران را «تنوع پوشش گیاهی» و «خوانایی مسیر» با استفاده از نورپردازی و فعالیت‌های مشارکتی شناسایی نمود. در ادامه، با تمرکز بر کاهش استرس شهروندان در میدان ۹ دی تهران، به کارگیری گونه‌های گیاهی متنوع، لاین دوچرخه‌سواری و آب‌نماها را به عنوان عواملی برای ایجاد حس آرامش و بهبود منظر شهری معرفی کردند. با ارتقای سطح تحلیل به مقیاس کلان‌شهری، تمرکز بر تاب‌آوری منظر، شاخص‌هایی چون تنوع زیستی، پیوستگی بوم‌شناختی و چندعملکردی بودن را برای دستیابی به پایداری در طراحی منظر بزرگراه‌های شهری ارائه نمودند (Karkhaneh et al., 2023). در جدیدترین پژوهش داخلی، با خوانش تهران به مثابه یک متن از طریق منظر ذهنی رانندگان تاکسی، نشان دادند که چگونه مدرنیته می‌تواند به شکل‌گیری تجربه‌ای گسسته، احساس بی‌هویتی و حافظه‌ای تهی از معنا در کلان‌شهر بینجامد (Rashidpour et al., 2023).

در عرصه بین‌المللی، یافته‌ها بر جنبه‌های فنی و سیاستگذاری تمرکز دارند. (Laube et al., 2023) با تحلیل داده‌های ۴۳ هزار مورد برخورد حیات‌وحش و خودرو در سوئیس، به مدل‌سازی نقاط حادثه‌خیز پرداختند. نتایج آن‌ها نشان داد عواملی مانند «انحناء جاده»، «میزان پوشش غذایی» و «نویز ترافیکی» محوری‌ترین متغیرها هستند و استفاده از داده‌های دقیق پوشش زمینی می‌تواند قدرت پیش‌بینی این نقاط را افزایش دهد. در همان سال، (Su et al., 2023) با ارائه یک چارچوب تحلیلی جامع، عوامل مؤثر بر برخورد خودرو و حیات‌وحش را در چهار دسته «ویژگی‌های گونه»، «ویژگی‌های جاده و ترافیک»، «ویژگی‌های منظر» و «عوامل انسانی» دسته‌بندی و تعامل پیچیده بین این عوامل را تشریح کردند. سرانجام، در یک مقاله مروری نتیجه گرفتند که با وجود معرفی ابزارها و روش‌های شناخته‌شده برای «طراحی جاده حساس به حیات‌وحش»، بسیاری از پروژه‌های حمل‌ونقل فاقد ادغام کافی این ملاحظات در طراحی خود هستند (Johnson et al., 2022). آن‌ها بر لزوم گنجاندن این راهکارها در سیاست‌ها و طرح‌های کلان حمل‌ونقل برای دستیابی به شبکه‌ای پایدارتر تأکید نمودند.

به عبارتی می‌توان گفت پایداری در پروژه‌های طراحی آزادراه به معنای کاهش اثرات منفی بر محیط‌زیست، مصرف بهینه منابع و افزایش تاب‌آوری بوم‌شناختی است. از جمله اصول کلیدی در این زمینه می‌توان به کاهش شکاف بوم‌شناختی با احداث گذرگاه‌های حیات‌وحش اشاره کرد که هم پیوستگی زیستگاه را حفظ می‌کنند و هم ایمنی ترافیک را افزایش می‌دهند (Clevenger & Huijser, 2011). مدیریت آب‌های سطحی از طریق سیستم‌های طبیعی مانند سیستم‌های نگهداشت زیستی^۱ برای تصفیه روان آب‌ها (Ferguson, 2005) و احیای پوشش گیاهی بومی برای کاهش نیاز به نگهداری و تقویت زیستگاه‌های محلی از دیگر راهکارهای مؤثر در پایداری آزادراه‌ها محسوب می‌شوند (Forman et al., 2003).

منظر آزادراه همچنین می‌تواند به طور فعال در ارتقای ایمنی نقش ایفا کند؛ به‌عنوان مثال، استفاده از کاشت گیاهان برای هدایت بصری راننده در قوس‌ها و کاهش خستگی او (Dumbaugh & Rae, 2009) و نصب حصارهای هدایت‌کننده

^۱ Bioretention

حیوانات به سمت گذرگاه‌ها برای کاهش تصادفات از راهکارهای کلیدی در این حوزه هستند. رویکرد بنیادین این است که آزادراه را نه به‌عنوان عنصری بیگانه، بلکه بخشی از زیستگاهی بزرگ‌تر و پیوسته در نظر بگیریم. تحقیقات اخیر بر کمی‌سازی مزایای طراحی منظر با بهره‌گیری از فناوری‌هایی مانند GIS و مدل‌سازی مسیرهای حرکت حیات‌وحش تأکید دارند (Popp et al., 2023). همچنین، تمرکز بر خدمات بوم‌سازگانی به‌عنوان مبنای طراحی، توسعه ایمنی هوشمند با استفاده از حسگرها و به‌کارگیری مواد و فناوری‌های پایدار نوین روندهای قابل‌توجهی در طراحی منظر آزادراه‌ها را شکل داده‌اند (Balzan et al., 2021; Huijser et al., 2021; Tafida et al., 2024). (mokhles et al., 2015) در تحلیل منظر بزرگراه‌های یادگار امام و شهید همت با رویکرد زیبایی‌شناسی نشان دادند که آشفتگی بصری در این محورها ناشی از کم‌توجهی به فرایند معنابخشی و فقدان برنامه‌ای جامع در طراحی جدارهاست؛ برنامه‌ای که می‌بایست منطبق با تاریخ طبیعی و هویتی در چارچوب طرح جامع شهری تدوین شود. این یافته‌ها هم‌راستا با اهداف پژوهش حاضر، بر لزوم تلفیق اصول زیبایی‌شناسی، بوم‌شناسی و برنامه‌ریزی شهری در طراحی منظر آزادراه‌ها تأکید دارند. براین‌اساس، پژوهش حاضر با اتکا به این مبانی، به بررسی و ارائه راهکارهای علمی و عملی برای آزادراه کرج-قزوین می‌پردازد تا هم‌زمان پایداری محیط‌زیست، ایمنی کاربران و کیفیت ادراکی مسیر ارتقا یابد.

مرور نظام‌مند پژوهش‌های پیشین نشان می‌دهد که این مطالعات عمدتاً در سه دسته قابل‌تقسیم‌بندی هستند: پژوهش‌های مهندسی ترافیک با تأکید بر ایمنی و کاهش تصادفات (Dumbaugh & Rae, 2009)؛ مطالعات بوم‌شناسی راه با تمرکز بر اثرات محیط‌زیستی زیرساخت‌های خطی (Forman et al., 2013)؛ و پژوهش‌های طراحی منظر با رویکرد زیبایی‌شناختی (Karkhaneh et al., 2023). باوجود ارزش هر یک، هیچ‌یک رویکردی یکپارچه برای تلفیق هم‌زمان این سه مؤلفه ارائه نداده‌اند. پژوهش حاضر با شناسایی این شکاف دانشی، مدلی تحلیلی ارائه می‌دهد که در آن داده‌های میدانی، تحلیل SWOT و راهبردهای طراحی به‌طور نظام‌مند پیوند می‌خورند تا ضمن پاسخگویی به هر سه حوزه، چارچوبی عملیاتی برای طراحی آزادراه‌های کشور فراهم آورد.

روش‌شناسی پژوهش

پژوهش پیش‌رو با هدف تدوین راهبردهای طراحی منظر ایمن، پایدار و یکپارچه برای آزادراه کرج-قزوین، بر پایه رویکردی ترکیبی و مبتنی بر طراحی زمینه‌محور^۱ شکل گرفته است. این آزادراه (شکل ۱) که بخشی از شریان اصلی شماره ۲ (تهران-تبریز) به شمار می‌رود، به طول ۱۳/۳ کیلومتر، دو استان البرز و قزوین را به هم متصل می‌کند. با وجود اهمیتی که به‌عنوان یک محور ترانزیتی دارد، متأسفانه آمار تصادفات در این مسیر همواره نگران‌کننده بوده و آن را به پرتصادف‌ترین آزادراه کشور تبدیل کرده است، تا جایی که شورای ترافیک کشور ناچار به کاهش سرعت مجاز در بخش تهران تا پس از هشتگرد از ۱۲۰ به ۱۰۰ کیلومتر بر ساعت شده است. از سوی دیگر، عبور این مسیر از پهنه‌های طبیعی و کشاورزی و نیز تنوع چشمگیر کاربری‌های حاشیه آن، ضرورت نگاهی فراتر از اقدامات صرفاً ترافیکی را آشکار می‌سازد و همین امر، انتخاب آن را به‌عنوان مطالعه موردی این پژوهش توجیه می‌کند.

