

بررسی امکان جایگزینی چمن‌های رایج با پوشش‌های گیاهی کم‌آب‌بر در فضای سبز شهری

وحید مرادی^۱، اسمعیل شجاعی نسب^۲

- ۱- کارشناسی ارشد رشته کشاورزی باغبانی، گرایش فیزیولوژی و اصلاح گیاهان زینتی، دانشگاه آزاد شیراز، شیراز، ایران.
- ۲- کارشناسی رشته تولیدات گیاهی، گرایش باغبانی، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی داراب، دانشگاه شیراز، شیراز، ایران.

چکیده:

در دهه‌های اخیر، تشدید تغییرات اقلیمی، افزایش دفعات خشکسالی و فشار فزاینده بر منابع آب تجدیدپذیر، مدیریت فضای سبز شهری را به یکی از چالش‌های اساسی برنامه‌ریزی شهری در ایران تبدیل کرده است. چمن‌های رایج که بخش قابل توجهی از عرصه‌های سبز شهری را به خود اختصاص داده‌اند، به دلیل نیاز آبی بالا، حساسیت به تنش‌های کم‌آبی و شوری و هزینه‌های سنگین نگهداری، با شرایط اقلیمی بیشتر مناطق کشور همخوانی ندارند و تداوم استفاده گسترده از آن‌ها، پایداری زیست‌محیطی شهرها را تهدید می‌کند. هدف اصلی این مقاله مروری، بررسی امکان جایگزینی چمن‌های متداول با پوشش‌های گیاهی کم‌آب‌بر و مقاوم به تنش‌های محیطی در فضای سبز شهری و تحلیل پیامدهای اکولوژیکی، مدیریتی و اقتصادی این گذار است. روش پژوهش مبتنی بر مرور نظام‌مند و تحلیلی مطالعات علمی داخلی مرتبط با تنش خشکی، شوری، اکوفیزیولوژی گیاهان مقاوم، مدیریت پساب تصفیه‌شده و برنامه‌ریزی فضای سبز شهری بوده است و تلاش شده است نتایج پژوهش‌های فیزیولوژیکی و مدیریتی در قالب یک چارچوب کاربردی برای مدیریت شهری تلفیق شوند. یافته‌ها نشان می‌دهد که بسیاری از گونه‌های پوششی، علفی و چندساله بومی یا سازگار شده، به دلیل برخورداری از سیستم ریشه‌ای عمیق‌تر، کارایی بالاتر مصرف آب، تحمل تنش شوری و نیاز نگهداری کمتر، قابلیت جایگزینی مؤثر با چمن را دارند و می‌توانند مصرف آب آبیاری را تا بیش از ۵۰ درصد کاهش دهند. همچنین، بهره‌گیری هم‌زمان از این پوشش‌ها و استفاده هدفمند از پساب‌های تصفیه‌شده، امکان کاهش فشار بر منابع آب شیرین و افزایش تاب‌آوری فضای سبز شهری را فراهم می‌سازد. در جمع‌بندی، نتایج این مطالعه نشان می‌دهد که جایگزینی چمن‌های پرآب‌بر با پوشش‌های کم‌آب‌بر، در صورت انتخاب صحیح گونه، ارتقای زیرساخت‌های آبیاری و اجرای سیاست‌های حمایتی و آموزشی، یک راهبرد ضروری و پایدار برای آینده مدیریت فضای سبز شهری ایران محسوب می‌شود.

واژگان کلیدی: پوشش‌های گیاهی کم‌آب‌بر، چمن شهری، مدیریت فضای سبز شهری، تنش خشکی، پایداری شهری

مقدمه

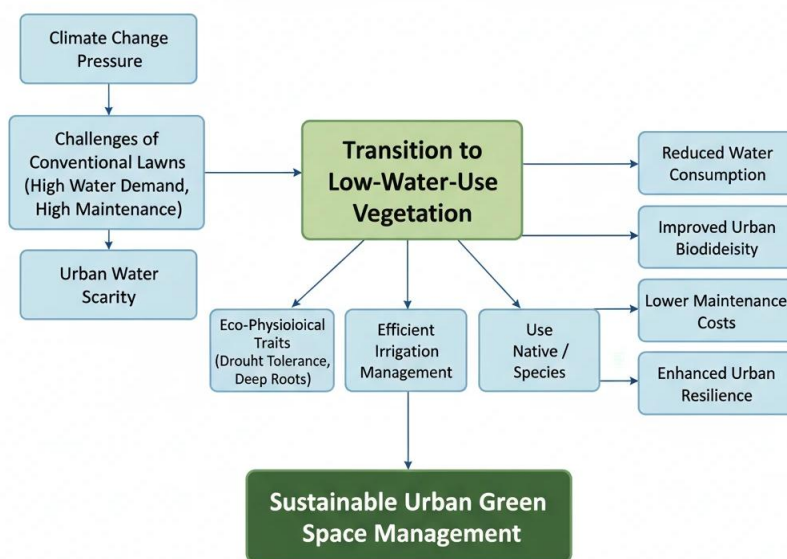
توسعه پایدار شهری در سایه تغییرات اقلیمی و افزایش فشار بر منابع طبیعی، به ویژه منابع آبی، نیازمند بازنگری اساسی در الگوهای مدیریتی موجود در عرصه‌های شهری است، و مدیریت فضای سبز شهری به عنوان یکی از مصرف‌کنندگان عمده آب، در کانون این تغییرات قرار دارد. چمن‌زارهای گسترده که نماد زیبایی و سرزندگی در بسیاری از شهرها محسوب می‌شوند، در واقع به دلیل نیاز آبی بالا، اغلب با واقعیت‌های کم‌آبی و خشکسالی‌های مکرر سازگار نیستند و فشار مضاعفی بر زیرساخت‌های تأمین آب شهری وارد می‌آورند. این وضعیت، لزوم جستجو و به‌کارگیری استراتژی‌های نوین مبتنی بر کاهش مصرف آب را بیش از پیش نمایان می‌سازد، استراتژی‌هایی که در قالب استفاده از گیاهان کم‌آبر و مقاوم به تنش‌های محیطی تعریف می‌شوند و می‌توانند تعادلی میان زیبایی‌شناسی منظر و پایداری زیست‌محیطی برقرار سازند. در این میان، پژوهش‌های جدید تأکید می‌کنند که استفاده از گونه‌های گیاهی بومی یا سازگار شده که نیازمند آبیاری‌های سنگین و مداوم نیستند، نه تنها امکان‌پذیر است، بلکه در بلندمدت مزایای اکولوژیکی و اقتصادی قابل توجهی را به همراه خواهد داشت، موضوعی که توسط محققانی چون قاسمی و همکاران (۲۰۱۹) به تفصیل مورد بررسی قرار گرفته است.

هدف اصلی این مقاله مروری، تحلیل و ارزیابی دقیق امکان‌سنجی جایگزینی چمن‌های سنتی (معمولاً گونه‌های سریع‌الرشد و پُرآبر مانند فستوکا یا رای‌گراس) با پوشش‌های گیاهی جایگزین با نیاز آبی کمتر در مدیریت فضای سبز شهری ایران است. این هدف فراتر از صرفاً معرفی چند گونه گیاهی است و شامل درک عمیق‌تر کارکردهای اکوفیزیولوژیک گیاهان مقاوم به خشکی، بررسی جنبه‌های فنی کاشت و نگهداری، و ارزیابی پیامدهای مدیریتی و اجتماعی این تغییر فرهنگی در عرصه طراحی منظر شهری می‌باشد. در این راستا، بررسی‌ها باید بر گونه‌هایی متمرکز شوند که بتوانند پاسخگوی نیازهای عملکردی چمن، از جمله قابلیت تحمل تردد محدود یا ایجاد حاشیه بصری مطلوب، باشند، همانطور که احدی راد و همکاران (۲۰۲۳) در مطالعات خود بر اهمیت تناسب گونه با کاربری محیط تأکید کرده‌اند.

روش پژوهش مورد استفاده در این مطالعه، یک مرور ادبیات علمی-کاربردی عمیق و چندوجهی بوده است که تلاش دارد تا یافته‌های علمی اخیر در زمینه گیاهان مقاوم به خشکی، تکنیک‌های آبیاری کارآمد، و تجربیات موفق بین‌المللی و داخلی در زمینه جایگزینی چمن را سنتز و تحلیل نماید. این روش اجازه می‌دهد تا شکاف‌های دانشی موجود در زمینه انتقال‌پذیری نتایج پژوهش‌های آزمایشگاهی به مقیاس مدیریت شهری شناسایی شده و راهکارهای عملیاتی برای کارمندان شهرداری و مدیران فضای سبز ارائه گردد. تمرکز بر منابعی است که دیدگاه‌های اکولوژیکی و مدیریتی را تلفیق کرده‌اند، به طوری که جنبه‌های فنی جایگزینی به درستی با ملاحظات اقتصادی و زیست‌محیطی همسو شوند، مسئله‌ای که در ادبیات به‌روز توسط پژوهشگرانی چون افشارنیا و همکاران (۲۰۲۵) مورد تأکید قرار گرفته است. یافته‌های کلیدی حاصل از این مرور نشان می‌دهد که تنوع زیستی گیاهی موجود، پتانسیل بالایی برای ارائه جایگزین‌های مؤثر دارد. گونه‌هایی مانند برخی از انواع علف‌های رونده (Groundcovers) یا گیاهان چندساله مقاوم به خشکی، می‌توانند با مصرف آب بسیار کمتر، ساختار بصری مطلوب و بهبود تنوع زیستی را در پارک‌ها و فضاهای عمومی فراهم آورند. این امر به خصوص در مناطق خشک و نیمه‌خشک ایران که محدودیت منابع آبی یک عامل محدودکننده اساسی است، اهمیت حیاتی دارد. همچنین، شناسایی گونه‌هایی که تحمل مطلوبی نسبت به شرایط خاک نامناسب شهری و آلودگی‌های محیطی دارند، یکی دیگر از دستاوردهای مهم این بررسی است که نشان می‌دهد سازگاری به عنوان یک پارامتر کلیدی باید مورد توجه قرار گیرد، همانطور که گشسبی و همکاران (۲۰۲۱) در تحلیل‌های خود به آن اشاره کرده‌اند.

