محیط‌شناسی، دورهٔ ۴۰، شمارهٔ ٤، زمستان ۱۳۹۳، صفحهٔ ۱۰۶۶-۱۰۵۱

طراحی منظر دانشگاهی با رویکرد تاب‌آوری در شرایط بحران آب (نمونهٔ موردی: دانشگاه ملایر)

ایمان سعیدی[1]*، حسن دارابی[2]

۱. مربی گروه مهندسی فضای سبز، دانشکدهٔ کشاورزی، دانشگاه ملایر

۲. استادیار گروه مهندسی طراحی محیط، دانشکدهٔ محیط‌زیست، دانشگاه تهران darabih@ut.ac.ir

تاریخ وصول مقاله: ۱۳۹۳/۲/۸ تاریخ پذیرش مقاله: ۱۳۹۳/۶/۸

چکیده

کم‌آبی در بیشتر مناطق ایران مانعی بزرگ در توسعهٔ فضای سبز دانشگاه‌های ایران که در مناطق خشک و نیمه‌خشک قرار دارند، محسوب می‌شود. این مشکل به طور جدی در دانشگاه ملایر نیز دیده می‌شود. دانشگاه ملایر، بر خلاف رشد شتابان فیزیکی خود، از ابتدا در تأمین نیازهای آبی فضای سبز برای توسعه با چالش‌هایی مواجه بوده است. افزایش توان تاب‌آوری (بازگشت‌پذیری) اکولوژیک در مقابل بحران‌ها به ویژه بحران آبی نگرشی کلیدی در فرایند تغییرات اقلیمی به شمار می‌آید. بر این اساس منظر دانشگاه ملایر مبتنی بر رویکرد تاب‌آوری و تأمین آب با روش‌های نوین برنامه‌ریزی و طراحی شده است. به این منظور ظرفیت تأمین آب مبتنی بر چارچوب طراحی اکولوژیک تحلیل شده است و استفاده از منابع آب غیرمتعارف مانند آب خاکستری و باران در دستور کار قرار گرفت و از سوی دیگر طراحی منظر متکی به منظر با نیاز آبی کم و قابلیت تاب‌آوری در مقابل نوسانات آتی اقلیمی و به صورت خاص کمبود آب صورت گرفته است. در این فرایند ابتدا مروری بر تاب‌آوری اکولوژیک و تاب‌آوری منابع آب صورت گرفت و اصول پایداری اکولوژیک در خصوص تاب‌آوری محیط‌های خشک در مواجهه با کم‌آبی استخراج شد. سپس با شناخت محدودهٔ مطالعاتی و تجزیه و تحلیل پتانسیل‌ها، فرصت‌ها، محدودیت‌ها و عوامل اختلال‌زا در محدودهٔ مطالعاتی، اصول تاب‌آوری محیط‌های خشک در ارتباط با کم‌آبی در آن‌ها اعمال شد و راهکارهای عملی در سه دسته‌بندی کلی تأمین آب از منابع غیرمتعارف، افزایش بازدهی الگوی آبیاری و استفاده از گونه‌های گیاهی انعطاف‌پذیر ارائه شده است. در انتها نیز طرح راهبردی توسعهٔ فضای سبز دانشگاه ارائه شد.

کلیدواژه

انعطاف‌پذیری، تاب‌آوری، دانشگاه ملایر، کم‌آبی، منابع آب.

۱. سرآغاز

یکی از ابزارهای مفید در تلاش برای شناخت و تجزیه و تحلیل روابط بین توسعهٔ فضایی، توجیه اقتصادی و پایداری محیط‌زیستی، استفاده از مفهوم تاب‌آوری یا بازگشت‌پذیری است. نقطهٔ شروع این دیدگاه، فهم این نکته است که انسان به طور کامل با اکوسیستم‌های پیرامون خود گره خورده و دارای ارتباط متقابل است، این ارتباط به حدی است که می‌توان گفت امروزه اکوسیستم‌های طبیعی بسیار اندکی در کرهٔ زمین باقی مانده‌اند که تحت تأثیر انسان قرار نگرفته‌اند (Rockstrom, 2003). بنابراین، انسان امروزه در سیاره‌ای زندگی می‌کند که تحت سلطهٔ کامل اوست. تفکری که امروزه به سرعت در حال گسترش است این است که آسایش و راحتی انسان به شکل تنگاتنگی وابسته به سلامت اکوسیستم‌هایی است که

* نویسنده مسئول: تلفن تماس: ۰۸۵۱۳۳۲۲۰۸۸ Email: isaeedi@malayeru.ac.ir

Archive of SID

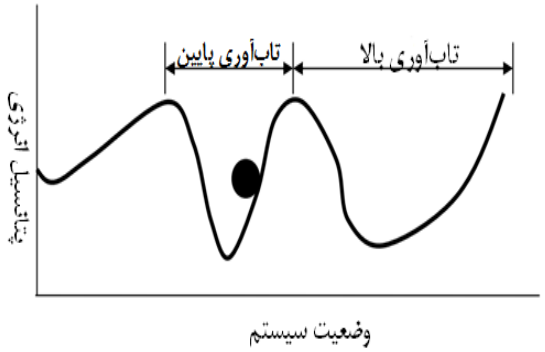
www.SID.ir

هم‌اکنون تحت تأثیر تغییرات سریع‌اند (Vitousek et al., 1986 ;Lubchenco, 1998).

توسعهٔ پایدار بر اساس نشست ریو در سال ۲۰۱۲ اشاره به الگویی دارد که در آن روابط انسان در تعادل و تطابق با محیط است به گونه‌ای که توسعه در قالب رشد سبز تحقق یافته است و استفاده از منابع در چارچوب‌های قابل قبول محیطی صورت می‌گیرد (Edenhofer et al., 2012). چنین الگوی توسعه‌ای در تلاش است با الهام از تجربهٔ گذشتهٔ ارتباط انسان با محیط طبیعی، نیازهای انسان را در چارچوب توان محیط پاسخ دهد. طبیعت یک سیستم کاملاً متعادل، سرشار از چرخه‌های ایده‌آل، قابل پیش‌بینی و مفید انرژی، غذا، آب و مانند آن نیست. آشفتگی‌هایی مانند سیل، زلزله و خشکسالی روند تکامل و توالی طبیعت را تغییر می‌دهند. در مقابل این اختلال‌ها، طبیعت دارای سیستم‌های پیچیده و سازگار برای مقابله با چنین رخدادهایی است. این ویژگی را «تاب‌آوری طبیعت» معنا کرده‌اند (Holling, 1986). بر مبنای تعریف فولک (۲۰۰۶) تاب‌آوری به ظرفیت جذب اختلال و سازماندهی مجدد هنگام مواجهه با تغییر گفته می‌شود. وقتی تغییری اتفاق می‌افتد، تاب‌آوری شرایط مورد نیاز برای شروع دوباره و سازمان‌دهی مجدد را فراهم می‌کند (Friend and Moench, 2013) (Gunderson and Holling, 2002).

نقطهٔ مقابل تاب‌آوری را آسیب‌پذیری می‌نامند (Rockstrom, 2003). آسیب‌پذیری از تقابل سیستم‌های انسانی، محیط مصنوع و طبیعی حاصل می‌شود (صالحی و همکاران، ۱۳۹۰). به عبارت دیگر، وقتی سیستمی تاب‌آوری خود را از دست می‌دهد، نسبت به تغییری که ایجاد شده و قبلاً می‌توانست آن را جذب کند آسیب‌پذیر می‌شود (Kaspersson and Kaspersson, 2001).

یک سیستم تاب‌آور نه تنها به جذب اختلال مجهز است، بلکه پتانسیل بهره‌مندی مفید از تغییر، به شکلی که به خلق فرصتی برای توسعه، نوآوری و به‌روزشدن منجر شود را نیز داراست (Rockstrom, 2003). در مقابل در سیستم‌های آسیب‌پذیر، تغییرات کوچک ممکن است بسیار مخرب باشند (شکل ۱). بر این اساس، مدیریت در جهت خلق تاب‌آوری، احتمال پایداری اکوسیستم را بالا می‌برد و از این طریق به انسان که تحت تأثیر اختلال قرار گرفته، سود می‌رسد، در حالی که آینده غیر قابل پیش‌بینی است و احتمال شگفت‌زده‌شدن بسیار بالاست (Levin et al., 1998; Holling, 2001).