روش تحقیق در این مقاله، ترکیبی از مراحل منسجم و به‌هم‌پیوسته است که در ادامه تشریح می‌شود. نخستین گام، به مطالعات کتابخانه‌ای و بررسی نقشه‌های پایه اختصاص یافت تا ضمن شناسایی کاربری‌های هم‌جوار نظیر پارک‌ها، باغ‌های خصوصی، رودخانه، زمین‌های بایر، تقاطع‌ها و سایر زیرساخت‌ها، موقعیت مکانی هر یک با دقت ثبت و در سامانه اطلاعات جغرافیایی ذخیره شود. گام بعدی، پیمایش میدانی و عکس‌برداری نظام‌مند در تمام طول مسیر بود که طی آن، عواملی چون خط آسمان، ترکیب نماها، کیفیت بصری منظر پیرامون و همچنین درک رانندگان و

^۱ Context-Sensitive Design

عابران پیاده از فضا، مستند و تحلیل شدند. این مشاهدات میدانی، زمینه‌ساز ارزیابی کیفی مبتنی بر شناسایی نقاط قوت، ضعف، فرصت‌ها و تهدیدهای منظر آزادراه گردید. در مرحله بعد، تمام داده‌های گردآوری‌شده در قالبی یکپارچه، به نقشه پتانسیل‌ها و محدودیت‌های طراحی در طول مسیر تبدیل شد و بر مبنای آن، یک طرح راهبردی جامع برای کل آزادراه تدوین گردید. در پایان، بخشی از این طرح به‌عنوان نمونه انتخاب و به مرحله طراحی اجرایی رسید و نقشه‌های دوبعدی آن ترسیم شد تا قابلیت عملیاتی‌شدن راهبردهای پیشنهادی به محک آزمون گذاشته شود. اتخاذ چنین رویکرد زمینه‌محوری، این امکان را فراهم آورد که راهکارهای طراحی برای هر بخش از مسیر، متناسب با ویژگی‌های خاص همان بازه تدوین شوند و از این رهگذر، درکی واقع‌گرایانه از پیچیدگی‌های منظر آزادراه و راهبردهایی همسو با واقعیت‌های محیطی، عملکردی و ادراکی حاصل شود.



شکل ۱. آزاد راه کرج-قزوین (google earth, 2025)

Figure 1. Karaj-Qazvin Freeway

یافته‌ها و بحث

خط آسمان

در تمامی طول مسیر کرج-قزوین، خط آسمان طبیعی کوه‌ها به‌عنوان یکی از عناصر شاخص منظر مسیر قابل مشاهده است (شکل ۲). همچنین در طول مسیر، خط آسمان درختان به‌صورت متناوب و منقطع دیده می‌شود. در بخش‌هایی از مسیر، خط آسمان مصنوعی شامل ساختمان‌های مسکونی با ریتمی منظم و در برخی موارد با ریتمی نامنظم مشاهده می‌شود. با این حال، به دلیل فاصله زیاد ساختمان‌ها از بزرگراه و وجود دیوارهای بتنی جداکننده در مسیر کرج-قزوین، در برخی قسمت‌ها خط آسمان مصنوعی این فضاها دیده نمی‌شود.



شکل ۲. تحلیل خط آسمان

Figure 2. Skyline Analysis

دید و منظر

آزادراه کرج-قزوین با عبور از میان چشم‌اندازهای طبیعی کوهستانی، اراضی کشاورزی و پوشش‌های سبز، از ظرفیت‌های بصری قابل توجهی برای ارتقای کیفیت فضایی و تجربه سفر برخوردار است (شکل ۳). با این وجود، وجود عناصر ناهمگون مانند دیوارهای بتنی، ساخت‌وسازهای صنعتی و عدم طراحی یکپارچه در جداره‌های مسیر، به گسست دیداری و کاهش انسجام منظر انجامیده‌است. طراحی منظر این محور باید با رویکردی زمینه‌محور و چندلایه، ضمن حفظ پیوستگی بوم‌شناختی، به هدایت بصری، کاهش خستگی رانندگان و افزایش ایمنی بینجامد. در این صورت، این آزادراه علاوه بر کارکرد حمل‌ونقلی، می‌تواند واجد کیفیت‌های زیبایی‌شناختی و محیط‌زیستی نیز باشد.



شکل ۳. تحلیل دید و منظر

Figure 3. View and landscape analysis

تحلیل نمای ساختمانی و سازه های انسان ساز حاشیه اتوبان

نمای ساختمانی حاشیه آزادراه کرج-قزوین (شکل ۴)، با وجود تنوع عملکردی و بصری، فاقد انسجام با بستر طبیعی هستند. ساخت وسازهای صنعتی، انبارها، دیوارهای بتنی و ساختمان های مسکونی با نمای ناهماهنگ، موجب آشفتگی دیداری و گسست در تجربه بصری مسافران شده اند. علت اصلی این مسئله، نبود ضوابط طراحی برای جداره های بزرگراهی و بی توجهی به مؤلفه هایی چون مصالح، رنگ، مقیاس و فرم است که نه تنها کیفیت منظر را کاهش داده، بلکه تعامل میان زیرساخت حمل و نقل و محیط پیرامونی را نیز مختل کرده است. از این رو، طراحی یکپارچه و زمینه محور این سازه ها می تواند به ارتقای هویت بصری، کاهش آلودگی دیداری و تقویت پیوستگی فضایی در این مسیر کمک شایانی نماید.



شکل ۴. تحلیل نما ساختمانی حاشیه بزرگراه

Figure 4. Analysis of the building facade along the highway

بر اساس مدل تحلیلی تشریح شده (جدول ۱)، ابتدا امکانات و محدودیت‌های هر بخش بررسی گردید (جدول ۲)، سپس پتانسیل و ممنوعیت طراحی هر بخش مورد بررسی قرار گرفت (جدول ۳)، بعد از آن راهبردهای طراحی به صورت هدفمند و با تطابق میان مؤلفه‌های SWOT و پتانسیل‌های هر بخش تدوین گردید (جدول ۴). یافته‌ها نشان می‌دهد که هر راهبرد در پاسخ به یک یا چند مسئله مشخص از SWOT و با بهره‌گیری از فرصت‌های موجود در همان بخش شکل گرفته است. به عنوان نمونه، در بخش A، زیرگذرهای بوم‌شناختی در پاسخ به گسست زیستگاهی ناشی از قطعه‌قطعه شدن زیستگاه‌ها و مشاهده میدانی تردد حیات وحش، و با بهره‌گیری از پتانسیل راهروهای طبیعی رودخانه کرج و مجاورت با باغ گیاه‌شناسی انتخاب شدند؛ همچنین پارک خطی حاشیه رودخانه در پاسخ به زمین‌های بایر و آشفته بصری و با بهره‌گیری از پتانسیل دید مطلوب و حریم رودخانه تدوین گردید؛ و طراحی فضای سبز تقاطع‌ها در پاسخ به محدودیت دید رانندگان سر پیچ‌ها و با استفاده از اراضی خالی اطراف تقاطع‌ها پیشنهاد شدند. در بخش B، پل‌های عابر پیاده در پاسخ به نبود دسترسی ایمن ساکنین باغات اطراف و مشاهده مستقیم عبور خطرناک عابران از عرض جاده، و با استفاده از فرصت وجود جاذبه‌های فرهنگی-مذهبی همچون امام‌زاده و ترمینال شهید کلانتری تدوین گردیدند؛ همچنین دیوارهای محافظ با پوشش گیاهی هدایت‌کننده در پاسخ به نزدیکی اماکن مسکونی به بزرگراه و آلودگی صوتی و با بهره‌گیری از دیوارهای بتنی موجود به عنوان زیرساخت اولیه شکل گرفتند؛ و کمان خطی سبز در پاسخ به نیاز به افزایش امنیت ساکنین و کاهش خستگی رانندگان طراحی شد. در بخش C نیز استراحتگاه‌های بین‌راهی در پاسخ به یکنواختی بصری و کاهش خستگی رانندگان در بخش‌های طولانی مسیر و با بهره‌گیری از زمین‌های کشاورزی و بایر دارای دید مطلوب پیشنهاد شدند؛ کاشت ردیفی درختان و گیاهان پوششی جداکننده در پاسخ به نیاز به هدایت بصری رانندگان برای پیش‌بینی پیچ‌های مسیر و با بهره‌گیری از زمین‌های کشاورزی مجاور طراحی شد. بدین ترتیب، کلیه راهبردهای ارائه شده، خروجی منطقی فرآیند تحلیل می‌باشند.

