بسم الله الرحمن الرحيم

دانشکده مهندسی معماری و شهرسازی

رشته معماری - معماری

پایان نامه کارشناسی ارشد مهندسی معماری

ارزیابی تاثیر دیوارهای سبز بر روی عملکرد حرارتی ساختمان

نگارنده : فرید مهدی پور تملی

اساتید راهنما

دکتر طاهری شهرآئینی

دکتر بداقی

بهمن ۹۵

شماره: ۴۵/۴۸۵
تاریخ: ۹۶/۱/۲۹
ویرایش:

بسمه تعالی

مدیریت تحصیلات تکمیلی

فرم شماره ۷: صورتجلسه نهایی دفاع از پایان نامه دوره کارشناسی ارشد

با تأییدات خداوند متعال و با استعانت از حضرت ولی عصر (عج) ارزیابی جلسه دفاع از پایان نامه کارشناسی ارشد آقای **سیدفرید مهدی پور تملی** به شماره دانشجویی **۹۳۱۶۹۰۴** رشته **مهندسی معماری** گرایش **معماری** تحت عنوان **ارزیابی تاثیر دیوارهای سبز بر روی عملکرد حرارتی ساختمان** که در تاریخ **۱۳۹۵/۱۲/۱۶** با حضور هیأت محترم داوران در دانشگاه صنعتی شاهرود برگزار گردید به شرح ذیل اعلام می‌گردد:

قبول (با درجه عالی امتیاز ۱۷) ☐ دفاع مجدد ☐ مردود ☐

نوع تحقیق: نظری ☐ عملی ■

۱ـ عالی (۲۰ ـ ۱۹)
۲ـ بسیار خوب (۱۸/۹۹ ـ ۱۸)
۳ـ خوب (۱۷/۹۹ ـ ۱۶)
۴ـ قابل قبول (۱۵/۹۹ ـ ۱۴)
۵- نمره کمتر از ۱۴ غیر قابل قبول

عضو هیأت داوران	نام ونام خانوادگی	مرتبة علمی	امضاء
۱ـ استادراهنمای اول	مسعود طاهری شهرآئینی	استادیار	
۲- استادراهنمای دوم	حجت اله بداقی	استادیار	
۳- استاد مشاور			
۴- نماینده شورای تحصیلات تکمیلی	امیر مسعود جعفری	مربی	
۵- استاد ممتحن اول	دانیال منصفی برابری	استادیار	
۶-ـ استاد ممتحن دوم	بهناز دهر آزما	دانشیار	

نام و نام خانوادگی رئیس دانشکده : دکتر مسعود طاهری شهرآئینی

تاریخ و امضاء و مهر دانشکده:

تقدیم به پدر و مادر عزیزم

خدا را بسی شاکرم که از روی کرم پدر و مادری فداکار نصیبم ساخته تا در سایه درخت پربار وجودشان بیاسایم و از ریشه آنها شاخ و برگ گیرم و از سایه وجودشان در راه کسب علم و دانش تلاش نمایم.

تشکر وقدرانی

با تشکر از اساتید گرانقدر جناب آقای دکتر طاهری شهرآئینی و جناب آقای دکتر بداقی ، بخاطر راهنمایی‌های علمی‌و ارزنده‌ای که به بنده در به نتیجه رساندن این پایان نامه مبذول داشتند

تعهد نامه

اینجانب سید فرید مهدی پور تملی دانشجوی دوره کارشناسی ارشد رشته معماری دانشکده معماری و شهرسازی دانشگاه صنعتی شاهرود نویسنده پایان نامه ارزیابی تاثیر دیوارهای سبز بر روی عملکرد حرارتی ساختمان تحت راهنمائی دکتر طاهری و دکتر بداقی متعهد می‌شوم:

- تحقیقات در این پایان نامه توسط اینجانب انجام شده است و از صحت و اصالت برخوردار است.
- در استفاده از نتایج پژوهشهای محققان دیگر به مرجع مورد استفاده استناد شده است.
- مطالب مندرج در پایان نامه تاکنون توسط خود یا فرد دیگری برای دریافت هیچ نوع مدرک یا امتیازی در هیچ جا ارائه نشده است.
- کلیه حقوق معنوی این اثر متعلق به دانشگاه صنعتی شاهرود می‌باشد و مقالات مستخرج با نام «دانشگاه صنعتی شاهرود» و یا « Shahrood University of Technology» به چاپ خواهد رسید.
- حقوق معنوی تمام افرادی که در به دست آمدن نتایج اصلی پایان نامه تأثیرگذار بوده اند در مقالات مستخرج از پایان نامه رعایت می‌گردد.
- در کلیه مراحل انجام این پایان نامه ، در مواردی که از موجود زنده (یا بافتهای آنها) استفاده شده است ضوابط و اصول اخلاقی رعایت شده است.
- در کلیه مراحل انجام این پایان نامه، در مواردی که به حوزه اطلاعات شخصی افراد دسترسی یافته یا استفاده شده است اصل رازداری ، ضوابط و اصول اخلاق انسانی رعایت شده است.

تاریخ ۹۶/۱/۲۵ امضای دانشجو

مالکیت نتایج و حق نشر

کلیه حقوق معنوی این اثر و محصولات آن (مقالات مستخرج، کتاب، برنامه‌های رایانه ای، نرم افزارها و تجهیزات ساخته شده است) متعلق به دانشگاه صنعتی شاهرود می باشد. این مطلب باید به نحو مقتضی در تولیدات علمی مربوطه ذکر شود.
استفاده از اطلاعات و نتایج موجود در پایان نامه بدون ذکر مرجع مجاز نمی باشد.

خلاصه

بزرگ شدن شهرها ساختمان سازی با تراکم بالا در مرکز شهرها ، جاده سازی همه عواملی هستند که مشکلات متعددی از جمله آلودگی هوای محیط و از بین رفتن محیط طبیعی را به همراه دارد. دست سازه‌های بشر آنگونه که تا کنون بوده میزان بزرگی از منابع طبیعی محدود را صرف انرژی و مواد مصرفی در ساخت و ساز خود می‌کنند. این پژوهش استفاده از گیاهان در نمای بیرونی ساختمان‌ها را به عنوان راه حلی برای مشکلات اکولوژیکی شهر و به عنوان عاملی موثر در کاهش مصرف انرژی در ساختمان مورد کاوش قرار داده است. نماهای پوشیده شده با گیاهان باعث قابلیت‌های مثبت گوناگونی همچون کاهش اثر جزایر حرارتی در شهرها ، بهبود بخشیدن کیفیت هوا و افزایش در تنوع زیستی گیاهان و موجودات مرتبط با آنها در فضاهای شهری می‌شوند. هدف این پژوهش اندازه گیری تاثیرات گیاهان و پنل‌های پر شده از خاک با سیستم آبدهی قطره‌ای منظم بر کارایی گرمایی دیوار بیرونی ساختمان در فصل تابستان است. برای مقایسه فرآیند حرارتی از نمای ساختمان پوشیده شده با گیاهان از مجموعه دستگاه‌های ثبت کننده اطلاعات گرمایی و رطوبتی ، دستگاه هواشناسی و دوربین حرارتی استفاده شده است. اطلاعات جمع آوری مورد نظر در شرایط آب وهوایی ایران برای ۳ نوع گیاه با فیزیولوژی متفاوت در دیوار بیرونی یکی از ساختمان‌های دانشگاه صنعتی شاهرود اندازه گیری شده است. اندازه گیری‌های مورد نظر نشان داد که لایه گیاه به همراه پنل‌های دیوارهای زنده می‌تواند تاثیر قابل ملاحظه‌ای بر دمای سطح خارجی ساختمان و بصورت مرتبط بر روی نوسانات حرارتی دیوار و کاهش حرارت سطح داخلی دیوار داشته باشد.

کلمات کلیدی : دیوارهای سبز ، دیوار زنده بیرونی ، کارایی حرارتی ، کاهش مصرف انرژی

فهرست مطالب

فصل ۱ : معرفی سیستم های سبز عمودی..... ۱

۱-۱-مقدمه..... ۲

۱-۲- گیاهان و فواید گوناگون ۵

۱-۳- فواید اقتصادی ۵

۱-۴- فواید اجتماعی..... ۶

۱-۵- فواید محیطی..... ۷

۱-۵-۱- فیلتر کردن هوا و آمیختن اکسیژن..... ۷

۱-۵-۲- کاهش اثر گازهای گلخانه ای..... ۸

۱-۵-۳- کاهش اثر جزایر گرمایی..... ۸

۱-۵-۴- کاهش صدا..... ۹

۱-۵-۵- محافظت پوششی..... ۹

۱-۶- شهرها و ارتباط با طبیعت..... ۱۰

۱-۷- مشکلات شهری و قابلیت های گیاهان..... ۱۲

۱-۸- نماهای سبز به عنوان یک پاسخ به گرم شدن شهری ۱۳

۱-۹- مزیت نماهای سبز در محیط های شهری..... ۱۳

۱-۱۰- فشارهای فیزیولوژیکی بر گیاهان در نماهای سبز در محیط شهری ۱۵

۱-۱۱- طبقه بندی سیستم های سبز عمودی..... ۱۷

۱-۱۲-تعریف و تقسیم بندی سیستم های سبز عمودی ۱۷

۱-۱۳- دیوار سبز سنتی..... ۲۱

۱-۱۴- نماهای سبز..... ۲۱

۱-۱۴-۱- نماهای سبز (Green Facade) ۲۱

۱-۱۴-۲- نماهای سبز کابلی (Cable-Supported) ۲۱
۱-۱۴-۳- نماهای سبز صلب (Rigid Green Facades) ۲۲
۱-۱۵- دیوارهای زنده ۲۲
۱-۱۵-۱- دیوارهای زنده (Living Walls) ۲۲
۱-۱۵-۲- دیوار زنده با حصیر پوشش گیاهی (Vegetated Mat Living Walls) ۲۳
۱-۱۵-۳- دیوار زنده پاکتی آویز (Hanging Pocket Living Wall) ۲۳
۱-۱۵-۴- دیوارهای زنده مدولار (Modular Living Walls) ۲۴
۱-۱۶- سنجش کلی ۲۴
۱-۱۷- طول عمر ۲۵
۱-۱۸- انرژی استفاده شده ۲۵
۱-۱۹- نگهداری و عملکرد ۲۵
۱-۲۰- رفتار در آب و هوای سرد ۲۶
۱-۲۱- هزینه های اصلی سیستم ۲۶
۱-۲۲- آنالیز مجموع ارزش سیکل زندگی ۲۷
۱-۲۳- انتخاب گیاهان مناسب برای سیستم های سبز عمودی ۲۷
۱-۲۴- گیاهان دیوار سبز ۲۸
۱-۲۵- مکانیزم گیاهان (نماهای سبز) ۲۹
۱-۲۶- بررسی اجمالی سیستم های سبز عمودی به عنوان سیستم های منفعل برای ذخیره انرژی ۲۹
۱-۲۶-۱- عایق تولید شده توسط گیاه و لایه ۳۰
۱-۲۶-۲- خنک شدن توسط تبخیر و تعرق ۳۱
۱-۲۶-۳- اختلافات تاثیر باد بر ساختمان توسط تاثیر مانع وار خود ۳۲