شکل ۱. نمودار شماتیک نشان‌دهندهٔ ارتباط بین تاب‌آوری سیستم و تغییر (Wang et al., 2009)

کمبود منابع آب نمونه‌ای از تغییراتی است که امروزه در کشور به چالشی بزرگ تبدیل شده است. کم‌آبی چند سالهٔ اخیر، در نگاه بسیاری امری گذرا تلقی می‌شود، اما در حقیقت می‌توان آن را مقدمهٔ بحران گستردهٔ آب دانست که در صورت نبود برنامه‌ریزی منسجم، لطمات جبران‌ناپذیری را بر کشور وارد خواهد کرد. این مشکل در دانشگاه ملایر نیز وجود دارد. این دانشگاه یکی از مراکز دانشگاهی است که بر خلاف رشد شتابان فیزیکی از ابتدای تأسیس در سال ۱۳۸۶، پیوسته درگیر کمبود منابع آب شرب و غیرشرب بوده است، به حدی که امروزه کمبود منابع آب مانعی بزرگ در توسعهٔ فضای سبز آن محسوب می‌شود. در این دانشگاه منبع آب، برای مصارف شرب و غیرشرب، مشتمل بر یک حلقه چاه آب است که با توجه به برداشت بالای آب، بازدهی آن کاهش چشمگیری یافته است. این در حالی است که منابع آب دیگری نیز مانند آب باران و آب خاکستری وجود دارد که مورد توجه جدی قرار نگرفته است. در این راستا مقالهٔ حاضر به سؤالات زیر پاسخ

Archive of SID
www.SID.ir

می‌دهد: با توجه به کمبود منابع آب راهکارهای مناسب برای توسعهٔ فضای سبز در منظرسازی فضای دانشگاهی کدام است؟ چگونه می‌توان با استفاده از منابع آب در دسترس از سویی و طراحی اکولوژیک منظر و فضای سبز از سوی دیگر بازگشت‌پذیری فضاهای دانشگاهی را ارتقا بخشید.؟ بر این مبنا این مختصر تلاش کرده است با معرفی مفهوم بازگشت‌پذیری در مواجهه با کم‌آبی در فضاهای دانشگاهی، راهکارهایی در راستای ارتقای محیط و منظر دانشگاه ملایر ارائه دهد، به شکلی که بتوان بیشترین بازدهی را از منابع آب موجود داشت.

۱. ۱. بازگشت‌پذیری اکولوژیکی

تفکر تاب‌آوری یا بازگشت‌پذیری اولین بار، در سال ۱۹۷۰، برای مطالعهٔ سیستم‌های اکولوژیکی معرفی شد (Holling, 1973) و در این شاخهٔ علمی سیر تکامل خود را، در چارچوب مطالعهٔ روابط متقابل بین انسان و محیط‌زیست، پیش گرفت (Folke, 2006). تاب‌آوری اکولوژیکی توانایی اکوسیستم برای نگه‌داشت عملکرد خود در مواجهه با آشفتگی‌های محیطی است (Elmqvist et al. 2003). برای خلق تاب‌آوری اکوسیستم‌های تحت تأثیر عوامل اختلال‌زا، اولین و مهم‌ترین اقدام بالابردن میزان انعطاف‌پذیری گونه‌های تشکیل‌دهندهٔ اکوسیستم در مواجهه با اختلال است (Hunter, 2011). انعطاف‌پذیری ریشه در تنوع ژنتیکی بین گونه‌ها دارد (Rossiter, 1996) و هدف از بیان این شاخص، توصیف کیفیت مقاومت گونه‌ها در مقابل تغییرات آب و هوایی و محیطی است (Hunter, 2011). هر قدر شاخص انعطاف‌پذیری در یک گونهٔ گیاهی بالاتر باشد، نشان‌دهندهٔ این است که آن گونهٔ گیاهی در دامنهٔ گسترده‌تری از شرایط محیطی شانس بقا خواهد داشت و توانایی بیشتری نسبت به مدیریت اختلال‌های محیطی دارد (Charmantier et al., 2008; Chown et al., 2007). انعطاف‌پذیری در گونه‌های گیاهی بستر شهری با چندین معیار قابل سنجش است. دما، رطوبت، خاک، آلودگی، سیلاب و خشکسالی نمونه‌هایی از این سنجه‌ها به شمار می‌روند. علاوه بر انعطاف‌پذیری تنوع زیستی نیز نقشی مثبت در افزایش تاب‌آوری جوامع گیاهی در شرایط اختلال دارد.

تاکنون مدل‌های مختلفی برای توصیف ارتباط تاب‌آوری اکولوژیک و تنوع زیستی ارائه شده است که نقطهٔ اشتراک همهٔ آن‌ها تأثیرات مثبت تنوع زیستی در تاب‌آوری اکوسیستم در مواجهه با تنش‌هاست (Peterson, Allen and Holling, 1998). اولین بار داروین‌در در سال ۱۸۵۹ ایدهٔ افزایش پایداری اکولوژیکی با افزایش تنوع زیستی را مطرح کرد. مک آرتور در سال ۱۹۵۵ این ایده را دوباره بیان کرد و در سال ۱۹۹۶ می مدلی آن را ارائه داد و به تازگی نیز تایلمن و همکارانش، طی آزمایشی تجربی، آن را اثبات کردند که در کوتاه‌مدت افزایش تنوع زیستی به افزایش پایداری در برخی فرایندهای اکولوژیک منجر می‌شود (همان منبع).

در مطالعهٔ یک اکوسیستم برای خلق تاب‌آوری اکولوژیک، تنوع زیستی از دو نظر اهمیت دارد (Hunter, 2011): فراوانی عملکرد و تنوع عکس‌العمل. فراوانی عملکرد به تعداد گونه‌هایی اشاره دارد که در یک اکوسیستم خاص، عملکرد مشخص و یکسانی ایفا می‌کند (Lawton and Brown, 1993). تنوع عکس‌العمل نیز به معنای میزان گستردگی عکس‌العمل نسبت به تغییرات محیطی، در بین گونه‌های تشکیل‌دهندهٔ یک اکوسیستم خاص است (Elmqvist et al., 2003). ترکیب فراوانی عملکرد و تنوع عکس‌العمل در مواجهه با ناپایداری، به افزایش تاب‌آوری اکولوژیک منجر شده است و اکوسیستم را به سمت سازش با عوامل ناپایداری حرکت می‌دهد (Yachi and Loreau, 1999).

۱. ۲. تاب‌آوری منابع آب

امروزه دستیابی به توسعهٔ پایدار منابع آب، به شکل گسترده‌ای، با مفهوم تاب‌آوری گره خورده است (E.g. Carpenter et al. 2005; Walker and Salt, 2006; Gibbs, 2009; Walker et al., 2002; Brand, 2009). بر مبنای تعریف تاب‌آوری، منابع پایدار آب را می‌توان سیستم‌هایی معرفی کرد که دارای ظرفیت کافی برای تقلیل آثار

Archive of SID
www.SID.ir

نامطلوب اختلال باشند (Wang et al., 2009). بنابراین، چنین سیستمی، دارای ظرفیت بیشتر حمایت از کیفیت محیط‌زیست و نیازهای انسان در ناپایداری‌های آینده است (Pahl-Wostl et al., 2005). برخی از عوامل اختلال‌زا در سیستم‌های منابع آب عبارت‌اند از: تغییر اقلیم، سیلاب، خشکسالی، اقدامات بشری، بلایای طبیعی و آلودگی‌ها (Wang et al., 2009). در این بین خشکسالی و کم‌آبی یکی از عوامل اختلال‌زای مهم در ایران به شمار می‌روند که توسعهٔ فضای سبز و منظرسازی را به شدت تحت تأثیر قرار داده‌اند (بمانیان و همکاران، ۱۳۸۷؛ سعیدی و همکاران ۱۳۸۷؛ سعیدی، ۱۳۹۲؛ دستورانی، ۱۳۸۷). در راستای افزایش تاب‌آوری منابع آب استفاده‌شده در آبیاری فضای سبز در مقابل کم‌آبی و خشکسالی دو استراتژی می‌توان پیشنهاد داد؛ ۱. افزایش بازدهی مصرف آب و کاهش هدررفت آب (Pereira, et al., 2002; Crossmanet, al., 2010). ۲. افزایش توان تأمین منابع آب از طریق استفاده از منابع آب غیرمتعارف (Amede et al., 2014; Otti, 2011).

مطالعات بسیاری نشان‌دهندهٔ نقش مهم استفادهٔ بهینه از منابع آب، در قالب استفاده از شیوه‌های آبیاری با بازدهی بالا، در کاهش آثار خشکسالی (Loë et al., 2001; Xiaoxia et al., 2012)، غلبه بر محدودیت‌های منابع آب (Mushtaq et al., 2006) و پایین‌آمدن مصرف آب و انرژی است (Ma and Feng, 2006; Li et al., 1998; Dang et al., 2006; Guan, 2004; Li et al., 2007). در ایران راهکارهای پیشنهادی برای بالابردن بازده استفاده از منابع آب در بخش فضای سبز ایران شامل جداسازی آبیاری شبکهٔ آب شرب شهری از سیستم آبیاری فضای سبز شهری (بمانیان و همکاران، ۱۳۸۷؛ سعیدی و همکاران ۱۳۸۷؛ سازمان شهرداری‌ها و دهیاری‌های کل کشور، ۱۳۸۸)، افزایش بازده و عملکرد بهینه با استفاده از شبکهٔ آبیاری مناسب مالچ‌پاشی، کاهش سطوح چمن‌کاری است (بمانیان و همکاران، ۱۳۸۷).