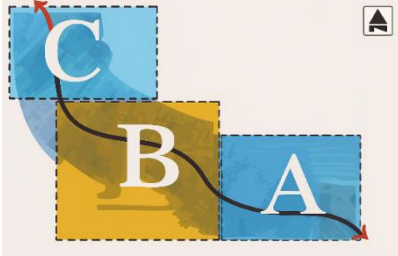
جدول ۱. بررسی نقاط قوت، ضعف، تهدید و فرصت

Table 1. Review of Strengths, Weaknesses, Threats, and Opportunities

فرصت	تهدید	ضعف	قوت
-احیای اراضی کنار دست آزادراه -امکان تعبیه جایگاه سوخت گیری وسایل نقلیه -امکان ارتقای وضع موجود پوشش گیاهی محدوده در جهت بالابردن کیفیت زندگی -کاشت گونه های مناسب در بخش Median -دیوارهای حائل بتنی موجود امکانی برای افزایش پوشش گیاهی جهت کاهش آلودگی صوتی -امکان طراحی استراحتگاه در بخش کشاورزی -زمین های بایر به علت امکان طراحی بالا -امکان طراحی حاشیه رود کرج -ارتقا کیفیت بصری نمای ساختمان های حاشیه بزرگراه با استفاده از تکنیک نقاشی دیواری	-گسترش آلودگی های محیطی ایجاد شده به واسطه تردد وسایل نقلیه سنگین -ساخت و ساز در اطراف بزرگراه و احتمال آسیب به محیط -وجود مترو به دلیل وجود حریم آن که باعث از بین رفتن قسمت هایی از حاشیه راه می شود -نزدیکی اماکن مسکونی به بزرگراه -عدم وجود فضای کافی در حاشیه بزرگراه برای طراحی منظر -فقدان هماهنگی نهادی در مدیریت منظر و زیرساخت ها	-آسفالت نامناسب در برخی قسمت ها -آبیاری سنتی (دستی) -نصب بلوک بتنی در بخش Median -دیوار حائل بتنی در کنار آزادراه که بیش از حد فضا را سخت نشان می دهد -جدول های آسیب دیده کنار آزادراه -آلودگی صوتی برای ساکنین نزدیک به آزادراه -فضای آشفته و نامنظم -استقرار مسافران اتوبوس -منظر نازیبا و طراحی نشده در برخی فواصل -عدم تعبیه مسیر عابر پیاده -عدم رعایت حریم برای بزرگراه نبود دسترسی کندرو به مناطق مجاور	-طراحی مناسب و از پیش برنامه ریزی شده در برخی نقاط -باغ گیاه شناسی در اطراف آزادراه که باعث بالابردن پتانسیل بوم شناختی و محیط زیستی منطقه شده -نصب تابلوهای راهنما -وجود امام زاده کنار بزرگراه -زمین کشاورزی به دلیل استفاده از دید مطلوب سبز -وجود ترمینال برای جذب جمعیت -وجود عناصر فرهنگی و مذهبی در مجاورت مسیر باعث تقویت حس تعلق مکان و ایجاد نقطه کانونی می شود. -وجود چشم اندازهای سبز کشاورزی و باغ گیاه شناسی ظرفیت بالایی برای ارتقای کیفیت بصری، افزایش تنوع زیستی و بهره گیری از خدمات بوم سازگانی در طراحی منظر فراهم می سازد.

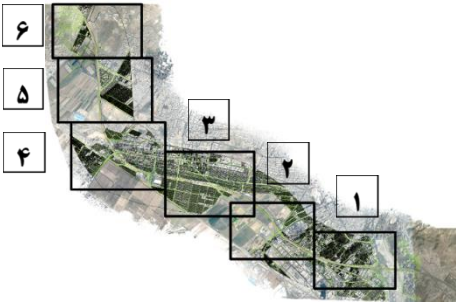
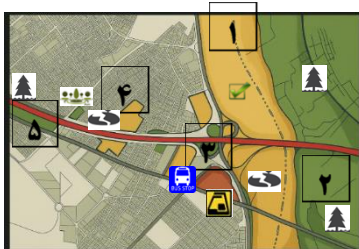
جدول ۲. بررسی امکانات و محدودیت های آزادراه کرج-قزوین

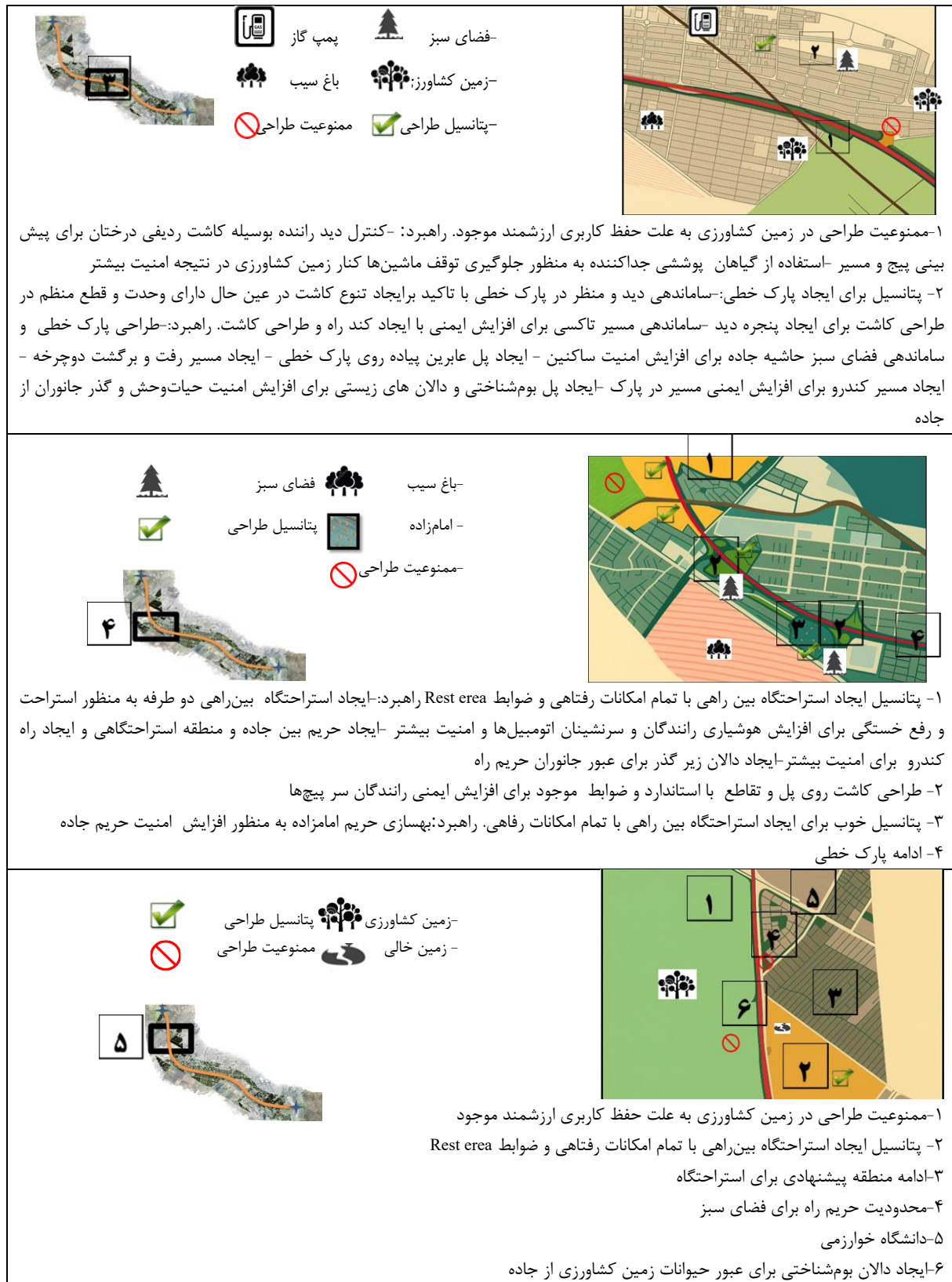
Table 2. Review of the Facilities and Limitations of the Karaj-Qazvin Freeway