تغییر پارادایم از چمن محوری به سمت منظر مقاوم به خشکی، یک حرکت اجتناب‌ناپذیر در راستای استراتژی‌های سازگاری با تغییرات اقلیمی است. این گذار مستلزم درک این نکته است که زیبایی فضای سبز نباید مترادف با مصرف بی‌رویه آب باشد، بلکه زیبایی پایدار، زیبایی سازگار با بوم و اقلیم است. بسیاری از گونه‌های جایگزین، از منظر تنوع زیستی، جذابیت بیشتری برای حیات وحش محلی، از جمله گرده‌افشان‌ها، فراهم می‌آورند که این خود یک مزیت اکولوژیک مهم محسوب می‌شود. دشتکی و همکاران (۲۰۲۳) به این نکته اشاره دارند که منظر مقاوم، نه تنها پایداری زیست‌محیطی را تقویت می‌کند، بلکه با کاهش نیاز به نگهداری‌های سنگین، هزینه‌های عملیاتی شهرداری‌ها را نیز کاهش می‌دهد. چالش اصلی در اجرای گسترده این جایگزینی، غلبه بر عادات و استانداردهای طراحی منظر سنتی است که چمن را به عنوان عنصر اصلی پذیرفته‌اند و همچنین، آموزش مهندسان و کارشناسان فضای سبز در زمینه استفاده از گونه‌های جدید و مدیریت سیستم‌های آبیاری قطره‌ای و میکرو است. مقاومت فرهنگی در برابر تغییر، می‌تواند سرعت پذیرش این راهکارهای نوین را کند سازد. بنابراین، نیاز به مطالعات موردی و نمایشگاه‌های عملی برای اثبات کارایی پوشش‌های جایگزین در مقیاس شهری، امری ضروری به نظر می‌رسد تا اعتماد عمومی و حرفه‌ای به این رویکرد جلب شود. شاه‌رخ و زارعیان (۲۰۱۹) بر اهمیت برنامه‌ریزی بلندمدت و اجرای فازبندی شده این طرح‌ها تأکید دارند.

در نهایت، این پژوهش نتیجه می‌گیرد که جایگزینی چمن‌های پرآب‌بر با پوشش‌های گیاهی کم‌آب‌بر نه تنها از نظر فنی امکان‌پذیر است، بلکه به دلیل همسویی با اهداف کاهش مصرف آب، افزایش تاب‌آوری شهری و بهبود تنوع زیستی، یک ضرورت راهبردی برای آینده مدیریت فضای سبز شهری محسوب می‌شود. موفقیت این رویکرد منوط به انتخاب دقیق گونه‌ها بر اساس اقلیم منطقه‌ای، استفاده از تکنیک‌های نوین آبیاری و اجرای برنامه‌های آموزشی هدفمند برای مدیران و نیروهای اجرایی است. آزادگر و همکاران (۲۰۲۳) نیز حمایت سیاستی را عامل تعیین‌کننده در موفقیت چنین گذارهایی می‌دانند. این بررسی عمیق‌تر نشان می‌دهد که انتقال موفقیت‌آمیز به منظر کم‌آب‌بر مستلزم رویکردی تلفیقی است که جنبه‌های اکولوژیکی، اقتصادی و اجتماعی را در هم بیامیزد. به جای صرفاً حذف چمن، باید به سمت خلق اکوسیستم‌های شهری متنوع‌تر و عملکردگرا حرکت کنیم؛ اکوسیستم‌هایی که در آن‌ها زیبایی، عملکرد و مصرف بهینه منابع به صورت یکپارچه در نظر گرفته شوند و این مستلزم دانش فنی به‌روز و رویکردی نظام‌مند برای سیاست‌گذاری‌های شهری است.



شکل ۱. مدل مفهومی جایگزینی چمن‌های متداول با پوشش‌های گیاهی کم‌آبر در مدیریت فضای سبز شهری و پیامدهای اکولوژیکی، مدیریتی و پایداری آن.

این شکل، چارچوب مفهومی حاکم بر فرآیند گذار از چمن‌های رایج پرآبر به پوشش‌های گیاهی کم‌آبر در فضای سبز شهری را نشان می‌دهد. همان‌گونه که در مدل مشاهده می‌شود، فشارهای ناشی از تغییرات اقلیمی و محدودیت منابع آب شهری، منجر به بروز چالش‌های جدی در تداوم استفاده از چمن‌های سنتی با نیاز آبی و هزینه نگهداری بالا می‌گردد. این شرایط، ضرورت حرکت به سمت جایگزینی چمن با پوشش‌های گیاهی کم‌آبر را برجسته می‌سازد. در این چارچوب، بهره‌گیری از ویژگی‌های اکوفیزیولوژیک گیاهان مقاوم به خشکی مانند تحمل تنش کم‌آبی و توسعه ریشه‌های عمیق، در کنار به‌کارگیری روش‌های کارآمد مدیریت آبیاری و استفاده از گونه‌های بومی یا سازگار شده، به‌عنوان اجزای کلیدی این گذار معرفی می‌شوند. پیامدهای این راهبرد شامل کاهش مصرف آب، افزایش تنوع زیستی شهری، کاهش هزینه‌های نگهداری و ارتقای تاب‌آوری اکوسیستم‌های شهری است که در نهایت به تحقق مدیریت پایدار فضای سبز شهری منجر می‌شود. این مدل مفهومی، مبنایی تحلیلی برای درک ارتباط میان عوامل محیطی، مدیریتی و پیامدهای جایگزینی چمن در مقیاس شهری فراهم می‌کند.

۲- چمن در فضای سبز شهری: جایگاه، کارکردها و چالش‌ها

چمن‌ها، به ویژه گونه‌های پهن‌برگ و باریک‌برگ پرمصرف، از زمان ظهور شهرنشینی مدرن، به عنوان نماد اصلی زیبایی، نظم و کیفیت زندگی در طراحی منظر شهری پذیرفته شده‌اند و جایگاه ویژه‌ای در پارک‌ها، میادین، حاشیه خیابان‌ها و فضاهای ورزشی کسب کرده‌اند. کارکرد اصلی آن‌ها در محیط شهری فراتر از زیبایی صرف است؛ چمن‌ها به عنوان یک لایه سبز فعال، نقش مهمی در کاهش دمای محیط (اثر تعدیل‌کننده حرارتی)، جذب گرد و غبار، بهبود کیفیت هوا در سطح محلی و فراهم آوردن فضایی نرم برای فعالیت‌های تفریحی و ورزشی ایفا می‌کنند، همانطور که درویش‌بلوچی و همکاران (۲۰۲۲) به تفصیل به اثر تعدیل اقلیمی آن‌ها اشاره کرده‌اند. این کارکردها باعث شده‌اند که در برنامه‌ریزی‌های شهری، اغلب با نگاهی سنتی و بدون توجه به پایداری منابع، بر سطح زیر کشت چمن تأکید شود. با این حال، این جایگاه تثبیت‌شده با چالش‌های جدی در اقلیم‌های عمدتاً خشک و نیمه‌خشک ایران مواجه است؛ بزرگترین چالش، نیاز آبی بسیار بالای چمن‌ها در مقایسه با سایر گیاهان زراعی و زینتی است. گونه‌های رایج چمن مانند کینتوکی یا فستوکا، به دلیل داشتن ریشه‌های سطحی و نرخ تبخیر و تعرق بالا، به آبیاری منظم و مکرر نیاز دارند که در شرایط بحران کم‌آبی، پایداری کل سیستم فضای سبز شهری را به خطر می‌اندازد. این وابستگی شدید به منابع آب شیرین، چمن را از یک عنصر زیبایی‌بخش به یک نقطه ضعف مدیریتی تبدیل کرده است؛ رجی (۲۰۲۵) این وابستگی را یکی از عوامل اصلی ناکارآمدی مدیریت منابع آب در شهرداری‌ها می‌داند.