۱-۲۶-۴- سایه تولید شده توسط گیاهان..... ۳۲

۱-۲۷- شاخص محیط برگ..... ۳۴

۱-۲۸- کاهش درجه حرارت و تاثیرات خنک کننده سیستم های سبز عمودی..... ۳۵

۱-۲۹- کارایی های گرمایی مدل های متفاوت سیستم های سبز عمودی..... ۳۸

۱-۳۰- تاثیرات جهت بر کارایی های گرمایی سیستم های سبز عمودی..... ۴۱

۱-۳۱- ترکیب سیستم های سبز عمودی با ویژگی های معماری..... ۴۲

۱-۳۲- تاثیر دیوارها زنده بر کارایی گرمایی نمای ساختمان ۴۳

فصل ۲ : پیشینه تحقیقات..... ۴۵

۲-۱- تاریخچه..... ۴۶

۲-۲- تحقیقات مبتنی بر تجربه..... ۴۷

۲-۳- تحقیقات مبتنی بر شبیه سازی..... ۵۰

۲-۴- بررسی اجمالی تحقیقات ۵۳

فصل ۳ : روند تجربی ۵۵

۳-۱- سیستم دیوار زنده (پنل مدولار)..... ۵۶

۳-۲- گیاهان ۵۷

۳-۳- روند کاشت گیاهان ۵۷

۳-۴- پاپیتال..... ۵۸

۳-۴-۱- خصوصیات..... ۶۰

۳-۴-۲- شرایط گیاه در پروژه ۶۰

۳-۵- چمن عروس..... ۶۱

۳-۵-۱- آبیاری..... ۶۱

۳-۵-۲- دما..... ۶۱

۳-۵-۳- خاک ۶۲
۳-۵-۴- هرس ۶۲
۳-۵-۵- شرایط گیاه در پروژه ۶۲
۳-۶- فرانکنیا ۶۳
۳-۶-۱- کاشت ۶۳
۳-۶-۲- شرایط آب و هوایی و آبیاری ۶۴
۳-۶-۳- کاربرد ۶۴
۳-۶-۴- شرایط گیاه در پروژه ۶۴
۳-۷- چگالی شاخ و برگ ۶۴
۳-۸- بستر کاشت ۶۵
۳-۹- پرلیت (Perlite) ۶۵
۳-۹-۱- مزایای پرلیت ۶۶
۳-۱۰- کوکوپیت ۶۷
۳-۱۰-۱- فواید استفاده از کوکوپیت ۶۷
۳-۱۱- نحوه قرار گیری پنل ها برروی دیوار ۶۸
۳-۱۲- مشخصات قاب ها ۶۸
۳-۱۳- شرح و آنالیز سیستم ۶۹
۳-۱۴- شرایط پروژه (شرایط اقلیمی و فاکتورهای دیوار) ۶۹
۳-۱۵- شرح سیستم دیوار زنده ۷۱
۳-۱۶- حفره هوا (میزان عمق ، میکرو اقلیم) ۷۳
۳-۱۷- شرایط سیستم آبیاری ۷۴
۳-۱۷-۱- اهمیت سیستم آبیاری ۷۵

۳-۱۷-۲- استراتژی آبیاری..... ۷۶

۳-۱۷-۳- زمان دهی و میزان آب مصرفی..... ۷۷

فصل چهارم : مواد و روش ها ۷۹

۴-۱- متودولوژی..... ۸۰

۴-۲- ابزارها و پارامترها ۸۱

۴-۳- ابزارها..... ۸۲

۴-۳-۱- دستگاه هوا شناسی (Hobo Station) ۸۲

۴-۳-۲- دیتا لاگر های حرارتی (Hobo UX 100 – 014 m) ۸۲

۴-۳-۳- دیتا لاگرهای رطوبت هوا (UX100-003) ۸۳

۴-۳-۴- دیتا لاگرهای رطوبت هوا (RH20) ۸۳

۴-۳-۵- دوربین حرارتی (FLIR)..... ۸۳

۴-۴- پارامترهای اندازه گیری شده ۸۳

۴-۴-۱- پارامترهای اندازه گیری شده آب و هوا..... ۸۳

۴-۴-۲- پارامترهای اندازه گیری شده از دیوار زنده..... ۸۴

۴-۴-۳- پارامترهای اندازه گیری شده داخلی..... ۸۴

فصل ۵ : آنالیز و نتیجه گیری..... ۸۵

۵-۱- بررسی و آنالیز..... ۸۶

۵-۲- بازه دیتا برداری..... ۸۶

۵-۳- فاکتورهای آب و هوا..... ۸۶

۵-۳-۱تابش خورشیدی..... ۸۶

۵-۳-۲- سرعت باد..... ۸۷

۵-۳-۳- دمای هوای محیط..... ۸۷

۵-۴- تاثیر فاکتورهای آب و هوا بروی کارایی حرارتی دیوارهای زنده..... ۸۸
۵-۵- مرحله اول دیتا برداری (دوره آبیاری) (5 - 13 July) ۸۹
۵-۵-۱- دمای سطح دیوارهای خارجی..... ۸۹
- دیوار کنترل (5 – 20 July)..... ۸۹
- دمای سطح دیوار پشت دیوار های زنده (LWS 1 – LWS 2) - (5-13 July) ۹۰
- دمای سطح دیوار پشت دیوارهای زنده (LWS 3) (5 – 13 July) ۹۰
۵-۵-۲- دما و رطوبت هوای حفره دیوارهای زنده..... ۹۱
- دمای هوای حفره (LWS 1 – LWS 2) (5 - 13 July) ۹۱
- دمای هوای حفره (LWS 3) (5 – 13 July) ۹۲
- رطوبت هوای حفره ها (5 – 13 July) ۹۲
۵-۵-۳- دمای سطوح داخلی..... ۹۳
- دمای سطح دیوار داخلی (5 – 13 July) ۹۳
۵-۶- اختلاف رطوبت لایه ها (مقایسه همزمان) (5 – 13 July) ۹۴
۵-۶-۱- دمای سطح دیوار خارجی..... ۹۴
۵-۶-۲- دمای هوای حفره..... ۹۵
۵-۷- مرحله دوم دیتا برداری (دوره خشکسالی) (14-20 July)..... ۹۶
۵-۷-۱- دمای سطح دیوارهای خارجی..... ۹۶
- دمای سطح دیوار پشت دیوار های زنده (LWS 1 – LWS 2) (14-20 July) ۹۶
- دمای سطح دیوار پشت دیوار های زنده (LWS 3) (14-20 July) ۹۷
۵-۷-۲- دما و رطوبت هوای حفره های دیوار زنده..... ۹۸
- دمای هوای حفره (LWS 1 – LWS 2) (14-20 July) ۹۸
- دمای هوای حفره (LWS 3) (14-20 July) ۹۹

- رطوبت هوای حفره ها (14 –20 July)..... ۹۹

۵-۷-۳- دمای سطوح داخلی..... ۱۰۰

- دمای سطح داخلی (14 – 20 July)..... ۱۰۰

۵-۸- نتیجه گیری..... ۱۰۲

۵-۹- توصیه ها..... ۱۰۳

۵-۱۰- شکل‌های آماری..... ۱۰۵

منابع..... ۱۱۴

لیست جداول

جدول ۱-۱ : واژگان سیستم های سبز عمودی..... ۱۸

جدول ۱-۲ : دوگانگی سیستم های سبز عمودی..... ۲۰

جدول ۱-۳ : خلاصه نتایج آزمایشات Perini ۴۰

جدول ۱-۴ : خلاصه نتایج آزمایش Jaffar ۴۱

لیست شکل ها

شکل ۱-۱ : ۴ گروه سیستم های سبز عمودی بر اساس ایده Yu,C ۲۰

شکل ۱-۲ : شبیه سازی ۷ ساختمان در نرم افزار TAS توسط Wong ۳۵

شکل ۱-۳ : سیستم های سبز عمودی گوناگون استفاده شده در آزمایش Perini..... ۳۹

شکل ۱-۴ : مرکز تست آزمایشگاهی نماهای دو پوسته..... ۴۳

شکل ۳-۱ : پنل های دیوار زنده و شیار جهت تعبیه لوله آبیاری..... ۵۶

شکل ۳-۲ : درز گیری شیار زیری پنل ها..... ۵۶

شکل ۳-۳ : کاشت اولیه دو گیاه پاپیتال و گل ناز در پنل..... ۵۷

شکل ۳-۴ : از بین رفتن بخش زیادی از گیاه پاپیتال و گل ناز به دلیل شرایط نامساعد..... ۵۷

شکل ۳-۵ : ایجاد شرایط مساعد برای گیاهان در گلخانه..... ۵۸

شکل ۳-۶ : گیاه پاپیتال کاشته شده در پنل های دیوار زنده..... ۵۸

شکل ۳-۷ : میزان سطح پوشش و اندازه گیری عمق سایبان ۶۰
شکل ۳-۸ : گیاه چمن عروس کاشته شده در پنل های دیوار زنده ۶۱
شکل ۳-۹ : تامین رطوبت مناسب و بهبود شرایط گیاه در گلخانه ۶۱
شکل ۳-۱۰ : اندازه گیری عمق سایبان و رشد مناسب ریشه در بستر کاشت ۶۲
شکل ۳-۱۱ : گیاه فرانکنیا کاشته شده در پنل های دیوار زنده ۶۳
شکل ۳-۱۲ : میزان سطح پوشش و اندازه گیری عمق ۶۴
شکل ۳-۱۳ : نصب قاب های چوبی نگهدارنده پنل های دیوار زنده بروی دیوار ۶۸
شکل ۳-۱۴ : ۹ عدد قاب چوبی ۶۸
شکل ۳-۱۵ : ۳ دیوار زنده ۷۱
شکل ۳-۱۶ : عرض 35 cm دیوار و درز 5 cm بدون عایق ۷۲
شکل ۳-۱۷ : دیوار مورد نظر جهت نصب سیستم دیوار زنده و جهت گیری دیوار ۷۲
شکل ۳-۱۸ : حفره هوا به عمق 5 cm ۷۳
شکل ۳-۱۹ : سیستم آبیاری اتومات ۷۴
شکل ۳-۲۰ : انشعاب فرعی آبیاری به همراه شیرهای کنترل فشار ۷۵
شکل ۳-۲۱ : آبیاری متفاوت بین تراز وسط و پایین سیستم ۷۷
شکل ۴-۱ : مکان قرار گیری دیتالاگرها در پشت دیوار زنده ۸۱
شکل ۴-۲ : دستگاه هواشناسیHOBO ۸۲
شکل ۴-۳ : دیتا لاگرهای حرارتی و رطوبتی HOBO ۸۲
شکل ۴-۴ : دیتالاگرهای رطوبتی Extech ۸۳
شکل ۵-۱ : تصویر حرارتی 16 , 17 July در صبح ۱۰۱
شکل ۵-۲ : تصویر حرارتی 16 , 17 July در بعد از ظهر ۱۰۱
شکل ۵-۳ : تصویر حرارتی 13 July در صبح و بعد از ظهر ۱۰۱