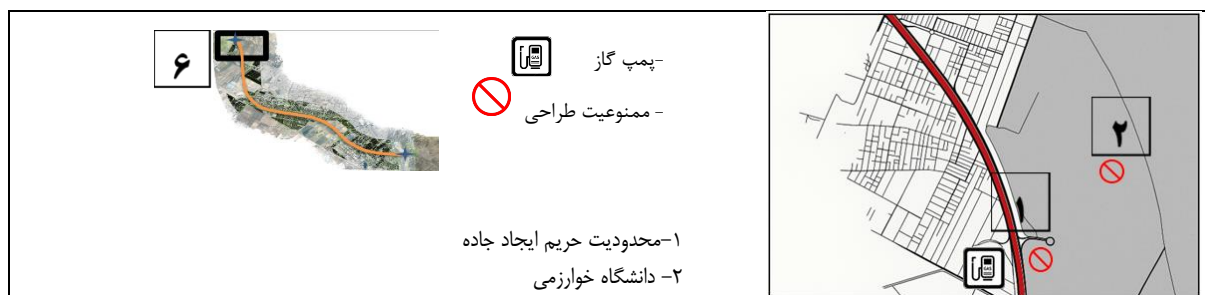
		
امکانات	محدودیت	
-بیشترین فضای با دید مطلوب در این بخش -پتانسیل بالا طراحی (زمین های بایر) -امکان بازطراحی فضاهای سبز موجود -عبور رود کرج از این بخش -امکان ساخت استراحتگاه کنار آبی -وجود دو تقاطع که امکان طراحی یا بازطراحی دارند	-آلودگی صوتی ناشی از ترافیک شهری و وسایل نقلیه سنگین	قسمت A
-امکان طراحی زمین های بایر -عبور از کنار زمین های کشاورزی با دید مطلوب -پتانسیل طراحی در تقاطع موجود	-مجاورت در نتیجه دید کلی به مناطق مسکونی -آلودگی صوتی ناشی از مناطق صنعتی هم جوار	قسمت B
-عبور از کنار زمین های کشاورزی -امکان استفاده از دید مطلوب سبز -زمین های کشاورزی در طراحی -امکان طراحی استراحتگاه در این بخش	-وجود منطقه صنعتی	قسمت C

جدول ۳. بررسی شناخت، پتانسیل و ممنوعیت طراحی آزادراه کرج-قزوین

Table 3. Survey of the recognition, potential, and prohibition of designing the Karaj-Qazvin freeway

	
  ۱-رود کرج: -حفظ و گسترش حریم رودخانه -ایجاد دالان زیر گذر برای عبور حیات وحش ۲-فضای سبز خصوصی: راهبرد: - ایجاد پل عابر پیاده برای افزایش ایمنی ساکنین باغ‌ها -ایجاد دالان زیر گذر بوم‌شناختی برای حرکت ایمن حیات وحش -ایجاد دیوار محافظ به همراه طراحی کاشت استاندارد حریم جاده جهت جلوگیری از عبور ساکنین باغ های اطراف و هدایت آن ها به سمت پل عابر پیاده ۳-تقاطع برگ شبدری: راهبرد: -طراحی فضای سبز تقاطع برای جلوگیری از محدودیت دید رانندگان سر پیچ‌ها -گیاهان با نگهداری بسیار کم برای ایمنی کارگران فضای سبز ۴-راهبرد: -طراحی پارک در روی جاده برای اتصال لکه‌های سبز و افزایش کارکرد بوم‌شناختی و افزایش اکسیژن و جلوگیری از خستگی راننده ۵-طراحی کمان خطی سبز برای افزایش امنیت ساکنین و هوشیاری	 ۱-رود کرج: -حفظ و گسترش حریم رودخانه -ایجاد دالان زیر گذر برای عبور حیات وحش ۲-فضای سبز خصوصی: راهبرد: - ایجاد پل عابر پیاده برای افزایش ایمنی ساکنین باغ‌ها -ایجاد دالان زیر گذر بوم‌شناختی برای حرکت ایمن حیات وحش -ایجاد دیوار محافظ به همراه طراحی کاشت استاندارد حریم جاده جهت جلوگیری از عبور ساکنین باغ های اطراف و هدایت آن ها به سمت پل عابر پیاده ۳-تقاطع برگ شبدری: راهبرد: -طراحی فضای سبز تقاطع برای جلوگیری از محدودیت دید رانندگان سر پیچ‌ها -گیاهان با نگهداری بسیار کم برای ایمنی کارگران فضای سبز ۴-راهبرد: -طراحی پارک در روی جاده برای اتصال لکه‌های سبز و افزایش کارکرد بوم‌شناختی و افزایش اکسیژن و جلوگیری از خستگی راننده ۵-طراحی کمان خطی سبز برای افزایش امنیت ساکنین و هوشیاری
  ۱-رود کرج: -حفظ و گسترش حریم رودخانه -ایجاد دالان زیر گذر برای عبور حیات وحش ۲-فضای سبز خصوصی: راهبرد: - ایجاد پل عابر پیاده برای افزایش ایمنی ساکنین باغ‌ها -ایجاد دالان زیر گذر بوم‌شناختی برای حرکت ایمن حیات وحش -ایجاد دیوار محافظ به همراه طراحی کاشت استاندارد حریم جاده جهت جلوگیری از عبور ساکنین باغ های اطراف و هدایت آن ها به سمت پل عابر پیاده ۳-تقاطع برگ شبدری: راهبرد: -طراحی فضای سبز تقاطع برای جلوگیری از محدودیت دید رانندگان سر پیچ‌ها -گیاهان با نگهداری بسیار کم برای ایمنی کارگران فضای سبز ۴-راهبرد: -طراحی پارک در روی جاده برای اتصال لکه‌های سبز و افزایش کارکرد بوم‌شناختی و افزایش اکسیژن و جلوگیری از خستگی راننده ۵-طراحی کمان خطی سبز برای افزایش امنیت ساکنین و هوشیاری	 ۱-رود کرج: -حفظ و گسترش حریم رودخانه -ایجاد دالان زیر گذر برای عبور حیات وحش ۲-فضای سبز خصوصی: راهبرد: - ایجاد پل عابر پیاده برای افزایش ایمنی ساکنین باغ‌ها -ایجاد دالان زیر گذر بوم‌شناختی برای حرکت ایمن حیات وحش -ایجاد دیوار محافظ به همراه طراحی کاشت استاندارد حریم جاده جهت جلوگیری از عبور ساکنین باغ های اطراف و هدایت آن ها به سمت پل عابر پیاده ۳-تقاطع برگ شبدری: راهبرد: -طراحی فضای سبز تقاطع برای جلوگیری از محدودیت دید رانندگان سر پیچ‌ها -گیاهان با نگهداری بسیار کم برای ایمنی کارگران فضای سبز ۴-راهبرد: -طراحی پارک در روی جاده برای اتصال لکه‌های سبز و افزایش کارکرد بوم‌شناختی و افزایش اکسیژن و جلوگیری از خستگی راننده ۵-طراحی کمان خطی سبز برای افزایش امنیت ساکنین و هوشیاری





بر اساس یافته‌های تحلیل SWOT و پیمایش میدانی در جدول ۳، پتانسیل‌ها و ممنوعیت‌های طراحی در طول مسیر شناسایی شدند که مبنای تدوین راهبردهای جدول ۴ قرار گرفته‌اند. مهم‌ترین پتانسیل‌ها عبارت‌اند از: حریم رودخانه کرج در بخش A برای ایجاد دالان زیرگذر و پارک خطی؛ فضاهای سبز خصوصی و باغات در بخش B برای احداث پل عابر پیاده و دیوارهای محافظ؛ و اراضی کشاورزی در بخش C برای کاشت ردیفی درختان و گیاهان پوششی جداکننده. در مقابل، ممنوعیت‌های طراحی شامل حفظ کاربری ارزشمند اراضی کشاورزی و رعایت حریم جاده می‌باشند.