در کنار استفادهٔ بهینه از منابع آب، راهکارهای نوآورانه در استفاده از منابع جدید در آبیاری فضای سبز نقش مهمی در محدودیت منابع آب در اقلیم‌های خشک می‌تواند ایفا کند (Amede et al., 2014; Otti, 2011). حدود ۲/۳ از شهرهای کشور در مناطق خشک و نیمه‌خشک قرار دارند و منابع آب در آن‌ها به طور فزاینده‌ای در حال کمیاب‌شدن است (بمانیان و همکاران، ۱۳۸۷). این شرایط در بیشتر مناطق خاورمیانه، آسیای مرکزی و آفریقا نیز وجود دارد. این مهم برنامه‌ریزان را بر آن داشته است که در فکر فراهم‌کردن منابع جدید برای مصارف گوناگون باشند. در این خصوص استفاده از آب باران (Krishna, 2007; Lancaster, 2006) و تصفیهٔ فاضلاب (بینواپور و همکاران، ۱۳۸۶؛ دستورانی، ۱۳۸۷؛ سعیدی، ۱۳۹۲) در برخی متون علمی است.

۲. مواد و روش‌ها

۲. ۱. مواد

۲. ۱. ۱. محدودهٔ مورد مطالعه

ملایر، مرکز شهرستان ملایر واقع در جنوب‌شرقی استان همدان است. دانشگاه ملایر در حاشیهٔ شرقی این شهر و در کیلومتر ۵ جادهٔ ملایر- اراک قرار دارد (شکل ۲). بر اساس طبقه‌بندی دومارتن آب و هوای ملایر در ردهٔ نیم‌خشک قرار دارد و مطابق طبقه‌بندی آمبرژه دارای اقلیم مدیترانه‌ای، نیمه‌خشک و نسبتاً سرد است. به عبارت دیگر، شهرستان ملایر دارای زمستان‌های نسبتاً سرد و تابستان‌های گرم است. ملایر از نظر طبقه‌بندی مناطق رویشی ایران نیز جزو منطقهٔ ایرانی- تورانی است. بر مبنای آمار هواشناسی ۱۳ساله (۱۹۹۲- ۲۰۰۵)، میانگین حداقل دمایی در زمستان ۴- درجه و میانگین حداکثر دمایی در تابستان ۳۴/۷ درجهٔ سانتی‌گراد، میانگین بارش سالیانه ۳۰۰ میلی‌متر، ماه‌های خشک سال (خرداد، تیر، مرداد و شهریور) میانگین سالانهٔ رطوبت نسبی ۴۶ درصد، بیشینهٔ خشکی هوا از اواسط مرداد تا اواسط شهریور و میانگین تعداد روزهای یخبندان (تعداد روزهای پایین‌تر از صفر درجه) ۵۰ روز در سال است. شایان یادآوری است، پایین‌ترین دمای ثبت‌شده طی بازهٔ زمانی ذکرشده ۲۲- درجهٔ سانتی‌گراد است. پردیس دانشگاه ملایر در فضایی به وسعت بیش از ۵۵ هکتار، در حاشیهٔ جنوب‌غربی منطقهٔ حفاظت‌شدهٔ لشگردر و بر کوهپایهٔ کوه سرده، در سال ۱۳۸۶، ساخته شده است.

Archive of SID
www.SID.ir

موقعیت در سطح شهر

محدوده دانشگاه و کاربری های غالب آن

شکل ۲. موقعیت دانشگاه در سطح شهر و کاربری‌های غالب آن

مجموع سازه‌های سرپوشیدهٔ این دانشگاه بیش از ۴۶ هزار متر مربع در سال ۱۳۹۲ است. ارتفاع از سطح دریای این محدوده حدود ۱۸۵۰ متر و دارای شیب غالب جنوبی است. بیشتر مساحت محدودهٔ مطالعاتی دارای شیب ۳ تا ۷ درصد است. حدوداً ۷۰ درصد مساحت این دانشگاه بایر و بدون استفاده است. آزمایش‌های خاک‌شناسی از دانشگاه ملایر نشان‌دهندهٔ وجود خاک رسی، مواد آلی کم و بدون محدودیت شوری است. مجموع پوشش گیاهی وضع موجود در دانشگاه ملایر را می‌توان به دو دسته تقسیم کرد: ۱. گونه‌های علفی خودرو که عموماً در بخش‌های توسعه‌نیافتهٔ دانشگاه دارای رشد فصلی‌اند و با گرم‌شدن هوا و کاهش آب از بین می‌روند. از این گونه‌های گیاهی می‌توان به کنگر، کاسنی، خاک‌شیر، اسپند، لالهٔ واژگون، بومادران و آویشن اشاره کرد. ۲. گونه‌های درختی و درختچه‌ای دست‌کاشت، که تنوع چندانی ندارند و می‌توان به کاج سیاه، سرو سیمین، سرو خمره‌ای، چنار، توت سفید، بید معمولی، گردو، انگور، شیرخشت، زالزاک، انواع رز، اسطوخودوس، رزماری، زرشک زینتی و زبان‌گنجشک اشاره کرد. این گونه‌ها به شکل محدود پیرامون ساختمان‌های اصلی دانشگاه کشت شده‌اند. مساحت سطوح چمن‌کاری‌شده در این دانشگاه کمتر از یک هکتار است. محدودیت منابع آب عامل مهم بازدارنده در توسعهٔ منظرسازی در دانشگاه ملایر است، به شکلی که در تابستان تقریباً تمام باغچه‌های چمن‌کاری‌شده در تنش آب قرار دارند. منبع آب شرب و غیرشرب این دانشگاه از یک حلقه چاه در پایین‌دست دانشگاه تأمین می‌شود. الگوی آبیاری فضای سبز در دانشگاه در سال ۱۳۹۲ به شکل سنتی غرقابی است. با توجه به نبود سیستم دوگانهٔ توزیع، آب استفاده‌شده در فضای سبز این دانشگاه دارای کیفیت شرب است که این امر سبب متحمل‌شدن هزینهٔ سالانهٔ بالا برای تأمین آب مورد نیاز فضای سبز دانشگاه است. مشکل عمدهٔ فضای سبز در این محدودهٔ مطالعاتی کاشت گونه‌های گیاهی حساس به تنش خشکی، نبود منابع آب و بازدهی پایین سیستم توزیع آب در این دانشگاه است.

۲. ۲. روش

این تحقیق در پی استفاده از مفهوم تاب‌آوری در سیستم‌های در معرض اختلال برای کاهش آسیب‌پذیری و توسعهٔ پایدار است. پایهٔ بنیادین کار بر مبنای تفکر تاب‌آوری، به لحاظ توجه به مدیریت درست منابع آب و استفادهٔ صحیح از آن مناسب برای کاهش آسیب‌پذیری در سیستم‌های مواجه با خشکسالی است (Wang et al., 2009). بر همین اساس نیز شناخت و تحلیل صورت گرفته است.

Archive of SID
www.SID.ir

در ابتدا شناخت پایه‌ای از شرایط موجود و فاکتورهای تأثیرگذار در روند مطالعاتی صورت پذیرفت. این فاکتورها عبارت‌اند از: بررسی شرایط اقلیمی، مطالعات ویژگی‌های فیزیکی محدودهٔ مطالعاتی شامل توپوگرافی، مطالعات خاک‌شناسی، گونه‌های گیاهی وضع موجود، ویژگی‌های کمی و کیفی فضای سبز وضع موجود، منابع آب در دسترس، الگوی آبیاری وضع موجود، منابع تولید فاضلاب محدودهٔ مطالعاتی، کمیت و کیفیت فاضلاب و الگوی دفع آن.

در ادامه نقشه‌های توپوگرافی با برداشت میدانی تدقیق شدند. مطالعات خاک‌شناسی با مستندات خاک‌شناسی موجود (آزمایش‌های خاک‌شناسی انجام‌شده در دانشگاه ملایر و نقشه‌های خاک‌شناسی) انجام شد. سایر اطلاعات به صورت میدانی جمع‌آوری و تجزیه و تحلیل شدند. تحلیل منابع آب غیرشرب، کارآمدی الگوی آبیاری و تاب‌آوری گونه‌های گیاهی و دسته‌بندی هر یک به تفکیک بررسی شد. در مطالعات تحلیلی منابع آب غیرشرب، پتانسیل‌ها و فرصت‌های موجود برای استفاده از آب باران به دلیل اینکه میزان آب حاصله تابعی است از میزان بارندگی، مساحت فضای جمع‌آوری و میزان نفوذ آب در محدوده از طریق فرمول ۱ محاسبه شده است (Worm and Hattum, 2006).