لیست شکل های آماری

شکل آماری ۱ ..... ۱۰۵

شکل آماری ۲ ..... ۱۰۵

شکل آماری ۳ ..... ۱۰۶

شکل آماری ۴ ..... ۱۰۶

شکل آماری ۵ ..... ۱۰۷

شکل آماری ۶ ..... ۱۰۷

شکل آماری ۷ ..... ۱۰۸

شکل آماری ۸ ..... ۱۰۸

شکل آماری ۹ ..... ۱۰۹

شکل آماری ۱۰ ..... ۱۰۹

شکل آماری ۱۱ ..... ۱۱۰

شکل آماری ۱۲ ..... ۱۱۰

شکل آماری ۱۳ ..... ۱۱۱

شکل آماری ۱۴ ..... ۱۱۱

شکل آماری ۱۵ ..... ۱۱۲

شکل آماری ۱۶ ..... ۱۱۲

شکل آماری ۱۷ ..... ۱۱۳

۱- فصل اول : معرفی سیستم های سبز عمودی

۱-۱-مقدمه

با نگاهی عمیق به معماری ایران در تمدن های قدیم خود ، توجه به آسایش فضاهای مسکونی و معماری همساز با اقلیم و شرایط محیطی به خوبی دیده می‌شود .امروزه مشکلات در شهرهای بزرگ ایران بخصوص در مناطق با اقلیم گرم و خشک و در فصول گرم سخت شده و بروی سلامتی و آسایش ساکنین خود تاثیر می گذارد .شهرهای بزرگ با مصرف بیشتر از ماشین آلات باعث ایجاد دی اکسید کربن بیشتر در شهرها شده که موجب اثر جزایر گرمایی بالاتر و مصرف بیشتر انرژی برای خنک کردن ساختمان ها می شود . این ها همه عوامل به هم پوسته ای بوده که کارایی شهرهای بزرگ را به شدت کاهش داده است .از گذشته در اکثر تمدن های پیشرفته توجه خاصی به گیاهان و درختان از جهت زیبایی شناسی و نقش منفعل آن در کاهش حرارت و سایه اندازی می شده است . شاید اولین استفاده از گیاهان در تلفیق با ساختمان را بتوان بام های سبز طبقاتی در زیگورات بابل مربوط به تمدن بین النهرین دانست .معماری ایرانی نیز همواره به گیاهان و درختان و خاصیت سایه اندازی درختان توجه داشته و با تلفیق آن با خانه های حیاط مرکزی و حوض آب بدنبال خنک کردن جریان هوای موجود در حیاط مرکزی ساختمان ها بوده که کمک زیادی به ایجاد شرایط آسایش ، بخصوص در اقلیم گرم و خشک برای ساختمان های مسکونی می‌کرده است .با توجه به این که ایران کشوری با اقلیم‌های گوناگون بوده لذا دارای تنوع گیاهی بالایی است که پتانسیل زیادی از جهت تنوع گیاهان برای تحمل شرایط اقلیمی گوناگون ایجاد می‌کند .بعلاوه گیاهان و سیستم‌های سبز عمودی در تراز خیابان ها موجب مزایایی از جمله جذب آلاینده های تولید شده توسط ماشین آلات ، جذب و ذخیره سازی آب باران و جلوگیری از ایجاد روان آب‌ها و کاهش اثر جزایر گرمایی در شهرها و کاهش مصرف انرژی در ساختمان‌ها شده که این بخشی از قابلیت‌های چند گانه سیستم‌های سبز عمودی می باشد . این مزایا می تواند باعث بهبود شرایط محیطی شهرهای بزرگ از جهات مختلف شود .لذا کمبود اطلاعات در مورد این سیستم‌ها با توجه به تنوع اقلیمی و گیاهی و مجموعه مزایای این سیستم‌ها احساس می‌شود . موضوع اصلی در

کارایی انرژی سیستم‌های سبز عمودی قابلیت آنها به عنوان عایق حرارتی بیرونی ساختمان در کاهش انتقال حرارت به داخل ساختمان می‌باشد . نزدیک چند دهه از توجه به قابلیت‌های منفعل گیاهان بروی کاهش حرارت ساختمان گذشته است . اولین تحقیقات بروی تاثیر سایه اندازی درختان بر کاهش حرارت ساختمان بود که کاهش حرارت سطحی قابل توجهی در مناطق تحت تاثیر سایه درختان را نشان می داد . به مرور زمان با رشد سیستم‌های سبز در ساختمان ها این تحقیقات شاخه های بیشتری را به خود اختصاص دادند . از این جهت که بام ساختمان بیشترین تابش خورشیدی را دریافت می کرد بام های سبز می توانست به عنوان یک عایق مناسب عمل کند . اگر چه این تاثیر بیشتر برای آخرین طبقه ساختمان محسوس می‌باشد . بعلاوه رشد عمودی ساختمان ها در شهرهای بزرگ نسبت سطوح عمودی به بام ساختمان ها را افزایش داده که نقش حرارتی دیوارهای سبز را به نسبت بام های سبز به مراتب بیشتر می‌کند . در واقع دیوارهای سبز قابلیت پوشش بالا و تاثیر بیشتر در کارایی حرارتی ساختمان را در مقابل تابش خورشید در فصول گرم دارا می باشند . در مجموع فاکتورهای گوناگونی بر مجموع کارایی حرارتی سیستم‌های سبز عمودی بر ساختمان اثر گذاشته که در اقلیم های گوناگون ایران باید مورد ارزیابی قرار گرفته شوند . بطور کلی تحقیقات بروی این موضوع به دو دسته کلی آزمایشات شبیه سازی و آزمایشات تجربی تقسیم بندی شده که در هر دو مورد پیشینه تحقیقات در ایران کمیاب هستند . با توجه به این که این تحقیقات بصورت میان رشته ای بین کشاورزی و مهندسی ساختمان بوده ، آزمایشات تجربی از ارزش بالایی برخوردارند و چالش های این سیستم‌ها را بیشتر مورد توجه قرار می دهند . بعلاوه این که شرایط گیاهان بعنوان موجودات زنده در پروژه در نظر گرفته شده ، ارزش این دسته از تحقیقات را افزایش می دهد.

بطور کلی سیستم‌های سبز عمودی به دو دسته نماهای سبز و دیوارهای زنده مورد توافق اکثر پژوهش های انجام شده توسط محققان ، تقسیم شده اند . در این سیستم‌ها وجود بستر کاشت عمودی برای دیوار زنده ، تفاوت اصلی آن با نماهای سبز می باشد . در واقع ساختار نمای سبز بر اساس پشتیبانی

برای رشد گیاهان بالارونده بروی آن بوده و گیاهان در پای ساختمان کاشته می‌شوند . دیوارهای زنده با بستر کاشت عمودی قابلیت پوشش تنوع بزرگتری از گیاهان را داشته (مرتبط با عمق بستر کاشت) و تاثیر بیشتری برروی کاهش حرارت سطح دیوار پشتی خود می گذارند .بستر کاشت متاثر از عمق و جنس آن و وابسته به میزان رطوبت و قرار گیری تحت تابش خورشید و جریان باد ، می‌تواند بروی کارایی حرارتی دیوارهای زنده اثر گذار باشد . بطور ساده می توان گفت بستر کاشت به تنهایی می تواند بصورت حائل در برابر دیوار با سایه اندازی و قطع کردن تابش مستقیم خورشید از دیوار به اضافه رطوبت متاثر از آبیاری ، تاثیر بالایی در کاهش حرارت سطح دیوار پشتی خود داشته باشد. در واقع دیوارهای زنده با ایجاد میکرو اقلیمی با دمای پایین تر در پشت خود میزان انتقال شار حرارتی از سطح دیوار را تا حد زیادی کاهش می دهند. لذا به جهت تاثیر بیشتر این سیستم‌ها بروی کارایی حرارتی ساختمان و تحقیقات محدودتر توسط پژوهش های تا کنون انجام شده ، سیستم‌های دیوار زنده را برای ارزیابی تاثیر حرارتی سیستم‌های سبز عمودی در پژوهش خود مورد استفاده قرار دادیم .متودولوژی های به کار برده شده برای ارزیابی کارایی حرارتی این سیستم و حتی سیستم‌های مختلف با یکدیگر بر اساس ارزیابی همزمان اطلاعات با دیوار برهنه صورت گرفته و با داشتن اطلاعات دمایی و رطوبتی از نقاط مختلف سیستم و مقایسه آنها با یکدیگر ، می‌توان به میزان تاثیر کارایی حرارتی سیستم‌های دیوار زنده و فاکتورهای موثر بر آن پی برد . لذا در نظر داریم تاثیر حرارتی دیوارهای زنده را متاثر از ۲ فاکتور اصلی میزان پوشش و تراکم گیاه و همچنین تاثیر رطوبت بر کارایی حرارتی بستر کاشت و گیاهان دیوار زنده مورد بررسی قرار دهیم . روند جمع آوری اطلاعات در بازه دوهفته آخر تیر ماه ۹۵ با ۳ دیوار زنده با ۳ نوع گیاه بومی با میزان تراکم و پوشش گوناگون و دو دوره آبیاری و خشکسالی مورد ارزیابی قرار گرفت . در نتیجه با مجموعه عکس ها به شرح روند تجربی پرداخته و آنالیز اطلاعات با نمودارهای آماری به طور مشخص به تاثیر فاکتورهای ذکر شده بروی کارایی حرارتی این ۳ سیستم پرداخته‌ایم .