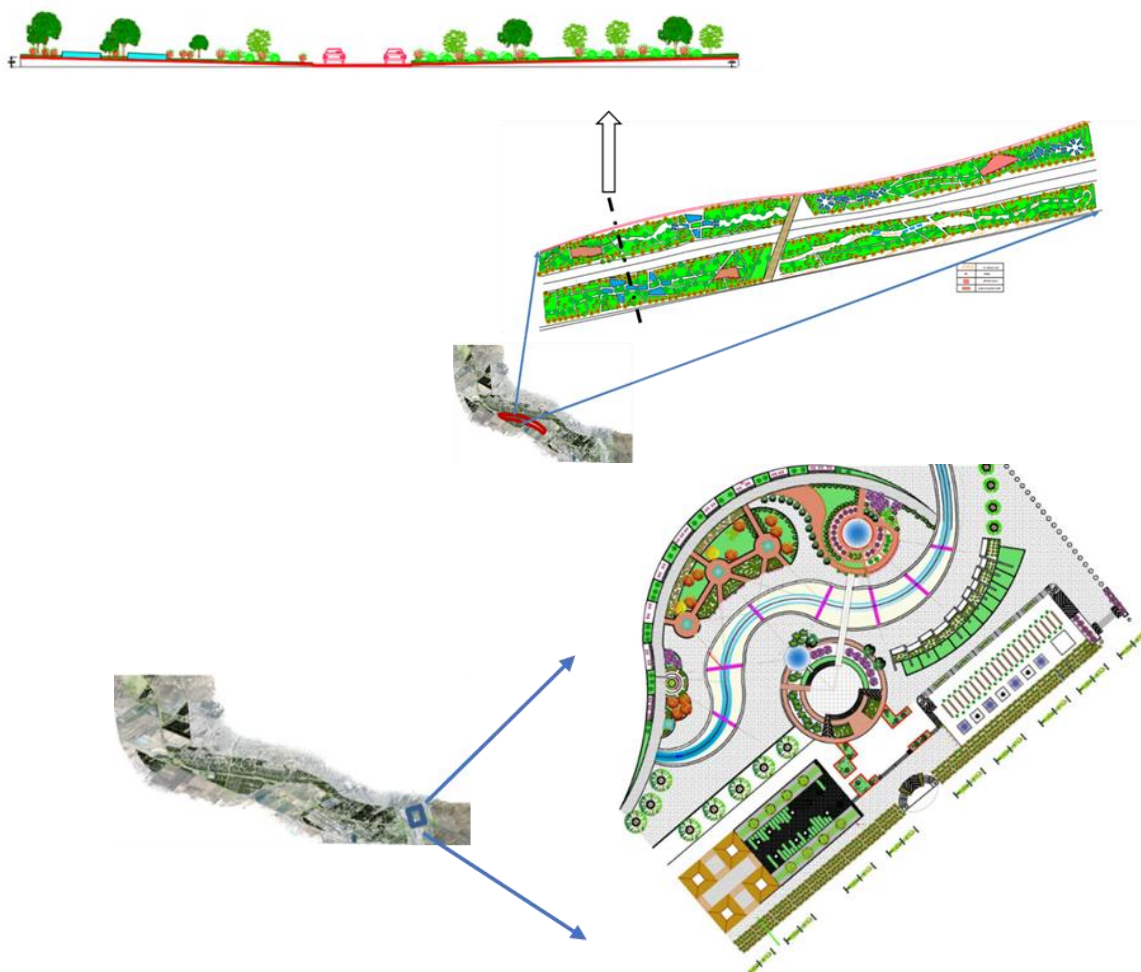
جدول ۴. راهبردهای پیشنهادی آزادراه کرج-قزوین

Table 4. Proposed Strategies for the Karaj-Qazvin Freeway

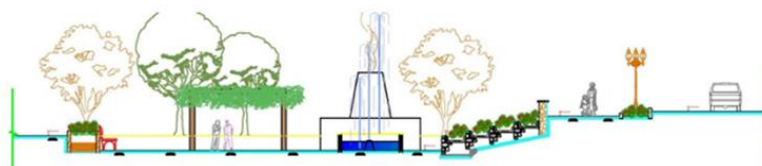
تصویر	راهبرد
	۱- دالان زیر گذر ۲- تقاطع ۳- کاشت ردیفی درختان گیاهان پوششی جداکننده ۴- کمان خطی ۵- پارک در روی جاده ۶- تقاطع برگ شیدری ۷- طراحی حریم رودخانه ایجاد دالان زیر گذر ۸- پل عابر پیاده، دالان زیرگذر، دیوار سبز محافظ
	۱- استراحتگاه بین‌راهی ۲- دالان زیر گذر ۳- تقاطع و پل ۴- بهسازی حریم امامزاده ۵- تقاطع ۶- پارک خطی ۷- دالان زیر گذر
	۱- دالان زیر گذر ۲- استراحتگاه بین‌راهی

طراحی

بر اساس تحلیل‌های میدانی و ماتریس SWOT، نقشه‌های طراحی اجرایی برای بخش‌های منتخب آزادراه ترسیم گردیدند که تجسم عینی راهبردهای ارائه‌شده هستند. شکل ۵، پلان پارک خطی را در بخش B نشان می‌دهد که در پاسخ به سه مسئله اصلی تدوین گردیده است: نزدیکی اماکن مسکونی به بزرگراه که با کمان خطی سبز و دیوارهای محافظ با پوشش گیاهی هدایت‌کننده مرتفع شده؛ عدم تعبیه مسیر عابر پیاده که با طراحی پل‌های عابر و مسیرهای دوچرخه‌سواری تأمین گردیده؛ و فضای آشفته و نامنظم که با ساماندهی فضای سبز حاشیه به ارتقای کیفیت منظر انجامیده است. شکل ۶، پلان حریم رودخانه کرج را در بخش A به تصویر می‌کشد که با بهره‌گیری از پتانسیل رودخانه به‌عنوان راهروهای طبیعی و ایجاد زیرگذرهای بوم‌شناختی در نقاط بحرانی، امکان عبور ایمن حیات‌وحش را فراهم ساخته و با ساماندهی مسیرهای پیاده‌روی و دوچرخه‌سواری در کنار رودخانه، به افزایش ایمنی عابران و کاهش خستگی رانندگان کمک نموده است. شکل ۷ نیز نقشه کاربری اراضی اطراف آزادراه را در سه بخش A، B و C نمایش می‌دهد که مبنای تحلیل SWOT قرار گرفته است؛ بر اساس این نقشه، زمین‌های کشاورزی به‌عنوان کاربری دارای ارزش، ممنوعیت طراحی تلقی شده و راهبردها در این اراضی صرفاً به کاشت ردیفی درختان و گیاهان پوششی جداکننده برای هدایت بصری رانندگان محدود گردیده است؛ در مقابل، زمین‌های بایر به‌عنوان فرصت‌های طراحی، محل استقرار پارک‌های خطی، استراحتگاه‌های بین‌راهی و فضاهای سبز تقاطع‌ها در نظر گرفته شده‌اند که پیشنهادات طراحی کاشت نیز در این بخش آمده است.