علاوه بر مصرف آب، نگهداری از چمن‌زارهای استاندارد شهری نیازمند مداخلات پرهزینه‌ای از جمله چمن‌زنی مکرر، کوددهی شیمیایی برای حفظ رنگ و تراکم، و استفاده از آفت‌کش‌ها و علف‌کش‌ها است که هر یک به نوبه خود اثرات منفی زیست‌محیطی و هزینه‌های عملیاتی قابل توجهی را تحمیل می‌کنند. چمن‌زنی مداوم نه تنها باعث افزایش مصرف سوخت و آلودگی صوتی می‌شود، بلکه می‌تواند به ساختار خاک آسیب رسانده و منجر به فشردگی آن و کاهش نفوذپذیری آب گردد. شیرازیان و همکاران (۲۰۲۳) تأکید می‌کنند که هزینه‌های نگهداری سالانه یک هکتار چمن می‌تواند چندین برابر یک منظر مقاوم به خشکی باشد. از منظر منظر آرایی و طراحی، چمن‌ها یکنواختی بصری ایجاد می‌کنند که می‌تواند منجر به کاهش تنوع زیستی و جذابیت اکولوژیکی محیط شود. در حالی که چمن‌های متراکم، محیط مناسبی برای رشد و استقرار بسیاری

از حشرات مفید و پرندگان کوچک شهری نیستند و به جای افزایش سرزندگی، نوعی از سکون زیستی را القا می‌کنند. زیبایی‌شناختی چمن غالباً بر پایه یک استاندارد وارداتی و غیربومی تعریف شده است که با ویژگی‌های اقلیمی منطقه سازگار نیست و حفظ این زیبایی ظاهری نیازمند تزریق مداوم انرژی و منابع است، که این تضاد، موضوع اصلی در رویکردهای نوین طراحی پایدار را تشکیل می‌دهد.

چالش مهم دیگر، مقاومت ضعیف چمن‌ها در برابر تنش‌های غیر آبی، مانند شوری خاک، آلودگی‌های ناشی از روان‌آب‌های شهری و دمای بالای تابستان است. در مناطقی که از پساب‌های تصفیه‌شده با درصد شوری بالاتر برای آبیاری استفاده می‌شود، یا در نواحی با خاکی که به دلیل تردد و فرسایش دچار فشردگی و شوری شده است، عملکرد چمن به شدت افت کرده و برای حفظ ظاهر سبز، نیاز به دوزهای بیشتری از آب شیرین برای شستشوی املاح خواهد بود، که این خود یک چرخه معیوب در مصرف آب ایجاد می‌کند. کیانی و همکاران (۲۰۲۵) این تعامل بین شوری و نیاز آبی را یک عامل تسریع‌کننده در ناکارآمدی سیستم‌های چمنی می‌دانند. با توجه به محدودیت‌های فزاینده در تأمین آب و افزایش آگاهی‌های عمومی نسبت به مسائل محیط زیستی، حفظ وضعیت موجود در حوزه چمن‌کاری شهری دیگر یک استراتژی بلندمدت قابل دفاع نیست. لازم است که کارکرد چمن به عنوان یک پوشش صرفاً زینتی و مصرف‌کننده آب، با رویکردی مبتنی بر کارایی و انعطاف‌پذیری جایگزین شود. این امر مستلزم آن است که طراحان و مدیران شهری بپذیرند که "فضای سبز" مترادف با "چمن" نیست و پایداری اکولوژیکی باید بر زیبایی ظاهری کوتاه‌مدت اولویت یابد.

در زمینه مدیریت، استانداردسازی سیستم‌های آبیاری برای چمن‌های باقیمانده نیز یک چالش بزرگ است. بسیاری از شبکه‌های آبیاری در فضاهای سبز شهری قدیمی بوده و یا فاقد کنترل‌های هوشمند هستند، که این امر منجر به هدررفت قابل توجه آب از طریق تبخیر سطحی و رواناب می‌شود. حتی اگر بهترین گونه‌های چمن نیز انتخاب شوند، بدون زیرساخت‌های آبیاری مدرن و مبتنی بر داده‌های محیطی، میزان مصرف آب به شکل غیرقابل قبولی بالا خواهد بود. کاظمی‌نژاد اف و همکاران (۲۰۲۳) بر نیاز به سرمایه‌گذاری همزمان در اصلاح گونه گیاهی و به‌روزرسانی زیرساخت‌های آبیاری تأکید دارند. لذا، جایگاه سنتی چمن در فضای سبز شهری در حال تغییر است و چالش اصلی در پیش روی مدیران شهری، فرآیند گذار از این جایگاه به سمت مدل‌های مبتنی بر اکولوژی و بهره‌وری منابع است. این گذار نه تنها یک تصمیم فنی، بلکه یک تصمیم سیاستی است که باید با توجه به الزامات فرهنگی و اقتصادی اتخاذ شود تا از منافع اکولوژیکی بالقوه حاصل از کاهش مصرف آب بهره‌مند شویم، بدون آنکه کیفیت زندگی شهری به طور محسوس کاهش یابد. عباسی کاسکی و کریم‌زاده (۲۰۲۴) این گذار را به عنوان یک اولویت راهبردی در مدیریت شهری پایدار مطرح کرده‌اند.

۳- تنش کم‌آبی و محدودیت منابع آب در مدیریت فضای سبز شهری

تنش کم‌آبی به عنوان یکی از بارزترین پیامدهای تغییرات اقلیمی، به عاملی تعیین‌کننده در پایداری سیستم‌های اکولوژیکی و مدیریت منابع طبیعی در مناطق خشک و نیمه‌خشک تبدیل شده است، به ویژه در حوزه مدیریت فضای سبز شهری که وابستگی زیادی به منابع آب شیرین دارد. در بسیاری از کلان‌شهرهای ایران، آبیاری فضای سبز، سهم قابل توجهی از کل مصرف آب شهری را به خود اختصاص می‌دهد و این در حالی است که منابع تأمین آب شهری (از جمله آب‌های زیرزمینی و سدهای سطحی) تحت فشار شدید ناشی از مصارف شرب، صنعت و کشاورزی قرار دارند. این وضعیت، مدیریت فضای سبز را از یک مسئله زیبایی‌شناختی صرف، به یک مسئله امنیت منابع تبدیل کرده است. پرتانی و همکاران (۲۰۱۹) به وضوح نشان

داده‌اند که الگوی مصرف آب در فضای سبز شهری، در شرایط خشکسالی‌های مکرر، از نظر اخلاقی و مدیریتی قابل توجیه نیست.

نیاز آبی بالا و منحنی مصرف مداوم چمن‌های رایج، نقطه ضعف اصلی این نوع پوشش گیاهی در مواجهه با کم‌آبی است. چمن‌ها برای حفظ حداکثر تولید زیست‌توده و تراکم سبزینه خود، به رطوبت کافی در ناحیه ریزوسفری نیاز دارند و هرگونه افت رطوبت خاک به سرعت منجر به تنش‌های فیزیولوژیک، کاهش فتوسنتز، و در نهایت زرد شدن یا حتی مرگ گیاه می‌شود. این امر مدیران را مجبور می‌سازد تا با وجود محدودیت منابع، برای حفظ ظاهر مطلوب، آبیاری‌های سنگین و غیرضروری را ادامه دهند، که نتیجه آن افزایش هدررفت آب از طریق تبخیر مستقیم از سطح خاک و تعرق اضافی است. طاهری و همکاران (۲۰۲۴) مدل‌های تبخیر و تعرق چمن را به عنوان نقطه‌ثقل مصرف در سیستم‌های سنتی معرفی کرده‌اند. تنش کم‌آبی تأثیرات چندوجهی بر فیزیولوژی گیاه دارد که فراتر از ظاهر بیرونی است. در سطح سلولی، کمبود آب باعث کاهش پتانسیل آب در برگ‌ها و ساقه می‌شود که مستقیماً بر باز شدن روزنه‌ها (Stomata) تأثیر می‌گذارد؛ بسته شدن روزنه‌ها برای حفظ آب، به طور همزمان مانع از جذب دی‌اکسید کربن شده و فرآیند فتوسنتز را کاهش می‌دهد. در طولانی‌مدت، تنش مزمن باعث کاهش کارایی مصرف آب (Water Use Efficiency - WUE) و کاهش نرخ رشد می‌شود و گیاه را آسیب‌پذیرتر می‌کند. در این شرایط، گیاه ممکن است به مکانیسم‌های دفاعی شیمیایی متوسل شود، اما هزینه متابولیکی این دفاع‌ها، کاهش ذخایر انرژی و کند شدن ترمیم بافت‌ها است. دری و همکاران (۲۰۱۹) این اثرات فیزیولوژیک را در گونه‌های غیربومی مورد استفاده در فضای سبز به طور دقیق مستند کرده‌اند.

علاوه بر تنش رطوبتی مستقیم، اغلب در مدیریت شهری، تنش شوری به عنوان یک عامل تشدیدکننده کم‌آبی مطرح می‌شود. استفاده از پساب‌های تصفیه‌شده که دارای غلظت نمک بالاتری نسبت به آب شیرین هستند، در کنار آبیاری کم و مکرر، باعث تجمع نمک در ناحیه ریشه می‌شود. این شوری باعث ایجاد پتانسیل اسمزی پایین در خاک شده و جذب آب را برای گیاه دشوارتر می‌کند، حتی زمانی که رطوبت خاک به ظاهر کافی باشد؛ گیاه دچار "خشکی فیزیولوژیک" می‌شود. چمن‌های حساس به شوری در برابر این پدیده بسیار آسیب‌پذیرند و این موضوع لزوم انتخاب گونه‌هایی با تحمل بالاتر به شوری را به یک ضرورت دوگانه (کاهش آب و تحمل شوری) تبدیل می‌کند. قمرنیا و همکاران (۲۰۲۴) بر اهمیت مدیریت شوری در استفاده بهینه از منابع آب جایگزین تأکید دارند. محدودیت‌های زیرساختی آبیاری نیز نقش مهمی در تشدید بحران کم‌آبی دارند. سیستم‌های آبیاری سنتی و پرفشار که مبتنی بر اسپرینکلر هستند، به دلیل راندمان پایین (اغلب زیر ۶۰ درصد) و تبخیر بالای قطرات معلق در هوا، هدررفت آب را به حداکثر می‌رسانند. این اتلاف، به ویژه در ساعات گرم روز، به قدری زیاد است که بخشی از آبی که به گیاه می‌رسد، عملاً در چرخه مصرف شهری به دلیل عدم کارایی، سوخت می‌شود. ولی و همکاران (۲۰۲۲) بر این باورند که تا زمانی که سیستم‌های آبیاری به سمت روش‌های موضعی و هوشمند هدایت نشوند، هرگونه تلاش برای صرفه‌جویی از طریق تغییر گونه، با شکست روبرو خواهد شد.