رابطهٔ ۱) $S=R\times A\times C$

که در آن: S= میزان ذخیرهٔ سالیانهٔ آب باران (متر مکعب)، R= میانگین بارندگی سالیانه (متر)، A= مساحت منطقهٔ جمع‌آوری (متر مربع) و C= ضریب نفوذپذیری است. علاوه بر این، امکان جمع‌آوری آب به صورت حوضچه‌ای از محیط پیرامون نیز فراهم شده که از طریق فرمول ۲ محاسبه شده است:

رابطهٔ ۲) $R_C = R(1+C\frac{A}{B})$

که در آن Rc= ارتفاع آب در منطقهٔ نفوذ، R: میزان بارندگی، C: ضریب رواناب، A: مساحت منطقهٔ جمع‌آوری، B: مساحت منطقهٔ نفوذ است (دستورانی، ۱۳۸۷).

آب خاکستری راهکار سوم تأمین آب در دانشگاه ملایر به شمار می‌آید که امکان استفاده از آن برای آبیاری فضای سبز وجود دارد. آب خاکستری (Greywater) فاضلابی است که شامل مقدار زیادی آب آشامیدنی است (Al-Hamaiedeh and Bino, 2010). به عبارت دیگر، همهٔ فاضلاب تولیدشده در خانه به جز فاضلاب توالت را آب خاکستری گویند. استفاده از آب خاکستری عمدتاً برای آبیاری فضاهای سبز توصیه می‌شود، زیرا مقدار نیتروژن آب خاکستری در حد مطلوب و بیشتر از نصف این نیتروژن ارگانیک است که به کمک فرایندهای بیولوژیکی از طریق گیاهان جذب می‌شوند. آب خاکستری همچنین غنی از مواد مغذی، پتاسیم و نیتروژن است که برای گیاهان کود خوبی محسوب می‌شود (همان منبع). البته باید به این نکته نیز توجه داشت که مناسب‌بودن آب برای آبیاری گیاهان به ویژگی‌های فیزیکی- شیمیایی آب، نوع گیاه، خصوصیات خاک و شرایط اقلیمی نیز بستگی دارد (Pescod, 1992). سیستم‌های استفادهٔ مجدد از آب خاکستری از روش‌های کم‌هزینهٔ دستی تا روش‌های تصفیهٔ ثانویه که توانایی حذف روغن، چربی‌ها و مواد جامد را دارند، گسترده می‌شوند (سعیدی، ۱۳۹۲). به منظور ارزیابی قابلیت استفاده از آب خاکستری از نتایج بررسی آزمایشگاهی آب خاکستری حاصل رستوران و فضاهای سرپوشیده استفاده شد.

در تداوم کار، منابع آب خاکستری بررسی و راهکارهای اجرایی برای آن پیشنهاد شد. در تحلیل کارآمدی الگوی آبیاری وضع موجود، راهکارهای بهینه‌سازی استفاده از آب در بخش آبیاری فضای سبز به طور مشخص بر کاهش مصرف آب و حفظ کیفیت فضای سبز تأکید دارد. همچنین، برای ارزیابی صفات انعطاف‌پذیری گونه‌های گیاهی نسبت به کم‌آبی، بر مبنای شاخص‌های پیشنهادی هانتر (Hunter, 2008)، ارزیابی کمی مطابق جدول ۱ تهیه و امتیازدهی به ۱۰ گونهٔ گیاهی غالب در دانشگاه ملایر بر اساس روش دلفی و با استفاده از نظر متخصصان انجام شد. ده نفر از متخصصان آشنا با محیط انتخاب و جداول گونه‌ها ارائه شدند. نتایج اولیه بازبینی و برای بار دوم به افراد ارائه و بر اساس میانگین نظرهای به‌دست‌آمده نتایج ارائه شد.

Archive of SID
www.SID.ir

جدول ۱. مبنای سنجش شاخص‌های انعطاف‌پذیری گونه‌های گیاهی نسبت به خشکی

انعطاف‌پذیری نسبت به خشکی	بسیار خوب (۲+)	خوب (۱+)	متوسط (۰)	ضعیف (۱–)	بسیار ضعیف (۲–)
کیفیت رشد رویشی	بسیار مقاوم	نسبتاً مقاوم	متوسط	ضعیف	بسیار ضعیف
کیفیت رشد زایشی	بسیار مقاوم	نسبتاً مقاوم	متوسط	ضعیف	بسیار ضعیف
حفظ عملکرد در اکوسیستم	بسیار مقاوم	نسبتاً مقاوم	متوسط	ضعیف	بسیار ضعیف

در ادامه راهکارهای ارتقای تاب‌آوری اکولوژیک و منابع آب ارائه و راهکارهای پیشنهادی ارزیابی کمّی و کیفی شدند. گفتنی است در این تحقیق اصول طراحی اکولوژیک پنج‌گانهٔ «سیم ون در راین و استوارت کاون» مطرح شده است. این اصول عبارت است از:

- راه‌حل‌ها برگرفته از مکان‌اند؛
- محاسبات اکولوژیک، طراحی را آگاهانه می‌کنند؛
- طراحی همراه طبیعت است؛
- همهٔ افراد طراح‌اند؛
- طبیعت را مرئی کنید (Ryn and Cowan, 2007).

۳. یافته‌های تحقیق

ارزیابی صورت‌گرفته در راستای دستیابی به راهکارهای بهینهٔ طراحی محدودهٔ مطالعاتی در خشکسالی شامل بررسی سه موضوع است:

۱. تحلیل منابع آب غیرشرب در دانشگاه، از هر شکل، پراکندگی و کیفیت این منابع و امکان‌سنجی استفاده از آن‌ها برای آبیاری فضاهای سبز در دانشگاه ملایر؛

۲. تحلیل کارآمدی الگوی آبیاری در دانشگاه، شناخت نواقص و دلایل ناکارآمدی الگوی آبیاری وضع موجود؛

۳. تحلیل تاب‌آوری گونه‌های گیاهی بر مبنای سنجه‌های انعطاف‌پذیری در مواجهه با کم‌آبی؛ تنوع زیستی، تنوع عملکرد و فراوانی عملکرد اکولوژیک آن‌ها که در ادامه خواهد آمد.

۴. تأمین آب از منابع غیرمتعارف

استفاده از منابع آب غیرمتعارف مانند فاضلاب، آب باران و جمع‌آوری رواناب یکی از راهکارهای مفید و اقتصادی در دستیابی به منابع آب پایدار است (Otti, 2011). پیش‌شرط استفاده از آب باران به‌منزلهٔ شکل اقتصادی تأمین آب و آبیاری، لزوم وجود میزان و زمان بارش با آستانه‌های قابل قبول است (Worm and Hattum, 2006). میانگین بارش سالانهٔ محدوده برای دورهٔ ۱۳ ساله معادل ۳۰۰ میلی‌متر با فصل خشک تابستانه است که پتانسیل مناسبی را برای استفاده از آب باران ارائه می‌کند.

در این روش آب باران از پشت‌بام‌ها و سطوح سلب جمع‌آوری می‌شود. آب جمع‌آوری‌شده در مخازنی ذخیره و در فصل رشد گیاهان در آبیاری استفاده می‌شود. با توجه به سطح، تمرکز، عایق‌بندی و ارتباط مستقیم این فضاها با بخش‌های مصرفی آب (فضای سبز) در دانشگاه ملایر، استفاده از این راهکار هزینهٔ زیادی را دربر ندارد (شکل ۳). با توجه به اینکه ذرات گرد و غبار و آلودگی‌های هوا که در بارش‌های اولیهٔ سال وجود دارند، مشکل چندانی برای فضای سبز ایجاد نمی‌کنند و به واسطهٔ آماده‌بودن بستر عایق (پشت‌بام) هزینهٔ آماده‌سازی آن ارزان و با صرفهٔ اقتصادی است.