شکل ۵. پلان پارک خطی-مقطع
Figure 5. Linear Park Plan-Section



شکل ۶. پلان پارک حریم رودخانه-مقطع (نویسندگان، ۱۴۰۴)

Figure 6. Riverine Park Plan - Section (Authors, 2025)

طراحی کاشت

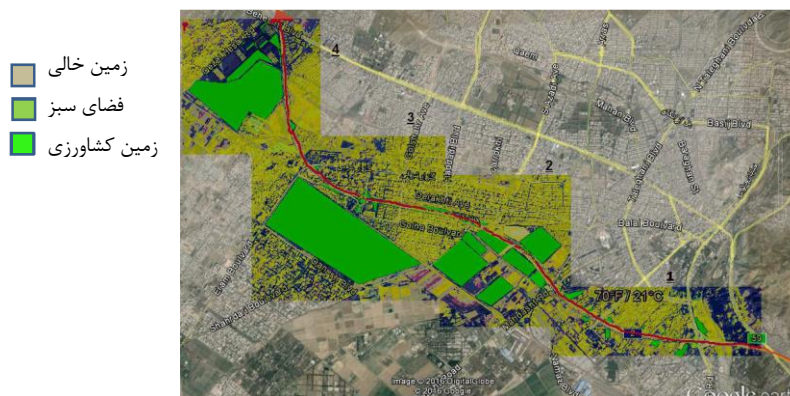
طراحی کاشت در حاشیه بزرگراه‌ها، فراتر از یک اقدام صرفاً زیبایی‌شناختی، رویکردی چندعملکردی است که اهداف ایمنی، زیست‌محیطی، اقلیمی و ادراکی را به‌طور هم‌زمان پیگیری می‌کند. از منظر ایمنی، شواهد پژوهشی نشان می‌دهد که طراحی مناسب منظر حاشیه راه‌ها می‌تواند با ایجاد حس مرزبندی و افزایش توجه رانندگان، به کاهش چشمگیر تصادفات در میان‌بلوک‌ها کمک کند (Mok et al., 2006). همچنین، پوشش گیاهی مناسب در حاشیه راه‌ها به‌عنوان عاملی مؤثر در جذب آلاینده‌های هوا و ذرات معلق عمل می‌کند؛ به‌گونه‌ای که تحقیقات نشان داده است خاکریزهای سبز پوشیده از گیاهان علفی و رودرال می‌توانند غلظت ذرات معلق را تا ۷۱٪ کاهش دهند و خطرات بوم‌شناختی ناشی از عناصر کمیاب را تا ۴۲٪ کاهش دهند (Nawrocki et al., 2025). در همین راستا، پژوهش‌های اخیر بر روی گونه‌های چوبی حاشیه راه‌ها در شهر چونگجو کره جنوبی نشان داده است که گونه‌هایی نظیر کاج ژاپنی و زلک‌های ژاپنی توانایی بالایی در جذب ذرات معلق و فلزات سنگین دارند و می‌توانند به‌عنوان گزینه‌های مؤثر در طراحی کاشت حاشیه بزرگراه‌ها مدنظر قرار گیرند (Park et al., 2025). این پوشش گیاهی همچنین می‌تواند زیست‌گاه ارزشمندی برای گونه‌های گیاهی و جانوری فراهم آورد و به‌عنوان راهروهای سبز برای حرکت حیات‌وحش عمل کند، هرچند مدیریت این فضاها باید به‌گونه‌ای باشد که بین اهداف ایمنی، حفاظت از تنوع زیستی و جلوگیری از تبدیل شدن به تله‌های بوم‌شناختی تعادل برقرار شود (Milton et al., 2015). تأثیر زیرساخت‌های جاده‌ای بر کریدورهای حیات‌وحش، به‌ویژه در جنگل‌های بارانی هاینان، نشان داده است که طراحی نامناسب راه‌ها می‌تواند موجب گسستگی زیست‌گاه‌ها و افزایش تلفات جاده‌ای حیات‌وحش گردد؛ از این‌رو، احداث زیرگذرهای بوم‌شناختی و حفظ پیوستگی پوشش گیاهی در حاشیه راه‌ها، از ضروریات طراحی منظر پایدار محسوب می‌شود (Xiong et al., 2025). رویکردهای مبتنی بر طبیعت مانند حوضچه‌های رسوب‌گذاری پوشیده از گیاه نیز راه‌حلی پایدار برای مدیریت روان‌آب‌های سطحی و کاهش آلودگی‌های ناشی از ترافیک ارائه می‌دهند که با کنترل کمیت و کیفیت روان‌آب، به افزایش تاب‌آوری بوم‌سازگان در برابر تغییرات اقلیمی و بار آلودگی کمک می‌کنند (Mooselu et al., 2022). بر این اساس، طراحی کاشت در بزرگراه‌ها نیازمند رویکردی نظام‌مند و زمینه‌محور است که هم‌زمان به بوم‌شناسی منطقه، کاربری‌های مجاور، سرعت و ایمنی و نیز انتظارات بصری استفاده‌کنندگان توجه داشته باشد. در پژوهش حاضر، این اصول بر روی آزادراه کرج-قزوین به‌کار گرفته شده‌اند که یافته‌های آن در ادامه تشریح می‌شود.

حاشیه بزرگراه‌ها اغلب از زمین‌های خالی یا کشاورزی تشکیل شده (شکل ۷) و پوشش گیاهی کمی دارند. این وضعیت علاوه بر کاهش کیفیت منظر، می‌تواند بر ایمنی و محیط‌زیست نیز اثر منفی بگذارد. بنابراین، طراحی کاشت در این فضاها باید هم‌زمان به نیازهای زیباشناختی، ایمنی و حتی اقتصادی توجه کند. یکی از ظرفیت‌های مهم، استفاده از زمین‌های پیرامونی برای کشاورزی شهری است. پیشنهادهایی مانند «کشاورزی شهری» در حاشیه راه‌ها، با هدف بهره‌وری از فضاهای بلااستفاده و تقویت اقتصاد محلی، در محافل علمی و طراحی مطرح شده‌اند و نمونه‌های عملی مانند تبدیل بخش‌هایی از بزرگراه‌های متروکه به مزارع شهری، نشان‌دهنده قابلیت اجرایی این ایده‌هاست (Fletcher

(Studio, 2013). چنین رویکردی ضمن بهینه‌سازی مصرف آب، به اقتصاد محلی نیز کمک می‌کند. بزرگراه کرج-قزوین به دلیل موقعیت خاص خود، پتانسیل بالایی برای اجرای این ایده دارد.

انتخاب گونه‌های گیاهی مناسب مانند سدر، توت، شمشاد، زبان‌گنجشک، سرو نقره‌ای، چنار، افرا و کاج، می‌تواند در بهبود منظر و کاهش اثرات منفی ترافیک مؤثر باشد. در قوس‌های مسیر، کاشت ردیفی درختان تأکید بصری ایجاد می‌کند. همچنین رعایت فاصله ایمن از مسیر بزرگراه و استفاده از یک‌لایه بوته‌ای فشرده در کنار درختان، علاوه بر زیبایی، نقش حفاظتی دارد. در میانه بزرگراه نیز باید گونه‌هایی کاشته شوند که با ایجاد مانع بصری، از خیرگی ناشی از چراغ خودروهای مقابل جلوگیری کرده و تمرکز رانندگان را افزایش دهند.

به طور خلاصه، هم‌پیوندی فضای سبز با مؤلفه‌های کشاورزی شهری، بهره‌گیری از گونه‌های گیاهی بومی و مقاوم، و رعایت اصول ایمنی در کاشت، می‌تواند به طور معناداری به ارتقای کیفیت بصری و عملکردی منظر بزرگراه بینجامد و آن‌ها را به زیرساخت‌هایی پایدار، سازگار با محیط و کارآمد در نظام شهری تبدیل نماید.



شکل ۷. کاربری زمین اطراف آزادراه کرج-قزوین

Figure 7. Land use around Karaj-Qazvin Freeway

نتیجه‌گیری

آزادراه کرج-قزوین به عنوان یکی از شریان‌های حیاتی کشور، نمونه‌ای بارز از تقابل میان ظرفیت‌های بوم‌شناختی و فشارهای توسعه شهری-صنعتی است. یافته‌های این پژوهش نشان می‌دهد که رویکرد فعلی به این محور، عمدتاً مبتنی بر کارکرد حمل‌ونقلی صرف بوده و از ابعاد زیباشناختی، بوم‌شناختی و اجتماعی غفلت شده‌است. بررسی‌ها نشان می‌دهد مسئله اصلی تنها "ایمنی فنی" یا "کارکرد انتقالی" این آزادراه نیست، بلکه "کیفیت محیطی و تجربه بصری" به عاملی کلیدی در ارتقای ایمنی، کاهش خستگی رانندگان و تقویت خوانایی مسیر بدل شده‌است. راه‌حل پیشرو، خروج از نگرش جزیره‌ای و حرکت به سمت "طراحی یکپارچه منظر" با تأکید بر اصول زمینه‌محوری، کاهش آلودگی دیداری و هدایت بصری است. در این صورت، آزادراه کرج-قزوین می‌تواند از یک گذرگاه صرفاً عملکردی، به یک «راهروهای طبیعی-فرهنگی» تبدیل شود که هم‌زمان با برآوردن نیازهای حمل‌ونقلی، افزایش ایمنی، بیانگر هویت منطقه و ارتقادهنده کیفیت زندگی و سفر باشد.