از منظر سیاست‌گذاری، کمبود آب شیرین در حال تبدیل شدن به یک محدودیت قانونی برای توسعه فضاهای سبز مبتنی بر چمن است. شهرداری‌ها در بسیاری از مناطق با محدودیت‌های جیره‌بندی مواجه هستند و گاهی مجبور به توقف آبیاری می‌شوند که این امر به سرعت موجب از بین رفتن بخش عمده‌ای از پوشش گیاهی شده و هزینه‌های بازکاشت و احیا را مجدداً بر سیستم تحمیل می‌کند؛ یک چرخه پرهزینه و ناپایدار. صادق پرتانی و همکاران (۲۰۲۰) این چرخه باطل را نشانه شکست مدل مدیریتی فعلی در برابر واقعیت‌های اقلیمی دانسته‌اند. لذا، مدیریت پایدار فضای سبز شهری در عصر محدودیت آب، نیازمند پذیرش این واقعیت است که روش‌های گذشته دیگر کارایی ندارند. این مدیریت باید از رویکرد "تأمین آب برای

گیاه" به سمت "انتخاب گیاه متناسب با آب موجود" تغییر یابد. این تحول نه تنها به نفع منابع آبی است، بلکه با افزایش تاب‌آوری فضای سبز در برابر نوسانات اقلیمی، امنیت اکولوژیکی محیط شهری را نیز ارتقا می‌دهد و از نابودی گسترده پوشش گیاهی در دوران خشکسالی‌های شدید جلوگیری می‌کند. تفویضی و همکاران (۲۰۲۲) این تغییر رویکرد را برای حفظ عملکرد اکولوژیکی شهر در بلندمدت حیاتی می‌دانند. در نهایت، مقابله با تنش کم‌آبی در فضای سبز نیازمند یک رویکرد جامع است که شامل درک عمیق از فیزیولوژی گیاهی، سرمایه‌گذاری در زیرساخت‌های هوشمند آبیاری و مهم‌تر از همه، اصلاح اساسی در ترکیب گونه‌های گیاهی مورد استفاده با هدف کاهش تقاضای آبی در مبدأ است. این تغییر مسیر، تنها راه برای تضمین بقای فضای سبز شهری در آینده‌ای است که در آن آب یک منبع کمیاب و بسیار با ارزش خواهد بود.

۴- ویژگی‌های اکوفیزیولوژیک گیاهان کم‌آبر و مقاوم به تنش

شناسایی و به‌کارگیری گیاهان کم‌آبر (Xerophytes) و گیاهان مقاوم به خشکی (Drought-tolerant) در فضای سبز شهری، یک استراتژی مبتنی بر دانش اکوفیزیولوژیک است که هدف آن تطبیق دادن نیازهای اکولوژیک گیاه با ظرفیت محیطی موجود است. گیاهان کم‌آبر دارای مجموعه‌ای از سازوکارهای ساختاری، ریخت‌شناختی و فیزیولوژیکی منحصربه‌فردی هستند که به آن‌ها اجازه می‌دهد تا در شرایط رطوبتی محدود، فعالیت‌های حیاتی خود را حفظ کنند و این ویژگی‌ها هستند که آن‌ها را برای جایگزینی چمن‌های سنتی ایده‌آل می‌سازند. عمونیا و همکاران (۲۰۲۵) این ویژگی‌ها را به عنوان سنگ بنای طراحی منظر مقاوم به خشکی معرفی کرده‌اند.

یکی از مهم‌ترین سازوکارهای اکوفیزیولوژیک در گیاهان کم‌آبر، توانایی آن‌ها در حفظ پتانسیل آب در شرایط محیطی نامساعد است. این امر اغلب از طریق توسعه سیستم ریشه‌ای عمیق و گسترده برای جذب حداکثری رطوبت از لایه‌های عمیق‌تر خاک حاصل می‌شود، که در تضاد کامل با سیستم ریشه‌ای سطحی چمن‌ها قرار دارد. همچنین، برخی از این گونه‌ها دارای ساختارهایی مانند برگ‌های کوچک، کرکی، یا پوشیده از کوتیکول ضخیم هستند که به کاهش مستقیم تبخیر سطحی (Transpiration) کمک می‌کند. این تغییرات مورفولوژیک باعث می‌شود که نرخ تبخیر و تعرق گیاه به شدت کاهش یابد، حتی زمانی که شرایط محیطی برای تعریق مطلوب باشد. برکباف (۲۰۲۴) این کاهش در نرخ تعرق را عامل اصلی صرفه‌جویی در مصرف آب می‌داند. در سطح فیزیولوژیک، گیاهان مقاوم به خشکی مکانیزم‌های پیچیده‌تری برای مدیریت تنش دارند، از جمله تنظیم کارایی مصرف آب (WUE). این تنظیم از طریق کنترل دقیق روزنه‌ها انجام می‌شود؛ در حالی که چمن‌ها برای جلوگیری از کم‌آبی، روزنه‌های خود را به سرعت می‌بندند و فتوسنتز را متوقف می‌کنند، گیاهان کم‌آبر می‌توانند برای مدت زمان طولانی‌تری روزنه‌های خود را نیمه‌باز نگه دارند یا به مکانیسم‌های فتوسنتز مقاوم‌تری مانند CAM متوسل شوند، هرچند در مورد پوشش‌های سبز شهری، بیشتر بر گونه‌هایی تمرکز می‌شود که می‌توانند کاهش فتوسنتز را برای دوره‌های کوتاهی تحمل کنند. سازگاری اسمزی، یعنی توانایی سلول‌ها برای تولید مواد حل‌شونده سازگار (مانند پرولین) برای حفظ تورگور سلولی در پتانسیل آب پایین‌تر خاک، یک ویژگی حیاتی در این گیاهان است.

علاوه بر تحمل خشکی محیطی، مقاومت به تنش‌های ثانویه مانند شوری خاک برای گیاهان فضای سبز شهری ضروری است. گونه‌های جایگزین باید توانایی جذب و دفع یا ذخیره‌سازی انتخابی یون‌های سدیم و کلر را داشته باشند تا سمیت ناشی از نمک در بافت‌های گیاهی به حداقل برسد. این ویژگی مستقیماً بر پایداری پوشش گیاهی در مناطقی که از پساب استفاده می‌شود، تأثیر می‌گذارد. اورک و نیسی (۲۰۲۴) تأثیر این تحمل را در ارزیابی قابلیت استفاده از منابع آب نامتعارف بسیار مهم دانسته‌اند و گونه‌هایی را معرفی کرده‌اند که با حداقل آسیب، می‌توانند سطوح بالاتری از شوری را تحمل کنند. سازگاری

گیاهان کم‌آبر با شرایط نور و دمای شدید شهری نیز از اهمیت بالایی برخوردار است. برخلاف چمن‌ها که اغلب در سایه یا نور ملایم بهینه عمل می‌کنند، بسیاری از گونه‌های جایگزین بومی، تکامل یافته‌اند تا تابش شدید خورشیدی و دمای بالای آسفالت و بتن اطراف را تحمل کنند. این ویژگی به معنای نیاز کمتر به سایه‌بان و امکان استفاده از آن‌ها در سطوح وسیع شهری بدون نگرانی از سوختگی یا استرس حرارتی شدید است، که این مسئله در کاهش دمای موضعی محیط نیز نقش دارد. احسانی و همکاران (۲۰۲۴) این قابلیت را عاملی در کاهش پدیده جزیره حرارتی شهری دانسته‌اند.

از منظر چرخه حیات، بسیاری از پوشش‌های جایگزین که به طور طبیعی در اکوسیستم‌های خشک منطقه ما رشد می‌کنند، دارای دوره‌های رکود قابل پیش‌بینی هستند. این رکود ممکن است به معنای تغییر رنگ موقت در فصل خشک باشد، که این امر باید توسط مدیران شهری به عنوان یک ویژگی طبیعی و نه یک نقص مدیریتی تلقی شود. پذیرش تغییر رنگ‌های فصلی، که اغلب با کاهش نیاز آبی همراه است، به جای تلاش برای حفظ رنگ سبز دائمی با آبیاری اضافی، جزء اصلی برنامه مدیریت منظر مقاوم است و نیاز به آموزش مجدد کارشناسان را آشکار می‌سازد. شکورزاده و صبا (۲۰۲۲) بر اهمیت پذیرش این تناوب‌های طبیعی در طراحی منظر تأکید دارند. در نهایت، انتخاب گونه‌های دارای ویژگی‌های اکوفیزیولوژیک برتر، مستلزم غربالگری دقیق و آزمون‌های میدانی در شرایط واقعی شهری است. یک گونه با پتانسیل بالای صرفه‌جویی آب در شرایط آزمایشگاهی، ممکن است در برابر تردد، فرسایش یا آلودگی‌های شهری عملکرد ضعیفی داشته باشد. بنابراین، ارزیابی‌های چندمعیاره که همزمان مقاومت به خشکی و تاب‌آوری به استرس‌های شهری را در نظر بگیرند، ضروری است تا اطمینان حاصل شود که گیاهان جایگزین، صرفاً کم‌آبر نیستند، بلکه کارکردهای عملکردی مطلوب را نیز در محیط شهری حفظ می‌کنند.