۱-۲- گیاهان و فواید گوناگون

گیاهان و پوشش سبز دارای فواید متعدد برای محیط‌های شهری هستند. به عنوان مثال ، در فضای خارجی ، گیاهان ابزار طبیعی برای کنترل شرایط میکرو اقلیم بوسیله تاثیر سایه اندازی ، جذب و قابلیت‌های انعکاس هستند (Picot , 2004) . اثبات شده است که مناطق سبز کوچک با فاصله‌های مناسب کمک به خنک کردن اطراف می‌کنند (Honjo , 1990) . یک آزمایش این را تایید می‌کند و ارتباط مستقیم بین درجه حرارت و مناطق سبز وجود دارد(Wong , 2005) . بکارگیری پوشش سبز بر سطوح ساختمان یک روش برای ادغام مناطق شهری و گیاهان می‌باشد (MacIvor , 2010). این یک پاسخ برای آلودگی سنگین بوده چراکه ارزش بالای زمین مانع از داشتن فضا سبز عمومی‌کافی برروی زمین برای ساکنان می‌شود (Wong , 2007). کنترل درجه حرارت بوسیله بام‌های سبز معمول شده اند و تحقیقات ارزشمندی انجام پذیرفته است (Wong , 2003)، اما استفاده سیستم‌های سبز عمودی برای کنترل درجه حرارت یک ایده جدید بوده و احتیاج به توجه بیشتری دارد (Mir, 2011) . فواید سیستم‌های سبز عمودی به سه قسمت تقسیم می‌شوند : اقتصادی ؛ فواید اجتماعی و فواید محیطی (Kontoleon , 2010)

۱-۳- فواید اقتصادی

در زندگی مدرن توجه به فواید اقتصادی سیستم‌های سبز عمودی در حال گسترش است. یک راه استفاده سیستم‌های سبز عمودی به عنوان سایه انداز بر پنجره‌هاست . افزایش نور روز و کاهش تشعشع ناراحت کننده از خصوصیات سیستم‌های سایه اندازی مناسب هستند (Kim , 2012) و آنها منجر به کاهش احتیاج الکتریسیته می‌شو ند. بعلاوه ، آنها می‌توانند مانند سطوح اسفنجی عمل کرده و باران‌های طوفانی را کنترل کنند (Lang , 2010) . به علاوه از مزایای اقتصادی سیستم‌های سبز عمودی ، یک

فایده مهم کاهش درجه حرارت می‌باشد (Bennett , 2012). درجه حرارت شاخص اصلی راحتی انسان است . سطوح سخت و نشت ناپذیر مانند بتن و آسفالت نه تنها تابش خورشید را جذب می‌کنند ، بلکه آن را به اتمسفر بازتابش می‌کنند (Figueroa , 2008). به کار بردن مناطق گیاهی در شهرها دارای تاثیرات حیاتی در کاهش اثر جزایر گرمایی هستند ، زیرا گیاهان تابش با طول موج کوتاه را جذب می‌کنند ، و بازتابش خورشیدی از سطوح سخت را کاهش می‌دهند (Wong , 2006). بعلاوه ، آنها محیط را توسط تاثیر سایه اندازی (Bass , 2007) و تبخیر و تعرق گیاهان (Alexandri , 2008) خنک می‌سازند. تعدادی تحقیقات در مورد تاثیرات پوشینه‌های سبز شهری و بام‌های سبز بر کاهش اثر جزایر گرمایی وجود دارد (Wong , 2005 , Oliveira , 2011). اما تاثیرات سیستم‌های سبز عمودی بر کاهش اثر جزایر گرمایی و کاهش درجه حرارت احتیاج به تحقیقات بیشتر ی دارند. سیستم‌های سبز عمودی علاوه بر این درجه حرارت شهرها و اثر جزایر گرمایی را کاهش داده ، و همچنین درجه حرارت یک ساختمان یا یک ساختار که سیستم سبز عمودی بر آن نصب شده را نیز کاهش می‌دهند. (Wong , 2009 , Eumorfopoulou , 2009). بخاطر امکان سیستم‌های سبز عمودی برای کاهش درجه حرارت ، آنها سیستم‌های مناسب برای کاهش درخواست انرژی خنک شدن و بهبود در بهره وری انرژی ساختمان‌ها هستند

۱-۴- فواید اجتماعی

بکارگیری سیستم‌های سبز عمودی برای فواید اجتماعی آن مربوط به زمان باستان بوده و باغ‌های معلق بابل یکی از مثال‌های مشهور آن است. (Wong , 2010). مردم از پوشینه‌های سبز در ساختمان‌ها و مناطق زندگی خود در فرم‌های متفاوت برای حس زیبایی استفاده می‌کردند ، زیرا برقراری ارتباط با طبیعت از لحاظ زیست شناسی غریزی می‌باشد. گیاهان مکان‌هایی برای تفریح و استراحت تولید می‌کنند (Papadakis , 2001) .ثابت شده است که ارتباط با طبیعت دارای تاثیر روانی بوده و سلامت

انسان را افزایش می‌دهد . بر این اساس ، انسان‌ها به‌طور طبیعی ترکیب پوشینه سبز در شهرها و مناطق شهرها را طلب می‌کنند و سطوح خاکستری و بی روح را به پرده‌های سبز تبدیل می‌کنند. این ایده Blanc را ثابت می‌کند (Blanc , 2008) که گیاهان در مناطق شهری و ترکیب شده با ساختمان‌ها مردم را بیشتر از گیاهان در باغ‌ها مجذوب می‌کنند.

۱-۵- فواید محیطی

سیستم‌های سبز عمودی دارای فواید محیطی بسیاری هستند. برای مثال ، گیاهان بر منظره عمودی گرد وخاک را جذب می‌کنند و هوا را تمیز می‌کنند و از این طریق آنها مانند فیلتر طبیعی هوا کار می‌کنند. بعلاوه ، مبتنی بر فتوسنتز گیاهان ، گیاه دی اکسید کربن را جذب کرده و اکسیژن آزاد می‌کند. این مسئله هوا را تمیز نگه می‌دارد و از نشر دی اکسید کربن جلوگیری می‌کند. دی اکسید کربن سطح زمین را مانند یک روکش پوشش داده و باعث گرم تر شدن زمین می‌شود , Aziz) .2011)

۱-۵-۱- فیلتر کردن هوا و آمیختن اکسیژن

بسیاری از شهرهای مدرن از آلودگی هوا رنج می‌برند که می‌تواند منجر به بیماری‌های انسانی شده و منجر به زوال مواد ساختمان شود. اثبات شده که کیفیت هوای اتمسفر زمین می‌تواند توسط گیاهان بهبود پیدا کند. (Peck , 1999). به علاوه قابلیت فیلتر کردن هوا و آمیختن اکسیژن از گیاهان می‌تواند به‌طور گسترده‌ای به افرادی که از بیماری‌هایی تنفسی که به علت آلودگی هوا بوجود می‌آیند مانند آسم یا آلرژی سود برساند. (Peck , 1999). گیاهان می‌توانند ذرات هوا را در شاخ و برگ خود

به دام انداخته و آلوده کننده‌های گازی را از اتمسفر جذب کنند. برگ‌های گیاه همچنین قابلیت جذب فلزات سنگین شامل کادمیوم ، مس ، سرب و روی را از اتمسفر دارند.

۱-۵-۲- کاهش اثر گازهای گلخانه‌ای

در طول دوره فتو سنتز گیاهان دی اکسید کربن ، آب و تابش خورشید را به اکسیژن و گلوکز تبدیل می‌کند. گیاهان اکسیژن تولید کرده و برای حیاط بر روی زمین ضروری هستند. در شهرها در جایی که زمین‌ها و فضاهای افقی ارزشمند توسط ساختمان‌ها گرفته می‌شود میزان گیاهان کم شده که در نتیجه تولید اکسیژن را کاهش می‌دهد. به علاوه ، منابع شهری متعدد دی اکسید کربن و دیگر گازهای گلخانه‌ای را در اتمسفر منتشر می‌کنند. در این شرایط گازهای گلخانه‌ای تولید شده می‌توانند توسط گیاهان جذب شده که منجر به کیفیت کلی پایین تر دمای هوای شهر می‌شود. گزارش شده است که احتیاج اکسیژن سالانه برای یک انسان می‌تواند توسط یک درخت با ۵ متر قطر سایه بان یا ۴۰ متر مربع از یک دیوار گیاهی پوشیده شده با شاخ و برگ متراکم تولید می‌شود. بنابراین مهم است تا گیاهان در محیط‌های بی بهره از اکسیژن شهرها توسط خلق پارک‌های شهری یا به‌طور ساده توسط ساخت نماهای سبز مورد استفاده قرار بگیرند.

۱-۵-۳- کاهش اثر جزایر گرمایی

تاثیر جزایر گرمایی UHI به علت اختلاف درجه حرارت بین مراکز و حومه شهر بوده که منجر به یک مشکل جدی در بسیاری از شهرهای مدرن شده است. مرکز شهرها به‌طور قابل ملاحظه‌ای گرمتر هستند چرا که بسیاری از منابع گرمازا، به‌طور عمده ماشین‌ها ، صنایع ، تجهیزات مکانیکی و مواد ساختمانی با سطوح انعطاف پذیر و سخت ، گرما را به محیط شهر بازتابش می‌کنند. دمای هوا در حومه شهر معمولا

بسیار کم بوده که این مسئله به علت دسترسی به گیاهان که قابلیت جذب گرمای اضافه را دارند می‌باشد .با توجه به آژانس حفاظت از محیط‌زیست EPA دمای هوای سالانه یک شهر با یک میلیون نفر یا بیشتر میتواند ۱ تا ۳ درجه سانتیگراد گرمتر از حومه آن شهر باشد. در بعد از ظهر این تفاوت می‌تواند به بزرگی ۱۲ درجه سانتیگراد باشد. تاثیر UHI موجب استفاده بیشتر از سیستم‌های تهویه در ساختمان شده و آلودگی هوا و نشر گازهای گلخانه‌ای به اتمسفر را افزایش می‌دهد. تاثیر UHI می‌تواند توسط مرسوم کردن فضاهای سبز شهری بیشتر با گیاهان مانند پارک‌های شهری ، بام‌های سبز و دیوارهای سبز کاهش یابد. گیاهان می‌توانند باعث ایجاد میکرو اقلیم‌های منطقه‌ای توسط کاهش دمای داخلی ساختمان ، افزایش میزان رطوبت و محافظت ساختمان و سایت از تماس مستقیم در مقابل باد و نور خورشید شوند.

۱-۵-۴- کاهش صدا

یکی از فواید سیستم‌های سبز عمودی قابلیت آنها برای کنترل صدا و استفاده آنها بعنوان مانعی برای وقفه صدا می‌باشد (Van Renterghem , 2009 , Wong , 2010). آنها همچنین دارای قابلیت کاهش انعکاس صدا و اختلال صدا می‌باشند.