شکل ۳. گستردگی، تمرکز و در ارتباط مستقیم‌بودن فضاهای پشت‌بام در دانشگاه ملایر با بخش‌های مصرفی آب از پتانسیل‌های جمع‌آوری آب باران از پشت‌بام‌های دانشگاه است
(مأخذ: نگارندگان)

Archive of SID
www.SID.ir

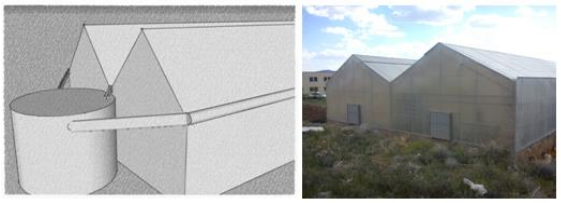
جدول ۲. محاسبهٔ میزان آب باران جمع‌آوری‌شده از سطوح پشت‌بام دانشگاه

ردیف	ساختمان	مساحت پشت‌بام (متر مربع)	آب جمع‌آوری‌شده (متر مکعب)
۱	دانشکدهٔ فنی	۳۰۰۰	۸۱۰
۲	دانشکدهٔ منابع طبیعی	۳۰۰۰	۸۱۰
۳	دانشکدهٔ ادبیات	۲۰۰۰	۵۴۰
۴	دانشکدهٔ علوم پایه	۳۶۰۰	۹۷۲
۵	ساختمان اداری	۵۶۰۰	۱۵۱۲
۶	رستوران	۲۸۰۰	۷۵۶
۷	سالن ورزشی	۲۲۰۰	۵۹۴
۸	آمفی تئاتر	۲۲۰۰	۵۹۴
۹	کتابخانه	۴۰۰۰	۱۰۸۰
۱۰	پردیس شهدا	۳۲۰	۸۶/۴
۱۱	مهمانسرا	۷۰۰	۱۸۹
۱۲	مسجد	۱۸۰۰	۴۸۶
۱۳	پژوهشکده	۳۸۰۰	۱۰۲۶
۱۴	دانشکدهٔ علوم قرآنی	۳۰۰۰	۸۱۰
۱۵	خوابگاه فاطمیهٔ ۱	۳۱۵۰	۸۵۰/۵
۱۶	خوابگاه فاطمیهٔ ۱	۳۱۵۰	۸۵۰/۵
۱۷	گلخانه	۵۰۰	۱۳۵
۱۸	ساختمان IT	۱۲۰۰	۳۲۴
	مجموع	۴۶۰۲۰	۱۲۴۲۵

بر مبنای فرمول ۱، اگر جمع‌آوری آب باران از تمامی سطوح مسقف دانشگاه انجام شود، با احتساب ضریب نفوذپذیری ۰/۹ برای سطوح عایق رطوبتی پشت‌بام‌های دانشگاه، مطابق جدول ۲ سالانه بیش از ۱۲ هزار متر مکعب آب به دست می‌آید که در صورت ذخیره‌سازی مناسب، می‌تواند پاسخگوی نیاز سالانهٔ فضای سبز دانشگاه ملایر به شیوهٔ آبیاری غرقابی باشد.

در شکل ۴، چگونگی جاگذاری این مخازن در گلخانهٔ دانشگاه ملایر به صورت شماتیک نشان داده شده است.

در صورت مطابق نبودن فصل بارندگی با فصل رشد گیاهی، آب باران می‌تواند مستقیماً، از کف‌سازی‌ها و معابر به محدودهٔ فضای سبز، هدایت شود و نیازهای آبی را برطرف کند. این شیوهٔ جمع‌آوری آب باران را می‌توان راهکار کمکی در جمع‌آوری رواناب از سطوح کف‌سازی تلقی کرد که به کاهش آبیاری، تبخیر و مدیریت فضای سبز منجر می‌شود (شکل ۵). البته باید در نظر داشت که جمع‌آوری آب‌هایی که در فصول یخبندان اقدام به نمک‌پاشی معابر می‌کنند با چالش‌هایی مواجه است، لذا این توصیه به فضاهایی بازمی‌گردد که نمک‌پاشی در آن‌ها صورت نمی‌گیرد.

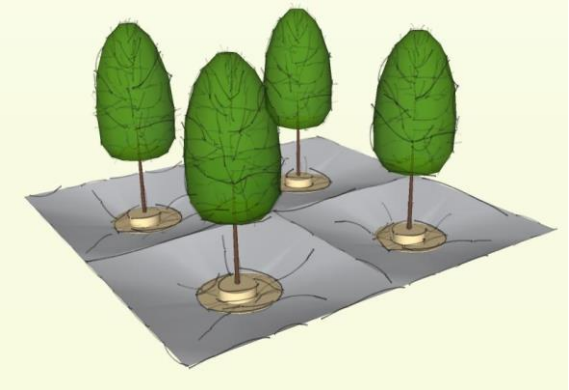


شکل ۴. استفاده از مخازن جمع‌آوری آب باران در گلخانهٔ دانشگاه ملایر (مأخذ: نگارندگان)

Archive of SID
www.SID.ir

شکل ۵. جمع‌آوری رواناب از سطوح کف‌سازی و هدایت آن به باغچه‌ها به صورت تدریجی و در زمان مورد نیاز

از آب باران نیز می‌توان برای استفاده در اراضی بایر و فضاهای درختکاری‌شده استفاده کرد. سیستم جمع‌آوری آب باران به شکل ساده از یک منطقهٔ جمع‌آوری آب و یک منطقهٔ نفوذ یا ذخیره تشکیل می‌شود. برای جلوگیری از پوسیدگی تنه، بهتر است حوضچهٔ جمع‌آوری آب با ارتفاع پایین‌تر نسبت به پیرامون تنه طراحی شود. شکل ۶ سیستمی کوچک از جمع‌آوری آب باران برای آبیاری فضای سبز را به صورت شماتیک نشان می‌دهد. این سیستم با کاهش تبخیر و تعرق گیاهی، افزایش نفوذ آب باران در محدودهٔ رشد گیاه و کاهش رشد علف هرز، مقاومت گیاه را به کم‌آبی افزایش می‌دهد. مقدار آبی که از این روش در هر حوضچهٔ نفوذ جمع‌آوری می‌شود، از فرمول ۲ قابل محاسبه است.



شکل ۶. سیستم جمع‌آوری آب باران همراه بخش جمع‌آوری، محدودهٔ نفوذ، رینگ حفاظت از تنه در مقابل پوسیدگی و مالچ
(مأخذ: نگارندگان)

آب خاکستری راهکار دوم تأمین آب در دانشگاه ملایر به شمار می‌آید که امکان استفاده از آن برای تأمین آب مورد نیاز آبیاری فضای سبز وجود دارد. مجموعهٔ دانشگاه روزانه ۲۵۰ تا ۳۰۰ متر مکعب از آب خاکستری رستوران و مجموعهٔ فضاهای سرپوشیدهٔ خود را در قالب چاه‌های جذبی، دفع می‌کند. با توجه به بالادست‌بودن دانشگاه نسبت به باغات و اراضی زراعی که منابع آب خود را از طریق چاه تأمین می‌کنند، این الگوی دفع به طور قطع تأثیرات نامطلوبی در منابع آب زیرزمینی این محدوده خواهد داشت. در سال ۱۳۹۲ آزمایش کیفیت فاضلاب دانشگاه ملایر در قالب دو نمونهٔ فاضلاب رستوران و سایر فضاهای سرپوشیده صورت پذیرفت که نتایج آن در جدول ۳ نشان داده شده است. برای استفاده از این آب نیازمند سیستم تصفیهٔ اولیه و ثانویه است. در سیستم اولیه یک یا چند تانک رسوب‌گیر از طریق صافی تعبیه‌شده در آن مواد جامد- روغنی را حذف و آب خاکستری را به منظور آبیاری آماده می‌کند. این سیستم‌ها کاملاً اقتصادی و باصرفه‌اند و نگهداری آسان دارند و برای انجام عملیات به برق و مواد شیمیایی نیز نیاز کمی است. در این سیستم به دلیل تصفیهٔ سبک از سیستم آبیاری زیرسطحی استفاده می‌شود. سیستم‌های تصفیهٔ ثانویه نسبت به سیستم تصفیهٔ اولیه، روغن، چربی و ذرات جامد بیشتری را حذف می‌کنند. در این روش می‌توان از سیستم آبیاری زیرزمینی و سطحی (حتی بدون لوله) استفاده کرد. این سیستم، به دلیل تصفیهٔ پیشرفته، هزینهٔ اولیهٔ بالا و در ضمن هزینه‌های نگهداری بیشتری نسبت به سیستم تصفیهٔ اولیه دارد. با این حال مزایای این سیستم، آبیاری سطحی و آسان و کاهش خطرهای زیست‌محیطی است.

سازمان مشترک‌المنافع علمی و تحقیقات صنعتی استرالیا (CSIRO, 1999)، دستورالعملی تدوین و پساب‌های تصفیه‌شده را بر حسب محتویات شیمیایی به سه دستهٔ کم‌خطر، متوسط و باخطر بالا برای درختکاری، خاک و آب زیرزمینی، مطابق جدول ۴ کلاسه‌بندی کرده است.