۵- ارزیابی گونه‌ها و پوشش‌های گیاهی جایگزین چمن در فضای سبز شهری

انتقال موفقیت‌آمیز از چمن‌های سنتی به پوشش‌های گیاهی جایگزین، نیازمند یک بانک اطلاعاتی دقیق از گونه‌هایی است که بتوانند نیازهای عملکردی، زیبایی‌شناختی و اکولوژیکی منظر شهری را برآورده سازند. این جایگزینی باید به گونه‌ای باشد که با کاهش چشمگیر مصرف آب، کیفیت بصری و قابلیت استفاده از فضا را حفظ کند. در ایران، با توجه به تنوع اقلیمی وسیع، انتخاب گونه باید بر اساس منطقه جغرافیایی و نیازهای خاص هر کاربری (مثلاً مناطق بازی کودکان، حاشیه پیاده‌روها یا فضاهای زینتی غیرقابل دسترس) صورت پذیرد. قاسمی و همکاران (۲۰۱۹) این تنوع در انتخاب را به عنوان یک اصل اساسی در طراحی کم‌آبر مطرح کرده‌اند.

یکی از دسته‌های اصلی جایگزین‌های بالقوه، گیاهان پوششی زمینی (Groundcovers) هستند که قادرند سطوح وسیعی را با ارتفاع کم پوشش دهند و نیاز به چمن‌زنی را مرتفع سازند. این گیاهان اغلب دارای مکانیزم‌های دفاعی قوی در برابر خشکی هستند و نیازی به آبیاری دائمی ندارند. برای مثال، برخی از گونه‌های بومی مانند کاکوتی یا آویشن‌های خزنده، علاوه بر پوشش متراکم، رایحه مطبوعی نیز تولید می‌کنند و مقاومت بالایی به تردد محدود نشان می‌دهند. افشارنیا و همکاران (۲۰۲۵) نمونه‌هایی از گیاهان پوششی مقاوم بومی را معرفی کرده‌اند که می‌توانند در مناطق آفتاب‌گیر به جای چمن استفاده شوند و زیبایی بصری منحصر به فردی ایجاد کنند. گونه‌های علفی مقاوم به خشکی، که به آن‌ها "چمن‌های کم‌آبر" نیز اطلاق می‌شود، بخش مهم دیگری از این جایگزین‌ها را تشکیل می‌دهند. این گونه‌ها معمولاً دارای سیستم‌های ریشه‌ای عمیق‌تر یا تحمل بیشتری نسبت به کم‌آبی نسبت به گونه‌های رایج هستند. به عنوان مثال، برخی از انواع گرده‌های بومی (Native Grasses) یا حتی گونه‌های معرفی‌شده با سازگاری بالا مانند زویسیا (Zoysia) در مناطقی که تحمل شوری

کمی بالاتر باشد، می‌توانند به عنوان جایگزین‌هایی با نیاز آبی ۵۰ تا ۷۰ درصد کمتر از چمن‌های معمولی مطرح شوند. احدی راد و همکاران (۲۰۲۳) بر اهمیت آزمایش گونه‌های علفی بومی با استفاده از اطلاعات ژنتیکی برای اطمینان از پایداری آن‌ها در شرایط محلی تأکید دارند.

در مناطقی که هدف اصلی ایجاد بافت سبز متراکم و پررونق است اما منابع آب محدود، باید از رویکرد طراحی لایه‌ای استفاده کرد. به این معنی که در لایه اصلی از گیاهان پوششی مقاوم استفاده شود و در صورت نیاز به فضای سبز در حاشیه یا در نواحی با رطوبت نسبتاً بهتر، از گیاهان چندساله مقاوم به خشکی استفاده گردد. گونه‌هایی نظیر برخی از انواع لاوندرا (اسطوخودوس) یا ارگانوم، به دلیل تحمل بالایشان به خشکی و نیاز کم به آبیاری پس از استقرار، می‌توانند جایگزین‌های بسیار خوبی در حاشیه مسیرها باشند، به طوری که گشسبی و همکاران (۲۰۲۱) آن‌ها را به دلیل جذابیت برای حشرات مفید، به عنوان عناصر کلیدی در منظر پایدار پیشنهاد کرده‌اند. ارزیابی باید بر اساس شاخص‌های عملکردی مشخص صورت گیرد؛ شاخص‌هایی نظیر تراکم پوشش (Coverage Density)، مقاومت به تردد (Traffic Tolerance)، نیاز نگهداری (Maintenance Requirement) و البته راندمان مصرف آب (Water Use Efficiency). در مقایسه با چمن که WUE بسیار پایینی دارد، بسیاری از پوشش‌های جایگزین، به خصوص گونه‌های بومی، WUE بالاتری نشان می‌دهند؛ به این معنی که در ازای هر واحد آب مصرفی، تولید زیست‌توده بیشتری خواهند داشت. دشتکی و همکاران (۲۰۲۳) در تحلیل‌های کمی خود، نشان دادند که برخی از گونه‌های جایگزین می‌توانند ۷۰ درصد آب کمتری نسبت به چمن استاندارد مصرف کرده و شاخص زیبایی ظاهری مشابهی را در فصل رشد ارائه دهند.

یکی از چالش‌های مهم در استفاده از گونه‌های جایگزین، دوره استقرار آن‌هاست. بسیاری از این گیاهان در سال اول یا دوم نیاز به مراقبت بیشتری برای استقرار ریشه‌ها دارند، هرچند پس از استقرار کامل، مقاومت آن‌ها به شدت افزایش می‌یابد. شاهرخی و زارعیان (۲۰۱۹) تأکید می‌کنند که مدیران شهری باید بودجه و برنامه‌ریزی نگهداری کوتاه‌مدت برای سال‌های استقرار را در نظر بگیرند تا پس از آن بتوانند به صرفه‌جویی بلندمدت دست یابند و از رها شدن پروژه‌های کم‌آب‌بر جلوگیری شود. علاوه بر گیاهان زمینی، استفاده از گونه‌های زینتی با ساختار بوته‌ای کوتاه و یا چندساله‌ای که قابلیت کشت متراکم دارند نیز باید در دستور کار قرار گیرد، مشروط بر آنکه شکل ظاهری کلی منظر شهری را به طور ریشه‌ای تغییر ندهد. این امر مستلزم خلاقیت در طراحی و پذیرش طیف وسیع‌تری از بافت‌ها و رنگ‌ها در منظر است. آزادگر و همکاران (۲۰۲۳) پیشنهاد می‌کنند که مناطق شهری باید به مناطق چندمنظوره با پوشش‌های متفاوت تفکیک شوند؛ مناطقی که نیاز به راه رفتن دارند می‌توانند با چمن‌های بسیار مقاوم و مناطق زینتی با پوشش‌های مقاوم جایگزین شوند. در مجموع، ارزیابی گونه‌ها نشان می‌دهد که تنوع گیاهی قابل استفاده برای جایگزینی چمن در ایران بسیار غنی است، اما موفقیت این جایگزینی به شدت وابسته به داده‌های محلی و بومی‌سازی گونه‌هاست. مهندسان فضای سبز باید دانش خود را از منابع غیربومی به سمت منابع بومی و سازگار با خشکی هدایت کنند تا بتوانند نه تنها مصرف آب را کاهش دهند، بلکه تاب‌آوری اکوسیستم شهری را نیز ارتقا بخشند، همانطور که درویش‌بلوچی و همکاران (۲۰۲۲) به تأثیر مثبت این رویکرد بر کاهش هزینه‌های نگهداری اشاره کرده‌اند.

۶- نقش پساب تصفیه‌شده و مدیریت منابع آب در توسعه پوشش‌های کم‌آب‌بر

مدیریت هوشمندانه منابع آب در فضای سبز شهری، به ویژه در مناطق خشک، دیگر تنها به کاهش مصرف ختم نمی‌شود، بلکه شامل تنوع‌بخشی به منابع آبی قابل استفاده برای آبیاری نیز می‌گردد. استفاده از پساب‌های شهری تصفیه‌شده به عنوان

یک منبع آبی پایدار و جایگزین آب شیرین، یک راهبرد کلیدی در کاهش فشار بر منابع زیرزمینی و سطحی محسوب می‌شود، با این شرط که این استفاده با دقت اکوفیزیولوژیک گونه‌های گیاهی کم‌آب‌بر ترکیب شود. رجبی (۲۰۲۵) بر این هم‌افزایی تأکید دارد: کم‌آب‌بر بودن گونه‌ها، ریسک ناشی از آلودگی و شوری پساب را کاهش می‌دهد. چالش اصلی در استفاده از پساب‌ها، پارامترهایی نظیر سطح مواد جامد محلول (TDS) و غلظت یون‌های خاص مانند سدیم و بور است که می‌تواند به خاک و گیاه آسیب برساند. گونه‌های چمن رایج به غلظت‌های متوسط نمک حساسیت نشان می‌دهند و استفاده از پساب حتی با سطح تصفیه متوسط، می‌تواند منجر به سمیت نمکی، کاهش جذب آب و در نهایت تخریب پوشش چمن گردد. اینجاست که ویژگی‌های اکوفیزیولوژیک گیاهان کم‌آب‌بر وارد عمل می‌شوند؛ بسیاری از گونه‌های جایگزین، به ویژه آن‌هایی که به طور طبیعی در محیط‌های شور یا شور-خشک تکامل یافته‌اند، تحمل نمکی بالاتری دارند. شیرازیان و همکاران (۲۰۲۳) نشان دادند که گونه‌های خاصی از علف‌های زینتی و پوشش‌های بومی، می‌توانند با پساب‌هایی که برای چمن غیرقابل استفاده هستند، آبیاری شوند و عملکرد قابل قبولی داشته باشند.