۱-۵-۵- محافظت پوششی

نماهای سبز از ساختار دیوار در پشت لایه گیاه از تابش فرابنفش که باعث زوال مواد ساختمانی می‌شوند محافظت می‌کنند. همچنین دیوارهای سبز قابلیت کاهش نوسانات حرارتی روزانه دیوار که عاملی برای ایجاد فشار درونی در مواد ساختمانی و ترک خوردن و کهنگی زودرس می‌شوند را دارا می‌باشد. در روزها حرارت سطحی دیوار بین ۱۰ درجه تا ۶۰ درجه سانتیگراد نوسان داشته در حالی که سطح پوشیده

شده با گیاه نوسانی بین ۵ تا ۳۰ درجه سانتیگراد دارند. یک لایه گیاه خارجی در ساختمان‌ها به عنوان یک پوشش محافظت کننده مواد دیوار از آسیب فیزیکی و محافظت کردن در برابر باران از ساختار دیوار کمک می‌کند. به علاوه ، متریال دیوار که محافظت شده از فاکتورهای خارجی هستند احتیاجی به نگهداری زیادی نداشته و دارای طول عمر بیشتری بوده و به عنوان نتیجه دارای ارزش سیکل زندگی پایین تری می‌باشند.

۱-۶- شهرها و ارتباط با طبیعت

طبیعت از لحاظ روانی تاثیر مثبت بر روی انسان می‌گذارد. این پدیده ، دلبستگی به محیط‌های طبیعی اطراف در مفهوم بیوفیلیا ، عنوان شده توسط ادوارد ویلسون در دهه ۱۹۸۰ است. لذا ارتباط با طبیعت به ویژه در محیط‌های شهری که طبیعت با دست ساخت‌های انسان جایگزین شده از اهمیت بیشتری برخوردار است. در طراحی شهرهای بیو فیلیک ، احتیاج ضروری برای ارتباط روزانه با طبیعت بوده در جایی که طبیعت هدف اصلی طراحی شهری ، برنامه ریزی و مدیریت شناخته می‌شود. دیوارهای سبز و بام‌های سبز نیز جزو جنبه‌های تاثیر گذار در شهرهای بیوفیلیک هستند . اگر چه این موضوع با توجه به ارزشمند شدن زمین‌های شهری به نوعی چالش برانگیز است. امروزه ایده یکپارچه سازی محیط‌های طبیعی و ساختمان‌ها در قالب پشت بام سبز و دیوارهای سبز به عنوان ویژگی برجسته در خیلی از شهرها مورد استفاده قرار می‌گیرد. ثابت شده بام‌های سبز راهی موثر برای کاهش روان آب‌های سطحی در شهرها بوده و به عنوان عایقی مناسب عمل کرده و باعث ایجاد تنوع زیستی در شهرها می‌شوند (Peck , 1999). با توجه به افزایش تراکم ساختمان در شهرهای بزرگ ، نمای ساختمان‌ها به عنوان سهم بزرگتری نسبت به بام‌ها خودنمایی می‌کنند. در طبیعت نیز رویش گیاهان برروی سطوح امری موجود و متداول است. به عنوان مثال گیاهان روییده برروی صخره‌ها و یا گیاهان بالارونده در جنگل‌ها که برای رسیدن به نور کافی از بدنه درختان بالا می‌روند از این دست می‌باشند. در محیط‌های شهری

نیز گیاهان روییده از ترک‌ها و مفصل‌های دارای رطوبت در ساختمان‌های قدیمی‌قابل رویت می‌باشد. قابلیت گیاهان برای رویش برروی سطوح عمودی تحت عنوان نماهای پوشیده شده با گیاه یا دیوارهای سبز مورد کاوش قرار گرفته اند. نمای یکپارچه پوشیده شده با گیاه می‌تواند در بلوکه کردن تابش خورشیدی و یا برای کاهش نوسانات دمای هوای اطراف خود و کاهش سرعت باد موثر باشند. این تاثیرات گیاهان می‌تواند به عنوان استراتژی‌های منفعل برای کنترل انتقال گرما در نمای ساختمان استفاده شوند. در واقع استفاده از گیاهان برای کنترل انتقال گرما از قرن‌ها پیش در معماری بومی‌استفاده می‌شده است. اگرچه امروزه با سیستم‌های پیشرفته مکانیکی برای گرمایش ، سرمایش و تهویه ، گیاهان کمتر برای این منظور مورد استفاده قرار می‌گیرند. نمای ساختمان‌های مدرن از مواد سبک تری ساخته شده که مقاومت گرمایی کمتری داشته ، همچنین استفاده فراوان از متریال شیشه‌ای در ساختمان منجر به افزایش بار سرمایی ساختمان به جهت جذب بیشتر گرمای خورشید در نمای خارجی ساختمان می‌شود. افزایش مصرف انرژی در ساختمان ، بعلاوه از دست گرما در نمای ساختمان منجر به بالا رفتن مصرف انرژی در ساختمان‌ها می‌شود. استفاده از انرژی در ساختمان‌ها به‌طور قابل ملاحظه‌ای در پایان قرن بیستم افزایش یافته است. در واقع بالارفتن مصرف انرژی در ساختمان و استفاده از منابع طبیعی تجدید پذیر فشار زیادی بر منابع زمین می‌آورند. یکی از این موارد جهت کاهش مصرف انرژی در ساختمان توسط کاهش بار گرمایی و سرمایی بوده که به‌طور معمول بعلت انتقال گرمای مفرط در دیواره‌های ساختمان است. یکی از این استراتژی‌ها استفاده از گیاهان بر نمای ساختمان‌هاست. بنابراین در این پژوهش بدنبال تاثیر دیوار سبز برروی کاهش انتقال بار گرمایی برروی دیوار بیرونی ساختمان هستیم.

۱-۷- مشکلات شهری و قابلیت‌های گیاهان

شهرها معمولا دارای درجه حرارت بالاتر هوا از مناطق اطراف روستایی خود هستند. (Arnfield , 2010) که اثر جزایر گرمایی (UHI) نامیده می‌شود. بخصوص در شب این تفاوت‌ها بالاتر هستند .

(Buyantuyev, 2010). برای مثال ، درجه حرارت هوای اندازه گیری شده در مرکز شهری متراکم برلین تا ℃ ۸ بالاتر از آنهای متعلق به جنگل Grunewald در دوره زمانی تابش شبانه است (SenStadt , 2001). پدیده UHI اساسا سبب جذب افزایش یافته تابش خورشید بوسیله یک سطح شهر در مقایسه با چشم انداز طبیعی است (Takebayashi, 2007). در نتیجه باعث ذخیره سازی گرمای بالاتر به سبب تراکم بالاتر و گنجایش بالاتر گرما از ساختارهای ساخته شده در مقایسه با سطوح گیاه کاری شده طبیعی می‌باشد(Alexandri , 2004) . گنجایش گرمای بالاتر منجر به نشر بالاتر طول موج بلند از ساختارهای ساخته شده در دوره زمان شب می‌شود (Sham , 2012). نتایج بعدی نشرهای گرمای انسانی افزایش یافته و تبخیر و تعرق محدود شده به سبب کمبود گیاهان می‌باشد . (Wang , 2008)تغییر اب و هوای جهانی افزایش دهنده این درجه حرارت بالاتر در شهرها شده ، که منجر به فشار گرمای افزایش یافته بیرونی و درونی برای جمعیت شهری می‌شود. فشار گرما تهدید کننده سلامتی انسان بوده و منجر به مرگ و میربالاتر بخصوص در افراد پیرتر می‌شود (>۶۵ سال) .چند پژوهش نشان می‌دهد که گیاهان شهری درجه حرارت محیط را کاهش می‌دهد. (Lu, 2012) بهرحال ، فضا برای گیاهان شهری بصورت افقی کم بوده و تاثیر آن از لحاظ فضایی محدود برای یک چهارم مجاور هست (Bowler , 2010). پوشینه سبز می تواند یک اقدام متقابل امید بخش برای فشار حرارت شهری باشد ، زیرا می‌تواند تقریبا همه جا در شهر بکار گرفته شده ، بخصوص بروی ساختمان‌ها ، که در آن مردم اساسا از فشار حرارت رنج می‌برند. بعلاوه پوشینه سبز نما در ساختارهای سبز توسط سایه اندازی ، خنک کردن بوسیله تبخیر و تعرق باعث خنک شدن محیط اطراف خود می شوند (Pérez , 2011).

۱-۸- نماهای سبز به عنوان یک پاسخ به گرم شدن شهری

در شهرهای سراسر جهان توسعه نقشه و پهن شدن شهرها منجر به تهی سازی سریع و زیاد گیاهان می‌شود. به علت اینکه فواید خنک کردن سایه اندازی و تبخیر و تعرق تامین شده گیاهان به‌طور تصاعدی

از دست می‌روند ، تاثیر اثر جزایر گرمایی تشدید می‌شوند. افزایش درجه حرارت محلی وابسته به تاثیر اثر جزایر گرمایی ، هنوز بیشتر از پیشگویی‌ها توسط مدل‌های تغییر آب و هوا در دهه‌های پیش رو است (Grimm et al , 2008). به این علت که شهرها گرم تر می‌شوند درخواست برای خنک کردن فضای ساختمان افزایش می‌یابند. این افزایش چشمگیر در مصرف انرژی برای خنک کردن فضا بازخوردهای زیادی از جمله افزایش نشر گازهای گلخانه‌ای و بالا بردن حرارت محیط بیرون در مناطق شهری بخاطر گرمای اتلافی آزاد شده بوجود می‌آورد (Ohashi et al , 2007). استفاده استراتژیک از زیر ساخت‌های سبز (شامل درختان سایه انداز ، بام‌های سبز ، دیوارهای سبز) ممکن است کاهش دهنده این مشکلات باشند. (Del Barrio 1998 , Sailor et al 2008). در حالیکه زیر ساخت های سبز ارائه کننده بسیاری از سرویس‌های اکوسیستم مضاعف ، مانند بهبود سلامتی انسان ، تصرف و حفظ فاضلاب ، خلق محل سکونت برای گونه‌های مختلف ، تضعیف صدا می باشند . نماهای سبز دارای فواید در مناطق داخل شهری متراکم ، در جایی که دیوارهای ساختمان‌های با ارتفاع بلند در بردارنده یک تناسب بزرگ از مجموع محیط سطح و زمین بوده که محدودیت برای گیاهان یا درختان سایه دار ایجاد کرده می‌باشند (Cheng , 2010 , Jim and he , 2011).