مطالعه حاضر با تأیید یافته‌های (Van Der Ree et al., 2015) در خصوص نقش زیرگذرها و روگذرهای حیات‌وحش در کاهش تکه‌تکه‌شدن زیستگاه‌ها، افزایش ایمنی ساکنین و حیوانات، بر ضرورت طراحی این سازه‌ها در مقیاس بوم‌سازگان تأکید می‌کند. همچنین همسو با (Tzoulas et al., 2007)، این پژوهش نشان می‌دهد که یکپارچه‌سازی زیرساخت‌های سبز نه تنها به ارتقای کیفیت بصری می‌انجامد، بلکه خدمات بوم‌سازگانی ارزشمندی از جمله کاهش

آلودگی صوتی و بهبود شرایط میکروکلیم را به همراه دارد که این خود باعث افزایش پایداری محیط زیست می‌شود. در حوزه طراحی کاشت، استفاده از گونه‌های مقاوم و بومی ضمن ارتقای زیبایی بصری، در کاهش آلودگی هوا و صوت نقش دارد. با این وجود، چالش‌هایی مانند آلودگی صوتی ناشی از ترافیک و توسعه بی‌ضابطه صنعتی از موانع اصلی محسوب می‌شوند که با یافته‌های (Sreetheran et al., 2011) همسو است.

با وجود پتانسیل‌های رویکرد یکپارچه طراحی منظر در ارتقای ایمنی و پیوستگی زیستگاه‌ها، تحقق عملی آن مستلزم فراهم‌سازی پیش‌نیازهایی فراتر از طراحی است که مهم‌ترین آنها عبارت‌اند از: استقرار سازوکار هماهنگی میان‌نهادی میان وزارت راه و شهرسازی، سازمان حفاظت محیط زیست و شهرداری‌ها؛ تأمین منابع مالی پایدار از طریق تخصیص بودجه‌های مستقل به مؤلفه‌های غیرسازه‌ای نظیر طراحی بوم‌شناختی منظر؛ و ایجاد نظام پایش و ارزشیابی مستمر مبتنی بر شاخص‌های کمی همچون شمارش تصادفات، تردد حیات وحش و کیفیت بصری. بدیهی است که بدون تأمین این پیش‌نیازها، حتی بهترین راهبردهای طراحی نیز در مرحله اجرا با کاستی‌های جدی مواجه خواهند شد. با این حال، پژوهش حاضر نشان می‌دهد که مداخلات هدفمند و مبتنی بر تحلیل علمی، حتی با وجود این محدودیت‌ها، می‌تواند گام‌های مؤثری در جهت کاهش تعارض میان زیرساخت‌های حمل و نقل و محیط زیست بردارد. در صورت تحقق حداقلی پیش‌نیازهای یادشده، رویکرد ارائه‌شده در این پژوهش قابلیت تعمیم به سایر آزادراه‌های کشور با شرایط مشابه را داشته و می‌تواند الگویی برای تحول در طراحی زیرساخت‌های خطی از منظر پایداری و انسان‌محوری باشد.

پیشنهادهای

پیشنهادهایی برای بهبود وضع موجود

این راهکارها بر اساس افق زمانی اجرا، در سه بازه کوتاه‌مدت، میان‌مدت و بلندمدت طبقه‌بندی شده‌اند. در بازه کوتاه‌مدت (شش تا دوازده ماه)، با توجه به تأثیر مستقیم پیکربندی پوشش گیاهی بر ایمنی راه و کاهش خطای ادراکی رانندگان، نصب حصارهای هدایت‌کننده موقت و کاشت ردیفی درختان با ارتفاع و فاصله‌گذاری بهینه در بخش‌های B (مناطق مسکونی) و C (اراضی کشاورزی) به عنوان نخستین اقدام پیشنهاد می‌شود. همچنین، ساماندهی بصری میانه آزادراه در بخش‌های A و B با هدف کاهش خیرگی و خستگی رانندگان، می‌تواند به افزایش تمرکز و ایمنی کمک کند. در بازه میان‌مدت (یک تا سه سال)، با بهره‌گیری از تجارب مؤثر زیرگذرهای بوم‌شناختی در کاهش تلفات حیات وحش و حفظ راهروهای زیستی، احداث زیرگذرهای بوم‌شناختی در بخش A (حریم رودخانه کرج) و بخش C (اراضی کشاورزی) به منظور تسهیل حرکت حیات وحش و کاهش تعارضات جاده‌ای پیشنهاد می‌شود. احداث پل‌های عابر پیاده در بخش B (باغات مسکونی) و بخش C (امامزاده و ترمینال) نیز از دیگر اقدامات میان‌مدت است که با ایجاد دسترسی ایمن، به ارتقای ایمنی عابران کمک می‌کند. اجرای نمونه پارک خطی در بخش A و سپس توسعه آن به سایر بخش‌ها، گامی عملی در جهت تبدیل حاشیه‌های بلااستفاده به فضاهای سبز عمومی و ایجاد راهروهای سبز پیوسته خواهد بود؛ رویکردی که نمونه‌های موفق آن در تبدیل رمپ‌های بزرگراهی به پارک‌های خطی فراگیر در شهرهای مختلف جهان به اثبات رسیده است. در بازه بلندمدت (سه تا پنج سال)، احداث استراحتگاه‌های بین‌راهی کامل در بخش‌های A و C با هدف تأمین نیازهای استراحت و خدمات رانندگان و نیز فراهم‌آوردن بستری برای تعامل کیفی کاربران با منظر پیرامون، پیشنهاد می‌شود. همچنین، توسعه یکپارچه پارک‌های خطی در امتداد کل مسیر و اتصال لکه‌های سبز موجود، ضمن پیوستگی بخشی به سیمای سبز، به ایجاد راهروهای بوم‌شناختی و بهبود کیفیت بصری منظر کمک خواهد کرد. ایجاد نظام پایش مستمر شامل دوربین‌های پایش حیات وحش، سامانه ثبت تصادفات و ارزیابی کیفیت بصری در تمامی بخش‌ها، به عنوان بستر پایش و ارزیابی عملکرد راهکارهای اجراشده، در دستور کار بلندمدت قرار می‌گیرد.

پیشنهادهایی برای انجام مطالعات آتی

با توجه به پیچیدگی‌های منظر آزادراه و تنوع عوامل مؤثر بر ایمنی، کیفیت بصری و پایداری زیست‌محیطی، انجام پژوهش‌های تکمیلی در حوزه‌های زیر ضروری به نظر می‌رسد. نخست، تهیه نقشه حساسیت تعارض حیات‌وحش-وسیله نقلیه با استفاده از سامانه اطلاعات جغرافیایی (GIS) و مدل‌های پیش‌بینی‌کننده، می‌تواند به اولویت‌بندی دقیق‌تر نقاط بحرانی و تخصیص بهینه منابع کمک کند. همچنین، بررسی تأثیر عناصر طراحی تعاملی از قبیل تابلوهای آموزشی، ایستگاه‌های استراحت و فضاهای دیدبانی بر آگاهی عمومی و رفتار رانندگان، می‌تواند بینش ارزشمندی در خصوص چگونگی بهبود تجربه کاربران از منظر آزادراه فراهم آورد. از سوی دیگر، با توجه به نقش چشمگیر پوشش گیاهی در جذب آلاینده‌ها و کاهش ذرات معلق، ارزیابی کمی عملکرد منظر چندلایه (ترکیب درختان، درختچه‌ها و گیاهان پوششی بومی) در کاهش آلودگی صوتی، افزایش ایمنی و تقویت پایداری بوم‌شناختی، به‌عنوان یکی از اولویت‌های پژوهشی آتی پیشنهاد می‌شود.