Archive of SID
www.SID.ir

جدول ۳. غلظت املاح و مواد در آب‌های خاکستری دانشگاه ملایر

مشخصات نمونه	هدایت الکتریکی 10^6 ×EC	PH	BOD میلی‌گرم بر لیتر	COD میلی‌گرم بر لیتر	میلی اکی والان در لیتر Milliequivalents Per Liter					
					کربنات Co_3^{-2}	بی‌کربنات HCO_3	کلر CL-1	سولفات So4-2	کلسیم Ca+2	منیزیم Mg+2
آب خاکستری سایر فضاهای سرپوشیده	۱۰۰۰	۶/۶	۱۸۷	۲۳۰	۰/۰	۶/۵	۶/۲	۱/۷	۳/۶	۲/۵
آب خاکستری رستوران	۱۳۰۰	۶/۶	۲۱۰	۲۳۹	۰/۰	۶/۶	۶۵/۴	۱/۷	۳/۴	۲/۴

جدول ۴. تقسیم‌بندی پساب‌های تصفیه‌شده برای آبیاری (CSIRO, 1999)

محتویات	خطر پایین	خطر متوسط	خطر بالا
موادآلی (mg/L)، BOD	<۴۰	۴۰- ۱۰۰۰	>۱۰۰۰
ازت کل (mg/L)	<۳۰	۳۰- ۱۰۰	>۱۰۰
فسفر کل (mg/L)	<۱۰	۱۰- ۲۰	>۲۰
کربنات کلسیم (mg/L)	<۲۰۰	۲۰۰- ۵۰۰	>۵۰۰
کل نمک‌های محلول، TDS، (mg/L)	<۵۰۰	۵۰۰- ۲۰۰۰	>۲۰۰۰
نسبت جذب سدیم SAR	<۳	۳- ۹	>۹
کلر (mg/L)	<۱۵۰	۱۵۰- ۳۵۰	>۳۵۰
بر (mg/L)	<۰/۵	۰/۵- ۳	>۳
PH	تغییرات معمولی ۶/۵- ۸/۵		

شکل ۷. استفاده از آبیاری غرقابی به کاهش بازدهی آبیاری و گسترش علف‌های هرز در دانشگاه ملایر منجر شده است
(مأخذ: نگارندگان)

نظام آبیاری کنونی از جمله مسائل بعدی است که میزان مصرف آب را با چالش‌هایی مواجه کرده است. اکنون نظام آبیاری به شکل آبیاری غرقابی است. در این شیوهٔ آبیاری اولاً بازدهی آب پایین و از سوی دیگر با در نظر گرفتن تعداد ماه‌های خشک سال در ملایر (۵ ماه) میزان تبخیر و تعرق آب بالاست و ضمن کاهش بهره‌وری آب سبب بر جای ماندن املاح آب می‌شود و شوری خاک را به دنبال دارد. از سوی دیگر، منطبق‌بودن فصل گرم با فصل رشد گیاهی، این الگو متناسب با منابع آب محدود در دانشگاه نیست و لزوم تجدیدنظر در شیوهٔ آبیاری وضع موجود کاملاً آشکار است (شکل ۷).

۵. ارزیابی گونه‌های گیاهی

بر مبنای توضیحات ارائه‌شده در ابتدای تحقیق، گونه‌های گیاهی که رشد بهینهٔ خود را در شرایط کم‌آبی حفظ می‌کنند، گونه‌های انعطاف‌پذیر نسبت به کم‌آبی نام دارند. با توجه به تنش آب در فضای سبز دانشگاه ملایر، اولویت توسعهٔ فضای سبز این محدوده بر استفاده از گونه‌های گیاهی انعطاف‌پذیر است.

در راستای ارزیابی کمّی انعطاف‌پذیری گونه‌های گیاهی در دانشگاه، شاخص‌های ۱۰ گونهٔ گیاهی غالب در فضای سبز دانشگاه ملایر نسبت به خشکی، بر مبنای مدل پیشنهادی هانتر (Hunter, 2008) ارزیابی شد (جدول ۵) که مبنای امتیازدهی آن در روش تحقیق آمده است.

Archive of SID
www.SID.ir

جدول ۵. امتیازدهی گونه‌های گیاهی به شاخص‌های انعطاف‌پذیری نسبت به خشکی

شاخص‌های انعطاف‌پذیری نسبت به خشکی	چمن اسپرت	رز	کاج تهران	زبان گنجشک	توت سفید	سرو نقره‌ای	زرشک	بید معمولی	چنار	شیر خشت
کیفیت رشد رویشی	-۲	-۱	۱	۰	۰	۱	-۱	-۲	-۱	-۱
کیفیت رشد زایشی	-۲	-۱	۱	۰	۱	۰	-۱	-۱	۰	-۱
حفظ عملکرد در اکوسیستم	-۲	۰	۱	۰	۱	-۲	۰	-۱	۰	۰

نتایج این جدول نشان‌دهندهٔ انعطاف‌پذیری پایین گونه‌های گیاهی کاشته‌شده در دانشگاه است. چنین گونه‌های گیاهی در مواجهه با تنش‌های آب کیفیت رشد خود را از دست می‌دهند و به طور کلی ویژگی‌های لازم برای کاشت در چنین فضایی را ندارند. گونه‌های گیاهی مناسب در شرایط تنش خشکی باید کیفیت رشد رویشی، زایشی و عملکرد در اکوسیستم را حفظ کنند. به عبارت دیگر، قابلیت بقا در شرایط اختلال را داشته باشند.

۶. بحث و بررسی

با توجه به داده‌های ارائه‌شده چهار قابلیت خاص برای افزایش تاب‌آوری فضای سبز و محیط و منظر دانشگاهی وجود دارد که عبارت است از: استفاده از جمع‌آوری آب باران، استفاده از آب‌های خاکستری، تغییر نظام آبیاری و تغییر و بهینه‌سازی الگوی کاشت فضاهای سبز. در خصوص هر یک از راهکارها جداگانه بحث و نتایج آن ارائه می‌شود.

راهکار اول مبتنی بر جمع‌آوری آب باران: بر اساس محاسبات انجام‌شده و با تأکید بر اصل محاسبات اکولوژیک در طراحی اکولوژیک، سالیانه امکان جمع‌آوری ۱۲۴۰۰ متر مکعب باران وجود دارد. بر اساس نتایج مطالعات آزمایشگاهی فاضلاب رستوران و سایر فضاهای سرپوشیدهٔ دانشگاه ملایر (مندرج در جدول ۱) و نزدیک‌بودن معیارهای آزمایش‌شده به پساب‌های کم‌خطر، با احداث سیستم تصفیهٔ اولیهٔ فاضلاب، کیفیت آب تصفیه‌شده به استانداردهای آبیاری می‌رسد. با احداث سیستم تصفیهٔ اولیهٔ فاضلاب می‌توان از روزانه ۲۵۰ تا ۳۰۰ متر مکعب آب تصفیه‌شده در بخش آبیاری فضای سبز بهره‌مند شد که این مقدار سالانه حداقل معادل ۹۰ هزار متر مکعب است.

با استفاده از سیستم‌های تصفیهٔ آب خاکستری و جمع‌آوری آب باران از پشت‌بام‌ها سالانه بیش از ۱۱۰ هزار متر مکعب آب برای توسعهٔ فضای سبز به دست می‌آید که می‌توان با این مقدار مساحت فضای سبز در دانشگاه را به دو برابر افزایش داد. البته باید توجه داشت کیفیت آب تصفیه‌شده نباید خطر شوری خاک را همراه داشته باشد. شکل ۸ طرح راهبردی توسعهٔ فضای سبز دانشگاه ملایر را با استفاده از تصفیهٔ آب خاکستری و جمع‌آوری آب باران نشان داده است.

شکل ۸. طرح راهبردی توسعهٔ فضای سبز دانشگاه ملایر با استفاده جمع‌آوری آب باران و تصفیهٔ آب خاکستری

Archive of SID
www.SID.ir

۷. افزایش بازدهی الگوی آبیاری

راهکارهای بهینه‌سازی استفاده از آب در بخش آبیاری فضای سبز به طور مشخص بر کاهش مصرف آب و حفظ کیفیت فضای سبز تأکید دارد. این راهکارها با اطمینان از اعمال رویه و روش منطقی در هر سطح، با هر روش تأمین آب قابل اجراست. در خصوص استفاده از سیستم آبیاری فضای سبز با بازده بالا در ایران، بمانیان و همکاران چهار معیار اصلی معرفی کرده‌اند (بمانیان و همکاران، ۱۳۸۷): ۱. مقدار آب کاربردی متناسب با خاک و گیاه باشد. ۲. زمان کاربرد آب با شرایط آب و هوایی منطبق باشد. ۳. آب به صورت یکنواخت در سطح مورد نظر پخش شود. ۴. آب، برای تجدید استفاده، در ناحیهٔ ریشه ذخیره شود. بر مبنای توضیحات بالا با در نظر گرفتن شرایط محیطی، الگوی توپوگرافی، ویژگی‌های خاک‌شناسی و کیفیت فضای سبز در دانشگاه ملایر، مجموعه راهکارهای افزایش بازدهی آب در آبیاری فضای سبز مشتمل بر استفاده از الگوی پربازده آبیاری و راهکارهای کاهش هدررفت آبیاری مطرح شده است. لذا تأکید بر استفاده از الگوی آبیاری قطره‌ای در فضاهای درختکاری‌شدهٔ دانشگاه ملایر اولین راهکار برای افزایش بازدهی آبیاری است.