۱-۹- مزیت نماهای سبز در محیط‌های شهری

نمای سبز دارای مزیت‌های بسیاری با زیبایی شناسی ، عملکرد محیطی و فواید اقتصادی بوده. ، که همگی فاکتورهایی هستند که دارای یک تاثیر بالا بر ارزش اقتصادی از یک ساختمان یا یک همسایگی می‌باشند و همچنین سلامت انسان را بهبود می‌بخشند. برای مثال مریضان بیمارستان که می‌توانند پوشش سبز را بیرون از پنجره ببینند نسبت به آنهایی که نمی‌توانند سریعتر بهبود می‌یابند(Dunnett and Kingsbury , 2008) . فواید محیطی پوشش سبز ساختمان در یک محدوده معیارها عمل کرده ، تعدادی اگر یک سطح بزرگ در محیط مشابه سبز باشند کار کرده و بقیه آنها مستقیما بر مقیاس

ساختمان عمل می‌کنند. (Taha 1997 , Onishi 2010). فواید در رابطه با مقیاس بزرگتر اساسا تاثیر بر بهبود کیفیت هوا و تنوع زیستی شهر و کاهش اثر جزایر گرمایی می‌گذارد. (Köhler 2008 , Onashi et al 2010) بهبود کیفیت هوا ناشی از گیاهان در رابطه با جذب ذرات ریز گرد و خاک و جذب آلوده کننده‌های گازی مانند Co2 , No2 , So2 است. دی اکسید کربن بوسیله گیاهان برای پروسه فتوسنتز مورد استفاده قرار گرفته که تولید کننده اکسیژن و Biomass می‌کند ؛ نیتروژن و سولفور دی اکسیدها تبدیل به نیترات‌ها و سولفات‌ها در بافت گیاه می‌شوند. ذرات ریز گرد و خاک ، اساسا چسبیده به بیرون قسمت‌های گیاه هستند (Ottelé et al , 2010 , Stemberg , 2010) . اجزا گرد و خاک کوچکتر از 2.5 pm در محدوده‌های متراکم شهری وارد می‌شوند و آنها می‌توانند به‌طور عمیقی در سیستم تنفسی استنشاق شده و باعث معایبی برای سلامتی انسان شوند (Powe and Willis , 2004). در شهرها پدیده اثر جزایر گرمایی (UHI) می‌تواند موجب درجه حرارت هوای تا ۲-۵ سانتیگراد بالاتر از آنهای در مناطق روستایی اطراف شود ، اساسا به علت میزان سطوح مصنوعی (high albedo) در مقایسه با پوشش طبیعی زمین (Taha 1997 , Onashi et al 2010). سطوح هموار سبز تابش خورشید را قطع می‌کنند و می‌توانند گرم شدن سطوح سخت را کاهش دهند. نماهای سبز و بام‌ها مقدار زیادی از تابش خورشید را بوسیله وجود رشد گیاهان و توابع بیولوژیک خود جذب می‌کنند (فتوسنتز ، تعرق ، تبخیر و تنفس). تاثیر تبخیر و تعرق و سایه اعمال شده بوسیله گیاهان به‌طور قابل ملاحظه‌ای میزان گرمای بازتابش شده بوسیله نما و دیگر سطوح سخت است را کاهش می‌دهد.. تاثیر تبخیر و تعرق و سایه اندازی بر میزان رطوبت و درجه حرارت همچنین تاثیر بر میکرواقلیم داخلی و خارجی ساختمان می‌گذارد. به عنوان نتیجه بخصوص در شرایط آب و هوایی گرم تر ، این می‌تواند استفاده Air Conditioning را کاهش دهد که باعث ذخیره انرژی قابل توجه در ساختمان می‌شود. (Alexandri and Jonese , 2008). پتانسیل خنک کردن نماهای سبز یا پوشینه سبز عمودی در بسیاری از پژوهش‌ها مطرح شده است.(Wong et al , 2009) تاثیرات

یک مجموعه دیوار ایستاده در Hart Park سنگاپور مجهز با پوشینه سبز عمودی را مورد پژوهش قرار داد و یک کاهش ماکزیمم ۱۱٫۶ سانتیگراد را نشان داد. این اثبات می‌کند که یک نمای سبز میزان کمتری گرما از یک نمای غیر سبز جذب می‌کند و میزان کمتری تابش گرما در بعد از ظهر و شب منعکس می‌کند. (Perini et al , 2011) نشان می‌دهد که نماهای سبز و سیستم‌های دیوار زنده LWS دارای خصوصیات متفاوتی هستند که کمک به کاهش درجه حرارت کرده و به‌طور مثبتی تاثیر بر خصوصیت عایق گونه ساختمان ناشی از قطر شاخ و برگ گیاه که یک لایه هوای راکد خلق می‌کند . یک لایه سبز می‌تواند خصوصیت گرمایی از یک نما را بالا برده و ساختمان را از بادهای سنگین محافظت کند. برای هر دو نمای سبز و سیستم‌های دیوار زنده این نتایج اشاره بر پتانسیل ذخیره انرژی برای پوشش‌های ساختمان در آب و هوای گرم تر و خنک تر دارد. (Perini et al , 2011)

۱-۱۰- فشارهای فیزیولوژیکی بر گیاهان در نماهای سبز در محیط شهری

اکثر مقاله‌ها در مورد نماهای سبز مستعد این فرضیه بوده که ساختمان‌های چند طبقه بدون اهمیت ارتفاع می‌توانند کاملا پوشیده با یک نوار همیشگی از گیاه باشند. برای مثال (Alexandri and Jones 2008) ادعا می‌کند که در مناطق شهری ، پوشش کامل ساختمان از یک ساختمان چند طبقه در هر شهر از گرم و خشک ریاض تا قطبی مونترال می‌تواند به‌طور ساده ای پوشیده با گیاهان باشد و میکرو اقلیم محیط ساخته شده و همچنین آب و هوای محلی شهر را تغییر دهد. نه تنها چنین توضیحی ناموفق در شناسایی محدودیت‌های فیزیولوژیکال گیاهان بالارونده است ، همچنین به‌طور اشتباهی فرض می‌کند که قاعده گرمایی میکرو اقلیم‌ها می‌تواند در مقیاس بزرگتر خطی از ساختمان‌های انفرادی تا مقیاس‌های گسترده شهری افزایش یابد(Oke 1988 , 2009) .

مسلما این حتی بیشتر چالش بر انگیز برای نماهای سبز بوده ، زیرا بسیاری از گیاهان بالارونده در لایه‌های زیرین جنگل و درختان و اکوسیستم جنگل رشد می‌کنند ، در جایی که شرایط سبک ، پراکنده

تر و متغیر بوده ، سرعت باد پایین تر و رطوبت نسبی از آنهایی که در مناطق شهری هستند بالاتر می‌باشد . در محیط‌های زیرین ، گیاهان بالارونده در معرض یک مقدار نسبتا بالا از سایه روشن هستند ، سایبان بالای آنها که محل جدب نور خورشید و قسمت قابل توجهی از تابش فعال فتوسنتزی است . شباهت این شرایط نسبتا محافظت شده معمولا در مناطق شهری یافت نمی‌شوند ، در جایی که محیط سبک معمولا دارای نشانه تابش خورشیدی شدید که با قالب سایه ساختمان‌ها تغییر می‌کند و جاییکه سرعت بالای باد ، درجه حرارت‌های هوا و کمبود بخار آب متفاوت هستند.(Cheng , 2010)

واقعا هیچ پژوهشی برای آزمایش تاثیر محیط سبک بر کارایی نماهای سبز در سایبان‌های شهری عمیق وجود ندارد اگر چه (Rayner et al , 2010) رویداد خرابی گیاه بر یک نمای سبز چند طبقه در مرکز بخش تجاری ملبورن استرالیا را به چند فاکتور نسبت داد .

ما ناموفق برای یافتن هیچ پژوهشی به دقت بررسی کرده از تاثیر خرابی مکانیکی اعمال شده توسط باد برروی رشد ، ماندگاری و کارایی گرمایی نماهای سبز شدیم. در طرف بادگیر ساختمان‌های بلند ، بادهای محلی می‌توانند دارای شکل بوده ، بعلاوه هنگامی‌که ارتفاع ساختمان افزایش می‌یابد ، در ۶۵ متر بالای سطح زمین وزشهای باد غالبا از ۱۰۰ متر بر ثانیه تجاوز می‌کنند .بادهای قوی ترکیب شده با درجه حرارت‌های بالا رفته هوا از مناطق شهری می‌تواند باعث رطوبت‌های نسبی پایین شود. (Oke , 1988). در این شرایط میزان تعرق گیاه افزایش می‌یابد ، فرض رطوبت لایه محدود کننده نیست ، تا هنگامی‌که ماکزیمم هدایت روزنه‌ای حاصل شود. هنگامی‌که این آستانه افزایش یافته روزنه بسته می‌شود تا از ، از دست رفتن آب بیشتر و کاویتاسیون آوند چوبی جلوگیری کند. (Chen et al , 2011). اگر شرایط شدید برای دوره زمانی طولانی حاکم شود گیاه قادر نخواهد بود تا تعرق ناشی از بسته شدن روزنه را حفظ کرده ،که ممکن است منجر به خرابی بافت فتو سنتز و موجب ریزش برگ شود.

احتیاج بزرگی بر هر دو پژوهش تجربی و مشاهداتی برای مشخص کردن ویژگی‌های فیزیولوژیکی و مورفولوژیکی گیاه که باعث قابلیت نگهداری رشد و کارکرد بهتر تحت این شرایط با فشار بالا وجود داشته می‌باشد.

۱-۱۱- طبقه بندی (تقسیم بندی سیستم های عمودی)

در ابتدا یک تعریف جامع برای سیستم‌های سبز عمودی شامل واژگان ، تقسیم بندی و فواید تولید می‌کنیم. منابع پژوهش از گونه‌های متفاوت مانند ژورنال‌ها ، مقلات کنفرانس ، پایان نامه‌ها، کتاب‌ها فرم دهی شده اند. اکثر آنها نوشته‌های به روز رسانی شده و مرتبط به سال‌های اخیر می‌باشند.