References

- Balzan, M. V., Zulian, G., Maes, J., & Borg, M. (2021). Assessing urban ecosystem services to prioritise nature-based solutions in a high-density urban area. *Nature-Based Solutions*, 1, 100007. <https://doi.org/10.1016/j.nbsj.2021.100007>
- Bird, I. (2024). *Journeys in Persia and Kurdistan*. BoD-Books on Demand. <https://doi.org/10.1016/j.nbsj.2021.100007>
- Clevenger, A. P., & Huijser, M. P. (2011). *Wildlife crossing structure handbook: design and evaluation in North America*. https://rosap.nhtl.gov/view/dot/41646/dot_41646_DS1.pdf
- Dumbaugh, E., & Rae, R. (2009). Safe urban form: Revisiting the relationship between community design and traffic safety. *Journal of the American Planning Association*, 75(3), 309-329. <https://doi.org/10.1080/01944360902950349>
- Fardanesh, F., & Arefian, F. F. (2021). *Persian Paradises at Peril: Landscape planning and management in contemporary Iran*. Springer Nature.
- Ferguson, B. K. (2005). *Porous pavements*. CRC Press. <https://doi.org/10.1201/9781420038439>
- Fletcher Studio. (2013). *Productive freeway landscapes: TERRABANK*. In *Proceedings of the ACSA Fall Conference*.
- Forman, R. T. T., Sperling, D., Bissonette, J. A., Clevenger, A. P., Cutshall, C. D., Dale, V. H., Fahrig, L., France, R., Goldman, C. R., Heanue, K., Jones, J. A., Swanson, F. J., Turrentine, T., & Winter, T. C. (2003). *Road ecology: Science and solutions*. Island Press.
- Forman, R. T., Sperling, D., Bissonette, J. A., Clevenger, A. P., Cutshall, C. D., Dale, V. H., Fahrig, L., France, R. L., Goldman, C. R., & Heanue, K. (2013). *Road ecology: science and solutions*. Princeton University Press.
- Gao, H., Bakar, S. A., Suhardi, M., Guo, Y., Yusof, M. J. M., Mundher, R., Zhuo, Y., & Qi, J. (2025). Constructing a conceptual framework: Interpreting visual preference and visual pollution factors among viewers in highway landscapes. *Transportation Research Interdisciplinary Perspectives*, 31, 101399. <https://doi.org/10.1016/j.trip.2025.101399>
- Gholampour, S., Mansouri, S., & Shahcheraghi, A. (2022). Landscape design of roads and environmental ethics. <https://dor.isc.ac/dor/20.1001.1.22517634.1401.17.1.2.2>
- Habibi, M., Chitsazzadeh, E., & Mosavi, A. (2022). Green resources for safety improvement and sustainable landscape design: The case of a dangerous tehran-dizin road bend. *Resources*, 11(2). <https://doi.org/10.3390/resources11020019>
- Huijser, M., Ament, R. J., Bell, M., Clevenger, A., Fairbank, E., Gunson, K., & McGuire, T. (2021). *Animal vehicle collision reduction and habitat connectivity pooled fund study—Literature review*. <https://pooledfund.org/Document/Download?id=11857>
- Johnson, C. D., Matthews, T., Burke, M., & Jones, D. (2022). Planning for fauna-sensitive road design: A review. *Frontiers in Environmental Science*, 10, 959918. <https://doi.org/10.3389/fenvs.2022.959918>
- Karkhaneh, G., Sahraeinejad, N., & Mousavi Fatemi, H. (2023). *A Study on Proposed Urban Highways Landscape Design Elements and Indicators with a Landscape Resilience Enhancement Approach*.

- Armanshahr Architecture & Urban Development, 15(41), 153-168. <https://doi.org/10.22034/AAUD.2022.304259.2547>
- Kim, K., Kim, S., & Song, E. (2024). Analysis of Mammal Usage Relative to Compliance Rates of Wildlife Crossing Structures in South Korea. *Journal of forest and environmental science*, 40(4), 394-412. <https://doi.org/10.7747/JFES.2024.40.4.394>
- Laube, P., Ratnaweera, N., Wróbel, A., Kaelin, I., Stephani, A., Reifler-Baechtger, M., Graf, R. F., & Suter, S. (2023). Analysing and predicting wildlife–vehicle collision hotspots for the Swiss road network. *Landscape Ecology*, 38(7), 1765-1783. <https://doi.org/10.1007/s10980-023-01655-5>
- Milton, S. J., Dean, W. R. J., & Sielecki, L. E. (2015). The function and management of roadside vegetation. In R. van der Ree, D. J. Smith, & C. Grilo (Eds.), *Handbook of road ecology* (pp. 373–381). Wiley Blackwell. <https://doi.org/10.1002/9781118568170.ch46>
- Mok, J. H., Landphair, H. C., & Naderi, J. R. (2006). Landscape improvement impacts on roadside safety in Texas. *Landscape and Urban Planning*, 78*(3), 263–274. <https://doi.org/10.1016/j.landurbplan.2005.09.002>
- mokhles, f., Keramati, E., & Nozari, B. (2015). Highway Landscape Evaluation of Two Highway Landscapes in Tehran. *MANZAR, the Scientific Journal of landscape*, 7(31), 110-115. http://www.manzar-sj.com/article_12777_553c3741e8d893fe9789a3eb8a162821.pdf
- Mooselu, M. G., Liltved, H., Alizadeh, M. R., & Meland, S. (2022). Optimal design of nature-based solutions in highway runoff management based on resilience to climate and pollution load changes. *EGU General Assembly* 2022. https://ui.adsabs.harvard.edu/link_gateway/2022EGUGA..24.1425G/doi:10.5194/egusphere-egu22-1425
- Nawrocki, A., Przybysz, A., Moniuszko, H., Wójcik-Gront, E., Sikorski, P., & Popek, R. (2025). Understanding spatial patterns of traffic pollutant reduction by vegetated earth berms. *Building and Environment*, 113878. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2025.113878>
- Park, J., Bui, H. T., Lee, E., & Park, B. J. (2025). Evaluating particulate matter and heavy metal accumulation, and air pollution tolerance in roadside woody plants, Cheongju City, South Korea. *Environmental Monitoring and Assessment*, 197(10), 1133. <https://doi.org/10.1007/s10661-025-14614-1>
- Popp, J. N., Boyle, S. P., & Alexander, S. M. (2023). Road ecology in an era of rapid global change: Challenges and opportunities. *Biological Conservation*, 277, 109853.
- Rashidpour, N., Tabibiyan, M., & Habibi, M. (2023). Reading the Hieroglyph of Modern Metropolis of Tehran Based on the Constitutive Factors of Mental Landscape (Case Study: Analysis of the Constructed Landscape of Tehran in the Minds of Taxi Drivers). *Soffeh*, 33*(1), 85-101. <https://doi.org/10.52547/sofeh.33.1.85>
- Sreetheran, M., Adnan, M., & Khairil Azuar, A. (2011). Street tree inventory and tree risk assessment of selected major roads in Kuala Lumpur, Malaysia. *Arboriculture and Urban Forestry*, 37(5), 226. <https://doi.org/10.48044/jauf.2011.030>
- Su, H., Wang, Y., Yang, Y., Tao, S., & Kong, Y. (2023). An analytical framework of the factors affecting wildlife–vehicle collisions and barriers to movement. *Sustainability*, 15(14), 11181. <https://doi.org/10.3390/su151411181>
- Sukhontapitapak, C., Saralamba, C., Piyan, P., Duangta, P., Klubchum, T., & Sawangproh, W. (2025). Global wildlife roadkill research: a bibliometric synthesis of historical trends, thematic gaps, and future directions. *Urban Ecosystems*, 28(4), 130. <https://doi.org/10.1007/s11252-025-01747-x>
- Tafida, A., Alaloul, W. S., Zawawi, N. A. B. W., Musarat, M. A., & Abubakar, A. S. (2024). A review of eco-friendly road infrastructure innovations for sustainable transportation. *Infrastructures*, 9(12), 216. <https://doi.org/10.3390/infrastructures9120216>
- Tzoulas, K., Korpela, K., Venn, S., Yli-Pelkonen, V., Kaźmierczak, A., Niemela, J., & James, P. (2007). Promoting ecosystem and human health in urban areas using Green Infrastructure: A literature review. *Landscape and urban planning*, 81(3), 167-178. <https://doi.org/10.1016/j.landurbplan.2007.02.001>
- Van Der Ree, R., Smith, D. J., & Grilo, C. (2015). *Handbook of road ecology*. John Wiley & Sons. <https://doi.org/10.1002/9781118568170>
- Xiong, G., Yang, F., Wang, T., He, R., & Li, L. (2025). Impact of road infrastructure on wildlife corridors in Hainan rainforests. *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, 139, 104539. <https://doi.org/10.1016/j.trd.2024.104539>