راهکار بعد در افزایش بازدهی الگوی آبیاری، کاهش سطوح تبخیر آب در محوطه‌های سبز گیاهی با مالچ‌پاشی، کاهش سطوح چمن‌کاری، استفاده از سنگ‌ریزه‌های تزئینی و مانند این‌هاست. مالچ را می‌توان پوشش غیرزنده‌ای نامید که به‌منزلهٔ محافظی برای گیاهان در مقابل تغییر دمای شدید خاک، سرمازدگی گیاه در زمستان سرد و از دست رفتن آب زمین عمل می‌کند. به عبارت دیگر، استفاده از مالچ راهکاری مناسب برای حفظ رطوبت در دسترس ریشهٔ گیاه در شرایط گرماست. یکی از علل کاهش بازدهی آبیاری، تبخیر سریع آب از محدودهٔ مورد آبیاری و جذب‌نشدن آن از طریق ریشه‌های گیاهی است. بنابراین، می‌توان با کاهش سطوح تبخیر از طریق مالچ‌پاشی این مشکل را حل کرد. از سوی دیگر، می‌توان با مالچ‌پاشی، تبخیر آب و روند شورشدن خاک را به تأخیر انداخت و از تغییرات سریع PH خاک نیز پیشگیری کرد.

۸. استفاده از گونه‌های گیاهی انعطاف‌پذیر

در روند انتخاب گونه‌های گیاهی برای افزایش تاب‌آوری نباید از گونه‌های گیاهی غیربومی غافل شد. بر خلاف دیدگاه افراطی که تمامی گونه‌های گیاهی غیربومی را مهاجم معرفی می‌کنند و استفاده از آن‌ها را در طراحی اکولوژیک کاشت مفید نمی‌دانند، بسیاری از پژوهش‌ها نشان‌دهندهٔ وجود پتانسیل‌ها و فرصت‌های باارزش در استفاده از گونه‌های غیربومی است (Gould, 1997; Warren, 2007). البته گونه‌های گیاهی غیربومی که به گونه‌های مهاجم تبدیل شده‌اند، می‌توانند آثار منفی آشکار در ساختار و عملکرد اکوسیستم داشته باشند (Alberti, 2005; Hitchmough, 2011). پیشنهاد ما مبتنی بر پژوهش حاضر تدوین چارچوب شناخت از امکانات و محدودیت‌های پیش‌رو در استفاده از گونه‌های گیاهی بومی، غیربومی و غیرمهاجم است. در همین راستا ۱۰ گونهٔ گیاهی با قابلیت تاب‌آوری بالا نسبت به شرایط کم‌آبی با استفاده از نظر متخصصان در جدول ۶ پیشنهاد شده که ترکیبی از گونه‌های گیاهی بومی و غیربومی است. الگوی طراحی کاشت مناسب به گونه‌ای که ارتباط منطقی میان گونه‌ها بر اساس ویژگی‌های آن‌ها وجود داشته باشد در عملکرد گونه و کل فضا تأثیر بسزایی خواهد داشت.

جدول ۶. امتیازدهی به گونه‌های گیاهی پیشنهادی نسبت به شاخص‌های انعطاف‌پذیری

شاخص‌های انعطاف‌پذیری نسبت به خشکی	گز	سماق معمولی	کاج تهران	انجیر	توت سفید	نسترن وحشی	گل محمدی	شیر خشت لرستانی	چنار	سنجد
کیفیت رشد رویشی	۱	۱	۱	۱	۰	۱	۱	۱	-۱	۱
کیفیت رشد زایشی	۱	۱	۱	۲	۱	۱	۰	۰	۰	۱
حفظ عملکرد در اکوسیستم	۲	۲	۱	۲	۱	۱	۱	۱	۰	۱

Archive of SID
www.SID.ir

۹. جمع‌بندی و نتیجه‌گیری

رویکردی که امروزه، در شهرهای مختلف کشورمان، در خصوص انتخاب گونهٔ گیاهی و کاشت آن در سطح شهرها صورت می‌گیرد تأکید بر مصرف‌گرایی دارد. در این بین فضاهای دانشگاهی با رشد خود در دو دههٔ اخیر در حال تبدیل به قطب‌های مصرف‌گرای شهری، به خصوص در زمینهٔ منابع آب، می‌شوند. متأسفانه آمار دقیقی از میزان مصرف و هدررفت منابع آب در هیچ‌یک از این مجموعه‌ها وجود ندارد، اما با در نظر گرفتن مساحت، تنوع فضاهای کاربردی و آموزشی، تعداد دانشجویان و کارکنان و البته افراط‌هایی که در این فضاها وجود دارد، می‌توان به عمق تأثیرات اکولوژیک فضاهای دانشگاهی در ایران پی برد.

در خصوص الگوی توسعهٔ فضاهای دانشگاهی، ایده‌های متفاوتی برای طراحی دانشگاه و محوطهٔ آن مطرح شد. نقطهٔ تمرکز این رویکردها توجه به جنبه‌های اکولوژیک و استفادهٔ حداکثری از تمامی منابع در این فضاهاست. در سال‌های اخیر وقوع خشکسالی‌های متعدد و کمبود منابع آب در کشورمان، گریبان‌گیر دانشگاه‌ها نیز شده است. تأمین منابع آب یکی از نگرانی‌های چند سالهٔ بیشتر دانشگاه‌های ایران است. نبود سیستم دوگانهٔ توزیع آب نیز این مشکل را دوچندان کرده است و به ناچار در برخی دانشگاه‌ها نزول کمّی و کیفی فضاهای سبز دانشگاهی را شاهدیم. این بحران در دانشگاه ملایر نیز دیده می‌شود. این مقاله چند راهکار عملیاتی برای ارتقای تاب‌آوری فضای سبز دانشگاه ملایر در مواجهه با کم‌آبی ارائه کرده است. استفاده از منابع آب غیرمتعارف مانند استحصال آب باران و تصفیهٔ آب خاکستری در این مقاله مورد تأکید قرار گرفته است. استفاده از این منابع برابر افزایش بیش از ۱۱۰ هزار متر مکعب آب برای توسعهٔ فضای سبز دانشگاه ملایر است که می‌توان مساحت فضای سبز دانشگاهی را با این میزان آب به دو برابر رساند. طرح راهبردی توسعهٔ فضای سبز در دانشگاه ملایر با استفاده از منابع آب ذکرشده نیز ارائه شد. دومین گروه از راهبردها، تأکید بر افزایش بازدهی استفاده از آب در بخش فضای سبز دارند. مالچ‌پاشی، کاهش سطوح چمن‌کاری، استفاده از میکروجاذب‌های نگه‌دارندهٔ آب و راهبردهایی از این دست در این بخش مورد تأکید قرار گرفته است. سومین گروه از راهبردها بر استفاده از گونه‌های گیاهی انعطاف‌پذیر استوار است. این گونه‌های گیاهی قابلیت پایداری در شرایط کم‌آبی را دارند. به عقیدهٔ نگارندگان این نوشتار در معرفی الگوهای مختلف تأمین آب فضاهای سبز دانشگاهی محدود است و راهبردهایی مانند نیازهای اکوسیستم‌های طبیعی، شرایط اقتصادی- اجتماعی، تیمارهای گیاهی، ایجاد زیرساخت‌های مدیریتی و ...، در ترکیب راهکارهای ذکرشده، بیشترین بازدهی را خواهند داشت.

منابع

بمانیان، م.، متوسلی، م. م.، حبیب‌پور، ع. ۱۳۸۷. بررسی ضرورت‌ها و اهداف ایجاد سامانه‌های آبرسانی و آبیاری فضای سبز شهری با آب خام، شهرداری‌ها، شمارهٔ ۲۷، صص ۳۲۹- ۳۳۴.

بینواپور، م. ۱۳۸۶. امکان‌سنجی استفادهٔ مجدد از پساب تصفیه‌خانهٔ بیمارستان آتیه‌سازان همدان برای آبیاری فضای سبز، آب و فاضلاب، شمارهٔ ۶۴، صص ۸۳- ۸۷.

دستورانی، م. ۱۳۸۷. ارزیابی روش‌های نوین و پایدار در تأمین آب برای توسعهٔ فضای سبز، شهرداری‌ها، شمارهٔ ۲۷، صص ۳۱۸- ۳۲۸.

سازمان شهرداری‌ها و دهیاری‌های کل کشور. ۱۳۸۸. ابلاغیه و دستورالعمل جداسازی شبکهٔ آبیاری فضای سبز از آب شرب شهری.

سعیدی، الف. ۱۳۹۲. روش‌های نوین تأمین آب برای توسعهٔ فضای سبز در دانشگاه ملایر، هفتمین کنفرانس ملی روز جهانی محیط‌زیست.

Archive of SID
www.SID.ir

سعیدی، الف.، کافی، م.، ارشادی، م. ۱۳۸۷. پهنه‌بندی شاخص‌های تأثیرگذار بر مدیریت کیفی آب غیرشرب در آبیاری فضاهای سبز، دومین کنفرانس ملی روز جهانی محیط‌زیست.

Alberti, M. 2005. The effects of urban patterns on ecosystem function, International Regional Science Review, No. 28 , pp 168–192.

Al-Hamaiedeh, H., Bino, M. 2010.Effect of treated grey water reuse in irrigation on soil and plants. Desalination, No 256, pp. 115–119

Amede, T., Awulachew, S., Matti Bancy., Yitayew M. 2014.Managing Rainwater for Resilient Dry land Systems in Sub-Saharan Africa: Review of Evidences.Springer, pp.517-540.