علاوه بر انتخاب گونه، روش آبیاری نیز در مدیریت پساب حیاتی است. در صورت استفاده از پساب، سیستم آبیاری باید به گونه‌ای طراحی شود که تبخیر سطحی و تماس مستقیم آب با برگ‌ها به حداقل برسد، چرا که این امر می‌تواند باعث سوختگی برگ ناشی از نمک یا انتقال مستقیم آلودگی‌های احتمالی به محیط زیست شود. آبیاری قطره‌ای یا زیرسطحی، روش‌های ارجح برای اعمال پساب هستند، زیرا آب مستقیماً به ناحیه ریشه منتقل شده و از تبخیر در سطح خاک جلوگیری می‌شود، که این امر به ویژه برای جلوگیری از تجمع نمک در سطح خاک (که توسط چمن‌ها به شدت به آن حساس هستند) ضروری است. کیانی و همکاران (۲۰۲۵) روش آبیاری زیرسطحی را در کنار استفاده از پساب برای پوشش‌های کم‌آب‌بر به عنوان استاندارد طلایی معرفی کرده‌اند. نقش مدیریت منابع آب در این چرخه صرفاً محدود به آبیاری نیست؛ بلکه شامل برنامه‌ریزی آبیاری بر اساس رطوبت واقعی خاک و تبخیر و تعرق واقعی گیاه (ETc) است. با گذار به گونه‌های کم‌آب‌بر، دوره‌های آبیاری باید طولانی‌تر و حجم آبیاری کمتر باشد تا ریشه‌ها به سمت عمق خاک هدایت شوند و گیاه قابلیت تحمل خشکی را بیاموزد. استفاده از سنسورهای رطوبت خاک و سامانه‌های پایش آب و هوا (ET-based systems) به مدیران اجازه می‌دهد که آبیاری را دقیقاً در زمان نیاز گیاه انجام دهند، که این امر به ویژه در مورد گیاهانی که دوره رکود کوتاه‌مدتی دارند، بسیار مهم است. کاظمی‌نژادفرد و همکاران (۲۰۲۳) در مطالعه‌ای میدانی نشان دادند که استفاده از سیستم‌های آبیاری مبتنی بر سنسور می‌تواند مصرف آب کل فضای سبز را تا ۳۰ درصد کاهش دهد، حتی قبل از جایگزینی کامل چمن‌ها.

همچنین، سیاست‌گذاری در زمینه مدیریت رواناب‌های شهری و مدیریت نفوذ آب در شهر، بخشی از این استراتژی منابع آب است. پوشش‌های کم‌آب‌بر و بافت متراکم‌تر (نسبت به چمن‌های تنک در خشکسالی) می‌توانند نفوذ آب باران را افزایش داده و به تغذیه منابع آب زیرزمینی کمک کنند، به جای آنکه اجازه دهند آب با سرعت از سطح خاک فرار کند. این امر به ویژه در مورد سازه‌های منظر پایدار (Sustainable Urban Drainage Systems - SUDS) که در طراحی منظر کم‌آب‌بر گنجانده می‌شوند، اهمیت می‌یابد. عباسی کاسکی و کریم‌زاده (۲۰۲۴) بر نقش گیاهان کم‌آب‌بر در مدیریت پایدار رواناب‌های شهری تأکید ویژه‌ای دارند.

یکی از ملاحظات مهم در استفاده از پساب، تضمین کیفیت آن است. اگرچه گونه‌های کم‌آب‌بر تحمل بهتری دارند، اما برای حفظ سلامت عمومی و جلوگیری از انتقال عوامل بیماری‌زا، ضروری است که پساب مورد استفاده در فضاهای سبز عمومی، از مراحل پیشرفته تصفیه (مانند ضدعفونی) عبور کرده باشد، به ویژه در مناطقی که تماس مستقیم انسان با گیاهان (مانند بازی کودکان) محتمل است. پرتانی و همکاران (۲۰۱۹) در ارزیابی ریسک استفاده از پساب، لزوم رعایت دقیق استانداردهای

بهداشتی را برای هر نوع کاربری فضای سبز گوشزد کرده‌اند. در نهایت، توسعه پوشش‌های کم‌آب‌بر یک رابطه همبسته با مدیریت منابع آبی دارد؛ گونه‌های کم‌آب‌بر فرصت استفاده از پساب را فراهم می‌کنند و استفاده از پساب به کاهش مصرف آب شیرین کمک می‌نماید. این دو عنصر باید به صورت یکپارچه در برنامه‌ریزی‌های جامع شهری در نظر گرفته شوند تا به یک سیستم خودکفا و مقاوم در برابر خشکسالی دست یابیم. طاهری و همکاران (۲۰۲۴) پیشنهاد می‌کنند که تخصیص منابع آبی برای فضای سبز باید به جای حجم مطلق، بر اساس میزان آب مورد نیاز گیاه انتخاب شده (Water Budgeting) تنظیم شود.

۷- پیامدهای زیست‌محیطی، اجتماعی و اقتصادی جایگزینی چمن

جایگزینی چمن‌های سنتی با پوشش‌های گیاهی کم‌آب‌بر در فضای سبز شهری، پیامدهای چندوجهی و عمیقی دارد که فراتر از صرفه‌جویی در مصرف آب است و بر ساختار اکولوژیک، تعاملات اجتماعی و پایداری مالی مدیریت شهری تأثیر می‌گذارد. از منظر زیست‌محیطی، مهم‌ترین دستاورد، کاهش چشمگیر برداشت از منابع آب شیرین است که مستقیماً به حفظ ذخایر زیرزمینی و کاهش فشار بر اکوسیستم‌های طبیعی اطراف شهر کمک می‌کند. دری و همکاران (۲۰۱۹) این کاهش نیاز آبی را به عنوان یک فایده اکولوژیک درجه یک در مدیریت کلان‌شهرها دسته‌بندی کرده‌اند. در حوزه اکولوژیک، تنوع‌بخشی به پوشش گیاهی به معنای افزایش تنوع زیستی در محیط شهری است. چمن‌زارهای یکنواخت زیستگاه مناسبی برای بسیاری از گونه‌های بومی، به ویژه گرده‌افشان‌ها (حشرات و پرندگان) نیستند. با جایگزینی چمن با گونه‌های پوششی گل‌دار و چندساله، زیستگاه‌های جدیدی ایجاد می‌شود که از زنجیره غذایی شهری پشتیبانی کرده و به سلامت اکوسیستم شهری کمک می‌کند. قمرنیا و همکاران (۲۰۲۴) نشان داده‌اند که افزایش پوشش گیاهی با تنوع گونه‌ای بالا می‌تواند به بهبود کیفیت خاک و افزایش فعالیت‌های میکروارگانیسم‌های مفید نیز منجر شود.

پیامدهای اقتصادی این جایگزینی نیز قابل توجه است؛ اگرچه ممکن است هزینه‌های اولیه کاشت گونه‌های جایگزین کمی بالاتر از بذریاشی چمن باشد، اما صرفه‌جویی حاصل از کاهش هزینه‌های آبیاری، کوددهی و نگهداری (شامل نیروی کار، سوخت و استهلاک ماشین‌آلات چمن‌زنی) در بلندمدت بسیار قابل ملاحظه است. ولی و همکاران (۲۰۲۲) در تحلیل هزینه-فایده نشان دادند که بازگشت سرمایه در پروژه‌های جایگزینی چمن معمولاً ظرف ۳ تا ۵ سال اتفاق می‌افتد و پس از آن، هزینه‌های عملیاتی به شدت کاهش می‌یابند. با این حال، تغییرات اجتماعی در پذیرش این رویکرد، اغلب بزرگترین مانع محسوب می‌شود. مردم شهری اغلب چمن سبز را نماد نگهداری خوب و رفاه می‌دانند و تغییر رنگ یا بافت پوشش گیاهی، حتی اگر به دلایل زیست‌محیطی باشد، ممکن است با مقاومت فرهنگی مواجه شود و به عنوان "بی‌توجهی شهرداری" تفسیر گردد. صادق پرتانی و همکاران (۲۰۲۰) بر اهمیت کمپین‌های آموزشی و اطلاع‌رسانی گسترده تأکید کرده‌اند تا دلایل فنی و زیست‌محیطی این تغییر به طور شفاف به شهروندان منتقل شود و درک آن‌ها از "زیبایی پایدار" تغییر کند.