۱-۱۲- تعریف و تقسیم بندی سیستم‌های سبز عمودی

گیاهان رشد یافته بر سطح عمودی سیستم‌های سبز عمودی نامیده می‌شوند. (Loh, 2008) ، در این روش یک یا چند گونه از گیاهان می‌توانند به‌طور عمودی بر یک سطح رشد کرده چه طبیعی یا توسط انسان ساخته شده اند. هم در داخل و هم در خارج از ساختمان ؛ متصل به دیوار ساختمان یا به‌طور مستقل ایستاده در جلوی دیوار (Loh , 2008) به‌طور مختصر ، سیستم‌های سبز عمودی بعنوان هر گونه از گیاهان رشد یافته از سطح عمودی شرح داده شده اند (Cheng CY, 2010 , Wong 2009). نام‌ها و واژگان متفاوت استفاده شده اند تا این سیستم‌ها را تعیین کنند. جدول ۱-۱ واژگان متفاوت از این سیستم‌ها را ارئه می‌کند ، اما سیستم سبز عمودی یک اصطلاح جامع و عموما استفاده شده است. تقسیم بندی متفاوت برای سیستم سبز عمودی وجود دارند. یک همچون سیستم تقسیم بندی مبتنی بر واسطه‌های در حال رشد ، روش‌های ساختار ، و همچنین گونه‌های گیاهان است. (Yu 2009 ,) این سیستم‌های سبز عمودی را به ۴ رده تقسیم می‌کند : مدل درخت در مقابل دیوار ؛ مدل خزنده بر دیوار ؛ مدل آویزان به سمت پایین و مدل مدول. مدل‌های درخت در مقابل دیوار سیستم‌ها

سبز عمودی واقعی نیستند ؛ اما کارایی آنها مشابه می‌باشند. در مورد سیستم‌های خزنده دیوار که معمولی در معماری سنتی هستند گیاهان می‌توانند سطح دیوار را به‌طور مستقیم پوشش دهند یا از داربست‌ها برای بالا رفتن استفاده کنند. استفاده از خزنده‌های دیوار ساده بوده اما زمان می‌برد تا کل سطح نما را بپوشاند. مدل‌های آویزان به سمت پایین توسط گیاه با ساقه‌های بلند بر بالکن‌ها یا بر بالای ساختمان‌ها ساخته شده اند. آخرین مدل ، مدول یک تکنیک جدید می‌باشد. رشد سریع ، رنگارنگی ، تنوع ، جذابیت و سادگی در جابجایی گیاهان پژمرده و از بین رفته تعدادی از فواید مدل مدول می‌باشد (Yu , 2009) . در همه تقسیم بندی‌ها مکان واسطه رشد یک نقش بارز در مدل سیستم‌های سبز عمودی بازی می‌کنند. واسطه در حال رشد مکانی هست که ریشه‌های گیاه مواد مغذی را پیدا می‌کند.

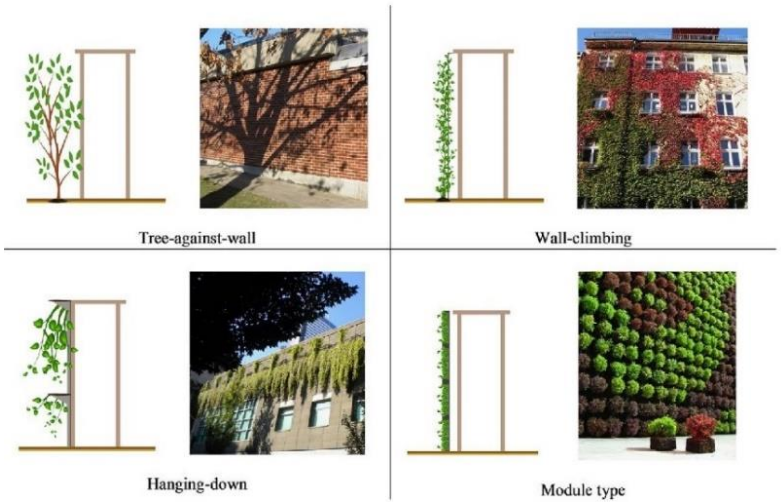
جدول ۱ - ۱
واژگان سیستم‌های سبز عمودی

واژگان	
Vertical greenery system	Wong NH, 2010
Vertical garden	Perini K, 2011
Green vertical system	Pérez G , 2011
Green wall	Kontoleon KJ, 2010
Vertical green	Perini K 2011
Bio shader	Ip K, 2010
Vertical landscaping	Binabid J , 2010

واسطه در حال رشد ممکن هست تا برروی زمین بماند و فقط گیاهان به‌طور عمودی رشد کنند و سطوح عمودی را پوشش دهند (Kontoleon , 2010 , Perini , 2011). این نمای سبز نامیده می‌شود و معمول در معماری سنتی می‌باشد (Mir , 2011). بعلاوه برای واسطه رشد ممکن است تا به‌طور عمودی در مقابل سطوح عمودی بایستد. (Perini , 2011 , Kontoleon , 2010). این دیوار زنده نامیده می‌شود و تکنیک جدیدی می‌باشد. در دیوارهای زنده لایه‌ها به‌طور عمودی می‌ایستد و واسطه رشد را در حامل‌ها نگهداری می‌کنند ، بنابراین دیوارهای زنده این قابلیت را دارند تا تنوع بزرگتری از

گیاهان را میزبانی کنند. سیستم‌های معمولی برای دیوارهای زنده سیستم پنل ، نمد یا سیستم‌های Container هستند (Los , 2008) . سیستم‌های پنل ، پنل‌های از قبل گیاه کاری شده ای بوده که متصل به ساختارها می‌باشند. سیستم‌های نمد شامل بسته‌های نمد پرشده توسط گیاه و متصل به دیوارهای ضد آب می‌باشند. در سیستم‌های ظروف ، گیاهان در ظروف گلدانی قرار داده شده و از داربست بالا می‌روند.

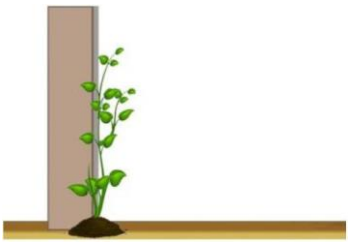
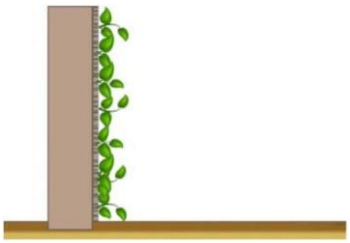
نام‌های متفاوتی برای نماهای سبز و دیوارهای زنده وجود دارد. سیستم‌های سبز عمودی (Pérez, 2011) ، سیستم‌های پشتیبانی ، و نمای سبز (Perini , 2011) اصطلاحات به‌طور معمول به کار برده شده برای نماهای سبز ، و باغ‌های عمودی هستند. سیستم حامل و دیوار زیستی (Binabid, 2010)اصطلاحات به‌طور معمول بکار برده شده برای دیوارهای زنده هستند. جدول ۱-۲ نشان دهنده دوگانگی سیستم‌ها سبز عمودی و مجموعه اصطلاحات آنها هست. (Hunter , 2014) دارای یک زیر دسته بندی برای نماهای سبز مبتنی بر مکان پوشینه‌های سبز و سطوح دیوار به عنوان نمای سبز مستقیم و نمای سبز دوجداره ارائه می‌کند. در نمای سبز مستقیم بالا رونده‌ها بهم چسبیده متصل به سطوح عمودی هستند در حالیکه در نمای سبز دو جداره ساختارهای پشتیبانی مهندسی کمک به گیاهان برای رشد عمودی می‌کنند. این زیر تقسیم بندی بسط پذیر برای سیستم‌های دیوار زنده هست. بنابراین ، می‌توان گفت که دوگانگی سیستم‌های سبز عمودی به نماهای سبز و دیوارهای زنده تقسیم بندی اصلی و پوشاننده دیگر تقسیم بندی‌ها و قابل قبول توسط اکثر محققان هست.



شکل ۱-۱ : ۴ گروه سیستم‌های سبز عمودی بر اساس ایده Yu,C

جدول ۱-۲

دوگانگی سیستم‌های سبز عمودی

Green facade		**Living wall**	
			
Terminology		**Terminology**	
Green facade/green wall	Köhler,Perini, Kontoleon, Pérez	**Living wall**	Kontoleon, Perini, Pérez
Green vertical system	Pérez G	**Vertical garden**	Binabid
Support system	Jaafar	**Carrier system**	Jaafar
Facade greening	Perini	**Bio-wall**	Binabid

۱-۱۳-دیوار سبز سنتی

گیاهان بالارونده به‌طور طبیعی به دیوارهای ساختمان چسبیده و بالا می‌روند. مشکل اصلی این است که رویش مستقیم گیاه برروی نمای ساختمان باعث تخریب متریال نمای ساختمان می‌شود. ایده نماهای سبز در این مورد متفاوت بوده و گیاهان با فاصله از نما و بر روی سیستم پشتیبانی کننده بخصوصی رشد کرده تا به نما آسیب نرسانند.

۱-۱۴- نماهای سبز

۱-۱۴-۱- نماهای سبز (Green Facade)

نمای سبز یک سیستم از داربست‌های متصل شده به بیرون نمای ساختمان است. گیاهان توسط اجزا افقی ، عمودی یا مورب پشتیبانی می‌شوند. اجزا واسط داربست معمولا فاصله ۴-۸ سانتیمتر برای گیاهان نیلوفری کوچکتر یا فاصله ۱۰-۱۲ سانتیمتر برای گیاهان بزرگتر در نظر می‌گیرند (Dunnett , 2010). بهترین متریال برای نماهای سبز فولاد ضد زنگ ، فولاد گالوانیزه شده ، فیبر شیشه‌ای ، فیبر ارگانیک یا چوب هست. نماهای سبز می‌توانند دو بعدی متشکل از کابل‌ها ، طناب‌ها و شبکه‌های دو بعدی و یا سه بعدی بصورت فریم‌های سخت و قفس شکل باشند.

۱-۱۴-۲- نماهای سبز کابلی (Cable-Supported)

این مدل از نماهای سبز از کابل‌های انعطاف پذیر استفاده می‌کنند که برای پشتیبانی از گیاهان در اشکال بی قاعده و پهن شده مورد استفاده قرار می‌گیرند. تولید کنندگان این سیستم‌ها عبارتند از Jacob (Jacob Robe System) و Carl Stahl (Carl Stahl Decor Cable n.d)

۱-۱۴-۳- نماهای سبز صلب (Rigid Green Facades)

نماهای سبز صلب داربست‌های دو و سه بعدی هستند که می‌توانند به صورت لایه به دیوار یا اطراف ستون متصل شده و یا بصورت آزاد و پارتیشن نصب شوند. تولید کنندگان این سیستم‌ها عبارتند از GSky (GSky Plants System , Inc 2010) ، Green Screen(Green Screen n.d) و سیستم‌های سبز Helix (Helix Plant Syste 2010)

۱-۱۵- دیوارهای زنده

۱-۱۵-۱-دیوارهای زنده (Living Walls)

دیوارهای زنده سیستم‌هایی هستند که در آنها به‌طور کامل تری با ساختار نما تلفیق می‌شوند. بر خلاف نماهای سبز که در آن گیاهان از نما بالا می‌روند و گیاهان روی زمین یا در فاصله‌های مشخص در امتداد نما کاشته می‌شوند ، دیوارهای زنده شامل هر دو مورد بستر کاشت (Plant Medium) و گیاهان است. قابلیت اصلی که یک سیستم دیوار زنده ایجاد می‌کند این است که گیاهان که در شرایط عادی بطرف بالا می‌رویند بتوانند برروی سطح بصورت افقی پهن شوند. اگر چه معمولا گیاهان بصورت افقی رشد نمی‌کنند بسیاری از انواع گیاهان وجود دارند که قابلیت رشد بر روی سطح عمودی را دارا می‌باشند. به عنوان نمونه گیاهان خو گرفته برای زندگی بر روی صخره‌ها و تخته سنگ‌ها از این جمله هستند. در نهایت گیاهان با ریشه‌های خود در بستر کاشت دیوار زنده جای خود را در دیوار مستحکم می‌کنند. سیستم‌های دیوار زنده شامل مولفه‌های زیر می‌شوند : ساختار پشتیبان کننده ، بستر کاشت ، پنل‌های نگهدارنده بستر کاشت ، گیاهان و سیستم آبدهی بهمراه تشت برای کنترل روان آب‌های مازاد دیوارهای زنده. سیستم دیوارهای زنده با یک لایه عایق رطوبتی از دیوار پشت خود جدا شده تا از دیوار ساختمان در برابر رطوبت ناخواسته جلوگیری کنند. بستر کاشت دیوارهای زنده می‌توانند خاک ، لایه‌های

غیرارگانیک یا حتی آب در سیستم‌های هیدروپونیک باشند. دیوارهای زنده مجهز به سیستم اتوماتیک آبیاری قطره‌ای نصب شده در پشت گیاه می‌باشند. سیستم‌های آبیاری می‌توانند با سنسورهای بارانی مجهز شده تا سیستم دیوارهای زنده بیشتر پایدار شوند. اجزا دیوارهای زنده به‌طور معمول از مواد مقاوم در برابر پوسیدگی و انجماد ساخته می‌شوند. دیوارهای زنده می‌توانند از مدل‌های متفاوتی شامل تشکهای پوشیده با گیاه ، سیستم‌های نمدی (Hanging Pocket) و سیستم‌های مدولار باشند. تعدادی از این مدل‌ها در زیر شرح داده شده اند.