Brand, F. 2009. Critical natural capital revisited: Ecological resilience and sustainable development. Ecological Economics, No, 68, pp. 605–612.

Carpenter, S., Westley, F., Turner, M. G. 2005. Surrogates for resilience of social-ecological systems. Ecosystems, No, 8, pp. 941–944.

CSIRO. 1999. Urban stormwater: best practice environmental management guidelines, Melbourne, CSIRO Publishing.

Charmantier, A., McCleery, R., Cole, R., Perrins, C. and Sheldon, B. 2008.Adaptive phenotypic plasticity in response to climate change in a wild bird population. Science, No, 320, pp. 800–803.

Chown, S., Charlene, J., and Hans, P. 2007. Phenotypic plasticity mediates climate change responses among invasive and indigenous arthropods. Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences, No, 274, pp. 2531–537.

Crossman, N D., Connor, J D., Bryan, B A., Summers, D M and Ginnivan, J. 2010. Reconfiguring an irrigation landscape to improve provision of ecosystem services. Ecological Economics, No, 69, pp. 1031–1042.

Dang, XL., Huang, Y and Yu, N. 2006. Status quo and existing problems of water saving irrigation in protected field of Liaoning province. Water Saving Irrigation, No, 5, pp. 57–59

Edenhofer, O., Wallacher, J., Reder, M., & Müller, J. 2012.Climate Change, Justice and Sustainability, Linking Climate and Development Policy Springer, Springer.

Elmqvist, T., Folke, C., Nystrom, M., Peterson, G., Bengtsson, J., Walker, B. and Norberg, J. 2003.Response diversity, ecosystem change, and resilience. Frontiers in Ecology and the Environment, No, 9, pp. 488–494.

Folke, C.2006. Resilience: the emergence of a perspective for social-ecological systems analyses. Global Environmental Change, No, 16, pp. 253–267

Friend, R., andMoench, M. 2013. What is the purpose of urban climate resilience? Implications for addressing poverty and vulnerability, Urban Climate,No, 6, pp. 98-113.

Gibbs, M.T.2009. Resilience: What is it and what does it mean for marine policymakers. Marine Policy, N0, 33, pp. 322–331

Gould, S J. 1997. An evolutionary perspective on strengths, fallacies and confusions in the concept of native plants. In Nature and Ideology: Nature and Garden Design in the Twentieth Century, Dumbarton Oaks

Guan, P.2004. Analysis of the efficiency of water-saving irrigation and project benefit of the secondly irrigation district in Jingdian. Water Saving Irrigation, No, 5, pp. 68–71

Gunderson, L.H., Holling, C.S. 2002. Panarchy: Understanding transformations in Human and Natural systems. Island Press.

Hitchmough, J., 2011. Exotic plants and plantings in the sustainable, designed urban landscape, Landscape and Urban Planning, 100,380–382.

Holling, C.S., 1986. The resilience of terrestrial ecosystems: local surprise and global change. In: Clark, W.C., Munn, R.E.(Eds.), Sustainable Development of the Biosphere. Cambridge University Press, Cambridge, UK, pp. 292–317.

Holling, C.S., 2001. Understanding the complexity of economic, ecological and social systems. Ecosystem, No4, pp. 390–405.

Holling,C.S., 1973. Resilience and Stability of Ecological Systems. Annual Review of Ecology and Systematics, No 4, pp. 1-23.

Archive of SID

www.SID.ir

Hunter, MC. 2011.Using Ecological Theory to Guide Urban Planting Design: An adaptation strategy for climate change. Landscape, No, 30, pp. 173-193.

Kaspersson, J.X., Kaspersson, R.E.(Eds.), 2001. Global Environmental Risk.United Nations University, Science No, 279, pp. 491–496.

Krishna, H. J. 2007. Rainwater harvesting potential and water quality guidelines in Texas. Proc. of the American Rainwater Catchment System Association Conference, pp 76-85.

Lancaster, B. 2006. Rainwater Harvesting for Drylands, Guiding principles to welcome rain into your life and landscape, Rainsource Press, Vol, 1.

Lawton, J.H., Brown, V. 1993. Redundancy in ecosystems. In Biodiversity and Ecosystem Function, Springer, No, 157, pp. 255–270.

Levin, S., Barrett, S., Aniyar, S., Baumol, W., Bliss, C., Bolin, B., Dasgupta, P., Ehrlich, P., Folke, C., Gren, I.-M., Holling, C.S.,Jansson, A.M., Jansson, B.-O.,Martin,D.,Maeler,K.-G., Perrings, C., Sheshinsky, E., 1998. Resilience in natural and socioeconomic systems. Environ. Develop. Econ, No, 3, pp. 222–235.

Li, G., Fu, G., Li, T.N.1998. Current water-saving irrigation patterns and economic benefits. Science and Technology of Water Conservancy, No, l, pp. 15–17

Loë, R., Kreutzwiser, R., Moraru, L. 2001. Adaptation options for the near term: climate change and the Canadian water sectorGlobal Environmental Change, No, 11, pp.231–245.

Lubchenco, J. 1998. Entering the century of the environment: a new social contract for science. Science, No, 279, pp. 491–496.

Ma, C L.1989. The energy-saving critical lift of spray and pipes irrigation. J Irrig Drain, No 12, pp. 63–64

Ma, LJ. Feng, M.2006. The development of water saving irrigation is a way out of agriculture. Water Conservancy Science and Technology and Economy, No, 12, pp. 394

May RM. 1973.Stability and complexity in model ecosystems. Princeton (NJ): Princeton University.

MacArthur RH. 1955. Fluctuations of animal populations and a measure of community stability. Ecology 36:533–6.Macdonald D. 1985. The encyclopedia of mammals, New York:Facts On File.

Mushtaq, S., Dawe, D., Lin, H. 2006. An assessment of the role of ponds in the adoption of water-saving irrigation practices in the Zhanghe Irrigation System, China. Agr Water Manage, No, 83, pp.100–110

Otti, V. 2011.Economic advantage of rainwater harvesting over water borehole. International Journal of Water Resources and Environmental Engineering, Vol. 3, No, 4, pp. 73-76.

Pahl-Wostl, C., Möltgen, J., Sendzimir, J.And Kabat, P. 2005. New methods for adaptivewater management under uncertainty: The newater project. EWRA 141A, Proc. 6th Intl.Conf.European Water Resources Management, EWRA2005.

Pereira, L S., Oweis, T., Zarii, A. 2002. Irrigation Management Under Water Scarcity. Agricultural Water Management, No 57, pp.175-206.

Pescod, M.B. 1992. Wastewater Treatment and Use in Agriculture, FAO Irrigation and Drainage, paper No 47,pp. 115- 125.

Peterson, G. D., Allen, C. R., Holling, C. S.1998. Ecological resilience, biodiversity, and scale. Ecosystems, No, 11, pp. 6–18.

Rockstrom, J. 2003. Resilience building and water demand management for drought mitigation. Physics and Chemistry of the Earth, No, 2, pp. 869–877.

Rossiter, M. 1996. The incidence and consequences of inherited environmental effects. Annual Review of Ecology and Systematics, no, 27, pp. 451–476.

Ryn, V D.,Cowan, S. 2007.Ecological Design, Island Press.

Tilman D. 1996. Biodiversity: population versus ecosystem stability.Ecology, 77:350–63.

Vitousek, P.M., Ehrlich, P.R., Ehrlich, A.H., Matson, P.A., 1986. Human appropriation of the products of photosynthesis. BioScience, No, 36, pp. 368–373.

Archive of SID

www.SID.ir

Walker, B., Carpenter, S.2002. Resilience Management in Social-ecological Systems: a Working Hypothesis for a Participatory Approach. Conservation Ecology , No 6, pp 7-14.

Walker, B., Salt, D. 2006. Resilience Thinking: Sustaining ecosystems and people in a changing world, Island Press.

Wang, C H., Blackmore, J., Wang, X., Yum K,K., Zhou, M., Diaper, C., mcgregor, G., Anticev, J. 2009. Overview of resilience concepts with application to water resource systems.Ewater Technical Report. September 2009.

Warren, C R. 2007. Perspectives on the alien versus native species debate: a critique of concepts, language, and practice. Progress in Human Geography, No, 31, pp. 427–446.

Worm, J., Hattum, T, 2006.Rainwater harvesting for domestic use, Agrodok, No, 43, pp. 0-82.

Xiaoxia, Z., Li, Y. 2012. How water saving irrigation contributes to climate change resilience: a case study of practices in China. Mitig Adapt Strateg Glob Change, No, 17, pp. 111–132.

Yachi, S., Michel, L. 1999. Biodiversity and ecosystem productivity in a fluctuating environment: The insurance hypothesis. Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America, No, 96, pp. 1463–1468.

Archive of SID

www.SID.ir