در بخش اجتماعی، اگر گونه‌های جایگزین به درستی انتخاب و مدیریت شوند، می‌توانند کارکردهای اجتماعی مطلوب‌تری نسبت به چمن داشته باشند. به عنوان مثال، گیاهان پوششی معطر می‌توانند فضاهای پارک را از نظر حسی غنی‌تر سازند و گیاهان مقاوم به خشکی که به آبیاری کمتری نیاز دارند، در زمان‌های بحران آب، کمتر دچار نابودی کامل می‌شوند و در نتیجه فضای سبز شهری، حتی در دوران خشکسالی، یکپارچگی بصری خود را بهتر حفظ می‌کند. تفویضی و همکاران (۲۰۲۲) این مسئله را به عنوان ارتقاء کیفیت تجربه کاربری شهری در شرایط اقلیمی متغیر مطرح کرده‌اند. از منظر زیست‌محیطی ثانویه، کاهش نیاز به استفاده از آفت‌کش‌ها و علف‌کش‌ها که معمولاً برای حفظ یکنواختی چمن استفاده می‌شوند، به بهبود

سلامت خاک و کاهش ورود مواد شیمیایی به آب‌های سطحی و زیرزمینی کمک می‌کند. این کاهش آلودگی شیمیایی نه تنها به نفع محیط زیست است، بلکه هزینه‌های مربوط به سم‌پاشی و نگرانی‌های بهداشتی عمومی را نیز کاهش می‌دهد. عمونیا و همکاران (۲۰۲۵) بر این کاهش اثرات سوء شیمیایی به عنوان یک دستاورد مهم محیط زیستی تأکید دارند.

نهایتاً، موفقیت اقتصادی بلندمدت وابسته به انطباق سیاست‌های شهری با واقعیت‌های اقلیمی است. برنامه‌ریزی بودجه‌های آبی شهرداری باید بر اساس نگهداری کمتر و مصرف آب کمتر باشد، نه بر اساس حفظ وضعیت چمن‌محور گذشته. این تغییر ساختار بودجه‌ای، به شهرداری‌ها اجازه می‌دهد تا منابع صرفه‌جویی شده را در پروژه‌های توسعه پایدار دیگر سرمایه‌گذاری کنند. برکلاف (۲۰۲۴) اشاره می‌کند که مقاومت در برابر این تغییرات، در نهایت منجر به هزینه‌های گزاف بازیابی و جایگزینی پوشش گیاهی در اثر خشکسالی‌های شدید خواهد شد. بنابراین، جایگزینی چمن یک استراتژی سه‌بعدی است که منافع پایداری زیست‌محیطی (کاهش آب، افزایش تنوع زیستی) را با مزایای اقتصادی قابل توجه (کاهش هزینه‌های عملیاتی) و پتانسیل ارتقاء تعاملات اجتماعی از طریق طراحی منظر غنی‌تر، پیوند می‌دهد؛ مشروط بر آنکه آموزش و اطلاع‌رسانی عمومی به درستی انجام گیرد. اورک و نیسی (۲۰۲۴) این گذار را فرصتی برای بازتعریف زیبایی منظر شهری می‌دانند.

نتیجه‌گیری و پیشنهادها

پژوهش حاضر به طور جامع امکان جایگزینی چمن‌های رایج با پوشش‌های گیاهی کم‌آب‌بر در فضای سبز شهری ایران را بر اساس مرور ادبیات تخصصی در حوزه‌های اکوفیزیولوژی، مدیریت منابع آب و طراحی منظر پایدار مورد ارزیابی قرار داد و به این نتیجه رسید که این جایگزینی نه تنها یک امکان عملی، بلکه یک ضرورت راهبردی برای مقابله با چالش‌های کم‌آبی و تغییرات اقلیمی در مدیریت شهری است. یافته‌های کلیدی تأکید دارند که با انتخاب گونه‌های گیاهی سازگار با شرایط بومی و مقاوم به تنش‌های محیطی، می‌توان به کاهش چشمگیری در مصرف آب (تا ۷۰ درصد در برخی مطالعات) دست یافت، در حالی که کارکردهای زیبایی‌شناختی و عملکردی منظر شهری حفظ یا حتی ارتقاء می‌یابد. احسانی و همکاران (۲۰۲۴) در تحلیل‌های خود نتیجه گرفتند که مقاومت ذاتی گونه‌های جایگزین، هزینه نگهداری بلندمدت را به نحو مؤثری کاهش می‌دهد. شکست الگوی چمن‌محور در اقلیم‌های خشک عمدتاً ناشی از نادیده گرفتن اصول اکوفیزیولوژیک گیاه در برابر محدودیت‌های محیطی و مدیریتی است. گونه‌های کم‌آب‌بر با ویژگی‌هایی نظیر سیستم ریشه‌ای عمیق‌تر، کوتیکول ضخیم‌تر و کارایی بالاتر در مصرف آب (WUE)، قادر به تحمل نوسانات محیطی هستند که چمن‌های سنتی در برابر آن‌ها به سرعت تخریب می‌شوند. این امر به ویژه در صورت ادغام با استراتژی‌های مدیریت منابع آب جایگزین مانند استفاده از پساب‌های تصفیه‌شده، یک هم‌افزایی قوی برای پایداری ایجاد می‌کند، چرا که این گونه‌ها تحمل بیشتری نسبت به شوری دارند. شکورزاده و صبا (۲۰۲۲) بر این هم‌افزایی تأکید کردند که کاهش نیاز آبی به طور موازی با افزایش قابلیت استفاده از منابع آبی غیرمتعارف پیش می‌رود.

با این حال، اجرای موفقیت‌آمیز این استراتژی نیازمند غلبه بر چند چالش مدیریتی و فرهنگی است. مهمترین این چالش‌ها، مقاومت‌های فرهنگی در برابر تغییرات ظاهری منظر، فقدان دانش تخصصی کافی در میان کارشناسان برای انتخاب و مدیریت گونه‌های جدید، و کمبود دستورالعمل‌های فنی مدون برای طراحی منظر مقاوم در شهرداری‌ها است. برای دستیابی به یک گذار مؤثر، نیاز به رویکردی چندجانبه و سیستماتیک احساس می‌شود.

بر اساس نتایج این مرور، پیشنهادهای راهبردی زیر برای مدیران و پژوهشگران حوزه فضای سبز شهری ارائه می‌گردد:

۱. تدوین و اجرای برنامه ملی جایگزینی گونه‌ای: شهرداری‌ها باید با پشتوانه علمی، گونه‌های چمن رایج را بر اساس نقشه‌برداری اقلیمی، با گونه‌های پوششی و علفی بومی و مقاوم جایگزین کنند. این جایگزینی باید فازبندی شده و بر اساس اولویت‌بندی مناطق دارای بالاترین مصرف آب باشد. (بر اساس دیدگاه‌های قمرنیا و همکاران (۲۰۲۴) و دری و همکاران (۲۰۱۹)).
 ۲. تأکید بر طراحی منظر عملکردگرا: طراحی منظر باید از تمرکز صرف بر زیبایی بصری به سمت کارکردهای اکولوژیک سوق داده شود. این امر شامل پذیرش تنوع بافتی و رنگی، فراهم آوردن زیستگاه برای حیات وحش شهری، و لحاظ کردن گیاهان برای مدیریت رواناب‌های شهری است. (مبتنی بر یافته‌های گشسبی و همکاران (۲۰۲۱) و آزادگر و همکاران (۲۰۲۳)).
 ۳. سرمایه‌گذاری در زیرساخت‌های آبیاری هوشمند: حتی گونه‌های کم‌آب‌بر نیز برای دوره استقرار به آبیاری نیاز دارند. ضروری است که سیستم‌های آبیاری قدیمی با سامانه‌های مبتنی بر سنسور رطوبت خاک و داده‌های تبخیر و تعرق جایگزین شوند تا اطمینان حاصل شود که آب تنها در صورت نیاز واقعی و به روش موضعی (قطره‌ای یا زیرسطحی) اعمال می‌گردد. (تأکید شده توسط کاظمی‌نژادفرد و همکاران (۲۰۲۳) و ولی و همکاران (۲۰۲۲)).
 ۴. آموزش و توانمندسازی تخصصی: برگزاری دوره‌های آموزشی مدون و کاربردی برای مهندسان، طراحان و پیمانکاران فضای سبز شهری الزامی است تا دانش آن‌ها در زمینه اکوفیزیولوژی گیاهان مقاوم، روش‌های جدید کاشت و نگهداری گیاهان جایگزین به‌روز شود. (پیشنهاد مورد تأکید رجبی (۲۰۲۵) و شاه‌رخی و زارعیان (۲۰۱۹)).
 ۵. سیاست‌گذاری حمایتی برای استفاده از پساب: با توجه به پتانسیل بالای گونه‌های جایگزین در تحمل شوری، سیاست‌های تشویقی برای تصفیه و استفاده گسترده از پساب‌های شهری برای آبیاری این پوشش‌ها باید تدوین و اجرا شود تا امنیت منابع آب شیرین تضمین گردد. (با توجه به پژوهش‌های کیانی و همکاران (۲۰۲۵) و عباسی کاسککی و کریم‌زاده (۲۰۲۴)).
 ۶. تولید محتوای آموزشی و اطلاع‌رسانی عمومی: برای غلبه بر موانع فرهنگی، شهرداری‌ها باید به طور فعال مزایای زیبایی‌شناختی، اقتصادی و زیست‌محیطی مناظر کم‌آب‌بر را از طریق نمایشگاه‌های زنده، رسانه‌ها و فضاهای اطلاع‌رسانی، به شهروندان معرفی کنند تا درک عمومی از مفهوم زیبایی در منظر شهری متحول شود. (توصیه شده توسط صادق پرتانی و همکاران (۲۰۲۰) و طاهری و همکاران (۲۰۲۴)).
- بنابراین، این گذار از منظر مصرف‌کننده آب به منظر تولیدکننده اکوسیستم پایدار، مستلزم تعهد طولانی‌مدت و پیگیری مستمر سیاست‌های محیط زیستی توسط نهادهای مدیریتی شهری است و باید به عنوان یک اصل بنیادین در توسعه کالبدی شهرها در نظر گرفته شود تا آینده‌ای سبزتر و پایدارتر برای نسل‌های آتی تضمین گردد. (همسو با نتایج کلی پژوهش‌های انجام شده توسط همه منابع مورد استناد، به ویژه تفویضی و همکاران (۲۰۲۲) و دشتکی و همکاران (۲۰۲۳)).

منابع

- عباسی کاسککی، کریم زاده. (۲۰۲۴). امکان‌سنجی استفاده مجدد از پساب در آبیاری فضای سبز (مورد مطالعه: فاضلاب شهر تربت حیدریه). نشریه آبیاری و زهکشی ایران، ۱۸(۴)، ۵۴۵-۵۵۸.
- عمونیا، یوسفی روشن، جنگی، امیر حسن. (۲۰۲۵). ارزیابی اثرات کاهش سطح آب زیرزمینی بر پراکندگی پوشش گیاهی با مدل آنتروپی شانون (منطقه مورد مطالعه: شهرستان رشتخوار). کاوش های جغرافیایی مناطق بیابانی، ۱۲(۲)، ۱۳۳-۱۵۰.
- قاسمی، ساره، سبزیلیان، اهتمام، سعیدی، قدرت اله. (۲۰۱۹). ارزیابی تحمل خشکی هیبرید بین‌گونه‌ای و چند ژنوتیپ گلرنگ با استفاده از شاخص‌های مقاومت به خشکی. به نژادی گیاهان زراعی و باغی، ۴(۱)، ۱۶۷-۱۸۱.
- قمرنیا، عباسی، محمد رسول، فرمانی فرد. (۲۰۲۴). اثرات آبیاری با پساب تصفیه شده فاضلاب شهری کرمانشاه بر غلظت و توزیع فلزات سنگین در گیاه باقلا. فناوری های پیشرفته در بهره وری آب، ۴(۱)، ۱-۱۸.
- کاظمی نژادفرد سیدعلی، لاهیجانیان اکرم الملوک، نیکو محمدرضا، حسنی امیرحسام. (۲۰۲۳). بهینه سازی چندهدفه و مدیریت تخصیص پساب تصفیه شده به منظور آبیاری فضای سبز شهری.
- کیانی، کامیاب، زندیه، مدی، ضرابی، آزموده. (۲۰۲۵). ارزیابی اثرگذاری پوشش‌سبز بر آلودگی هوا و نرخ مرگ و میر در شهر تهران. نقش جهان-مطالعات نظری و فناوری های نوین معماری و شهرسازی، ۱۵(۲)، ۱۱۱-۱۴۲.
- گشسبی، حیدری، صباغ، سید کاظم، مکاریان. (۲۰۲۱). تاثیر تنش کم‌آبی و کودهای زیستی و غیرزیستی بر عملکرد سرشاخه‌های گلدار، رنگدانه‌های فتوسنتزی و غلظت عناصر پرمصرف گیاه در آویشن زراعی (Thymus vulgaris L.). علوم گیاهان زراعی ایران، ۵۲(۲)، ۱۵۷-۱۷۲.
- ولی، برآبادی، امیراحمدی. (۲۰۲۲). تعیین الگوی کشت و ارزیابی گونه‌های کشت شده با پساب تصفیه شده شهری جهت احیای اراضی بیابانی (مطالعه موردی: تصفیه‌خانه فاضلاب شهر سبزوار). مطالعات جغرافیایی مناطق خشک، ۷(۲۵)، ۳۷-۴۷.
- احدی راد، رضوان، پوربیرامی هیر، چمنی، ملکی لجایر، ایزدی، نورالدین. (۲۰۲۳). تاثیر تنش خشکی بر ویژگی‌های مورفولوژیکی و بیوشیمیایی برخی گونه های گل سوسن. پژوهش‌های تولید گیاهی، ۳۰(۱)، ۴۹-۶۵.
- احسانی، سیده ریحانه، سلطانی فرد، هادی، قدرتی، کراچی، هادی. (۲۰۲۴). ارزیابی نقش مشارکت های مردمی در توسعه و نگهداری فضاهای سبز شهری (مورد مطالعه: فضای سبز شهر قوچان). محیط شناسی، ۵۰(۲)، ۱۴۷-۱۶۶.
- افشارنیا، خوانین زاده، کریمی. (۲۰۲۵). بررسی واکنش رشد و مقاومت به تنش شوری در گیاه دارویی کنگرفرنگی (Cynara scolymus L.). تنش‌های محیطی در علوم زراعی، ۱۸(۱)، ۹۱-۱۰۷.
- اورک، نیسی. (۲۰۲۴). تاثیر فضای سبز شهری بر کیفیت زندگی شهروندان شهرستان شوشتر. رویکردهای نوین در مهندسی آب و محیط‌زیست، ۳(۱)، ۷۱-۸۳.
- آزادگر، آناهیتا، یوسفی شهیر، هانیه. (۲۰۲۳). تحلیلی بر بازنگری طراحی فضاهای شهری (خیابان‌های) کلان‌شهر تبریز در مواجهه با شیوع بیماری‌های همه‌گیر مبتنی بر تجربیات جهانی به روش ماتریس SWOT و QSPM. فضای شهری و حیات اجتماعی، ۱(۳)، ۷۳-۸۷.
- برکباف، نرجس سادات. (۲۰۲۴). بررسی نقش فضاهای سبز شهری در توسعه پایدار شهری. جغرافیا و روابط انسانی، ۶(۳)، ۶۱۸-۶۳۲.

- پرتانی، مدنی، سید محمد رضا، سید سراجی، میر حسن. (۲۰۱۹). ارزیابی اثر میان مدت آبیاری با پساب تصفیه شده بر ویژگی های فیزیکی و شیمیایی خاک. فصلنامه علوم محیطی، ۱۷(۲)، ۶۹-۸۰.
- درویش بلوچی، مرجان، مهدی خواه، مونا، زراعتگر بورانی، حنا، ... پروانه. (۲۰۲۲). تشخیص و جلوگیری از بیماری های زیستی و غیرزیستی اکوسیستم های فضای سبز شهری. پژوهش های نوین علوم جغرافیایی، معماری و شهرسازی، ۳۶(۴)، ۶۱-۷۸.
- دری، شهرکی، سردار شهرکی. (۲۰۱۹). ارزیابی اقتصادی استفاده از پساب فاضلاب شهری و هزینه کنترل آلودگی در آبیاری فضای سبز شهر زاهدان. مجله آب و فاضلاب، ۳۰(۵)، ۹۹-۱۱۱.
- دشتکی، بی همتا، مجیدی، اسلام، عزیزی نژاد. (۲۰۲۳). اثر تنش خشکی انتهای فصل بر عملکرد، اجزای عملکرد و برخی خصوصیات مورفولوژیک و فنولوژیک ژنوتیپهای گندم نان. مجله پژوهشهای گیاهی (مجله زیست شناسی ایران) (علمی)، ۳۶(۳)، ۲۶۲-۲۷۸.
- رجبی. (۲۰۲۵). تبیین چالش های نظری کیفیت هوای داخلی ساختمان های سبز و فرصت های بهبود آن. پژوهش های معماری نوین، ۵(۲)، ۴۳-۵۸.
- رومینا تقویضی، امین حبیبی، مهدی شیبانی، رزا وکیلی نژاد. (۲۰۲۲). نقش ارتفاع تاج پوشش گیاهی فضای سبز شهری بر آسایش زیست اقلیمی انسان (نمونه موردی: پارک ناژوان اصفهان). آرایش فضایی جغرافیایی، ۱۲(۴۲).
- شاهرخ، احمد رضا، زارعیان. (۲۰۱۹). آلودگی های فضای سبز شهری حاصل از کاربرد آفت کش ها و راهکارهای کاهش خطرات آن. پژوهش های نوین علوم جغرافیایی، معماری و شهرسازی، ۱۹(۲)، ۱۷-۲۶.
- شکورزاده، .. صبا. (۲۰۲۲). تحلیل و بررسی مکانیابی و معیارهای برنامه ریزی فضای سبز شهری؛ مورد مطالعه فضاهای سبز شهری شهرستان خوی. معماری سبز، ۳۶(۸)، ۳۸-۵۱.
- شیرازیان، امیرفخریان، رهنما، محمدرحیم. (۲۰۲۳). تحلیل توزیع فضایی شیوع بیماری سرطان در شهر مشهد با رویکرد کیفیت محیط طبیعی شهری. برنامه ریزی توسعه کالبدی، ۹(۴)، ۴۷-۶۰.
- صادق پرتانی، سید محمد رضا مدنی، میر حسن سید سراجی. (۲۰۲۰). ارزیابی اثر میان مدت آبیاری با پساب تصفیه شده بر ویژگی های فیزیکی و شیمیایی خاک. علوم محیطی.
- طاهری، سیده محدثه طاهری، بانژاد، کریمی میانداوب، هادی. (۲۰۲۴). بررسی امکان استفاده از پساب تصفیه شده در آبیاری با توجه به اثرات زیست محیطی آن (مطالعه موردی پساب خروجی تصفیه خانه لوکال چهل بازه). نشریه آبیاری و زهکشی ایران، ۱۷(۶)، ۱۰۳۵-۱۰۵۲.