۱-۱۵-۲- دیوار زنده با حصیر پوشش گیاهی (Vegetated Mat Living Walls)

دیوارهای زنده پوشیده با گیاه تشکی شامل یک لایه پارچه‌ای متصل که به یک لایه پشتیبان متصل می‌شود. گیاهان داخل حفره‌هایی که از شکاف لایه فابریک بوجود آمده در داخل بستر کاشتی که برای ریشه کردن و تغذیه گیاه در نظر گرفته شده قرار داده می‌شوند. این سیستم دیوار زنده توسط گیاه شناس فرانسوی Patrick Blanc اختراع شد. تولید کنندگان سیستم‌های دیوارهای زنده تشکی شامل باغ‌های عمودی Patrick Blanc (Blanc 2008) و 90Degreen (90Degreen n.d) می‌باشند.

۱-۱۵-۳-دیوار زنده پاکتی آویز (Hanging Pocket Living Wall)

دیوار زنده پاکتی آویز شبیه سیستم تشک گیاهی ، شامل پاکت‌های پارچه‌ای بوده که به لایه پشتیبان مستحکم متصل می‌شوند. گیاهان در این ضروف پلاستیکی یا نمدی پر شده با خاک ریشه می‌کنند. تولید کنندگان دیوارهای زنده تشک گیاهی شامل WoolyPockets (WoolyPOcket 2010) و Plants on Walls (Plant s on Walls 2010) می‌باشند.

۱-۱۵-۴- دیوارهای زنده مدولار (Modular Living Walls)

دیوارهای زنده مدولار ساخته شده از ضروف صلب مستطیلی شکل که با بستر کاشت پرشده می‌توانند به یک دیوار خارجی متصل شده و یا بصورت آزاد قرار بگیرند. ظروف ساخته شده از فلز یا پلاستیک ساختار یافته سبک که می‌توانند مانند جعبه‌های چارچوب دار ، قفس‌های مفتولی یا جعبه‌های محکم حفره دار باشند. علاوه بر این این پنل‌ها به سلول‌های انفرادی کوچکتر با صفحه‌های مستقیم یا زاویه دار تقسیم می‌شوند. گیاهان بصورت مستقیم در ظروف پر شده با خاک ، بستر کاشت غیر ارگانیک یا فیبرهای طبیعی کاشته شده و رشد می‌کنند. آب توسط حفره‌هایی که در پنل‌های صلب وجود دارد از طریق لوله‌های آبیاری نصب شده بر روی سیستم بین پنل‌ها حرکت می‌کند. تولید کنندگان دیوارها زنده مدولار شامل Reviplant 2008 ، Green wall company n.d ، Elmich 2007 ، Sempergreen ، Green Living Technologies n.d ، ELT Easy Green 2010 ، GSky Plants Systems Inc 2010 ، Greenwalls 2011 ، Vertical Systems n.d ، GreenWall 2008 هستند.

۱-۱۶- سنجش کلی

هر دو دیوار زنده و نماهای سبز می‌توانند به هر ساختار دیواری اضافه شوند در صورتیکه یک سیستم پشتیبانی کننده مناسب ارائه شود. هر دو سیستم می‌توانند بر نماهای ساختمان‌های بلند نصب شوند. اگرچه ، ممکن است گیاهان با ارتفاع زیاد از زمین به علت افزایش استرس فشار باد نتوانند زنده بمانند. دیوارهای زنده خیلی سنگین هستند و میزان بار مرده زیادی به سازه ساختمان وارد می‌کنند در مقابل نماهای سبز که بسیار سبک تر هستند(Dunnett , 2010 , blanc , 2008) . دیوارهای زنده باید در طراحی ساختمان از آغاز در نظر گرفته شوند تا تدارکات مورد نیاز برای بار سازه اضافی و سیستم‌های

آبیاری آن در نظر گرفته شود. به این دلیل ، دیوارهای زنده برای ساختمان‌های جدید نسبت به ساختمان‌های موجود مناسب ترند. (Dunnett , 2010 , Blanc , 2010).

۱-۱۷- طول عمر

طول عمر دیوارهای زنده به‌طور تخمینی ۱۰ تا ۱۵ سال می‌باشد ، که بسیار کوتاه تر از ۵۰ سال طول عمر یک ساختمان معمولی است. (Ottelé , 2011). گیاهان دیوارهای زنده باید به‌طور دائم نگهداری و جابه‌جا شوند. نماهای سبز دارای دوره عمر بلندی می‌باشند که توسط مثال‌هایی از چند ساختمان تاریخی پوشیده با گیاهان بالارونده که تا صد سال می‌توانند زندگی کنند قابل تصور است. (Dunnett 2010).

۱-۱۸- انرژی استفاده شده

دیوارهای زنده انرژی مضاعف برای عملکرد پمپ‌های آبیاری نیاز دارند. (Dunnett , 2010). نماهای سبز نیاز کم یا هیچی به انرژی برای آن دارند. (Dunnett , 2010)

۱-۱۹- نگهداری و عملکرد

گیاهان در دیوارهای زنده به‌طور اتوماتیک توسط لوله‌های عمودی یا افقی نصب شده در پشت خاک آبیاری می‌شوند (Dunnett , 2010). سیستم‌های آبیاری استفاده شده برای تامین گیاهان با آب و مواد مغذی در حالت مایع باید دارای بالانس مناسب اسید-قلیایی و دمای مناسب باشد. آب پمپ شده به سمت بالای دیوار زنده احتیاج به انرژی برای عملکرد خود داشته که خرابی آن باعث ایجاد عیب در دیوار سبز می‌شود. به علاوه دیوارهای زنده باید در دوره‌هایی مورد آزمایش قرار بگیرند تا بی نقصی در متریال مورد استفاده ، عملکرد مناسب سیستم آبیاری و سلامت گیاه را تضمین کنند. این فرآیندها

ممکن است احتیاج به تجهیزات خاصی مانند سکوهای معلق یا قیچی‌های بالابر داشته باشند. روی هم رفته ، سیستم‌های دیوار زنده دارای هزینه عملکرد بالا می‌باشند ونیاز به نگهداری زیاد هستند. (Dunnett , 2010 , Blanc , 2008).

۱-۲۰- رفتار در آب و هوای سرد

در آب و هوای سرد گیاهان در دیوارهای زنده حداقل میزان آبیاری ریشه صورت می‌گیرد. نگهداری گیاهان در شرایط مناسب در فصل‌های سرد کار مشکلی بوده و معمولا دیوارهای زنده در ماه‌های سرد به جهت عرضه بیش از حد یا کمتر سیستم آبیاری از بین می‌روند.یک مثال از این مورد از بین رفتن دیوارهای زنده نصب شده در مرکز Paradise Park Children در لندن در سال ۲۰۰۵ است. چهار سال بعد از نصب گیاهان دیوار به علت مشکلات آبیاری ناشی از عملکرد نامناسب پمپ مردند. گیاهان بالارونده برگریز استفاده شده در نمای سبز گرایش به ریختن برگ‌های خود در زمستان داشته و می‌توانند در زمستان بدون هیچ نگهداری اضافه‌ای زنده بمانند. (Dunnett , 2010)

۱-۲۱- هزینه‌های اصلی سیستم

سیستم‌های دیوار زنده نسبت به نماهای سبز گران تر می‌باشند. ارزش دیوارهای زنده $ 20 در هر فیت مربع برای سیستم‌های پاکتی (Plants on Walls 2010) (WoolyPocket 2010) ، 48 $ 110 – در هر فیت مربع برای سیستم‌های مدولار و سیستم‌های تشک گیاهی (Sepmergreen Vertical Systems n.d) (90degree n.d) و $ 180 در هر فیت مربع برای دیوارهای زنده با فیلترهای زیستی (NEDLAW Living Walls 2008) می‌باشند. نماهای سبز گران نیستند.

قیمت نماهای سبز از تقریبا هیچ تا $ 12-20 در هر فیت مربع برای نماهای سبز مستقیم برآورد می‌شود.

۱-۲۲- آنالیز مجموع ارزش سیکل زندگی

پژوهشی اخیرا توسط Ottelé (Ottelé , 2011) ارزش سیکل زندگی تعدادی از مدل‌های دیوارهای سبز را آنالیز کرده که شامل یک نمای سبز مستقیما پوشیده شده با گیاهان بالارونده ، یک نمای سبز با داربست‌های پشتیبانی کننده از گیاهان بالارونده ، یک دیوار زنده ساخته شده از پنل‌های گیاهان و یک دیوار زنده هیدروپونیک می‌باشد. این پژوهش مقایسه‌ای از مدل‌های متفاوت دیوارهای سبز این مطلب را نشان دادند که ارزش سیکل زندگی دیوارهای زنده بسیار بالاتر از نماهای سبز است. کاهش اندازه گیری شده در رابطه با استفاده از دیوارهای زنده ۴۳ درصد برای خنک کردن و ۴-۶٫۳ درصد برای گرم کردن در مصرف انرژی بدست آمده است. کاهش‌ها در رابطه با نمای سبز ۴۳ درصد برای خنک کردن و ۱٫۲ درصد برای گرم کردن بود. کاهش انرژی مصرفی برای گرم کردن دیوارهای زنده بیشتر نسبت به نماهای سبز بوده که آنرا مناسب تر برای آب و هوای سرد می‌کند. نماهای سبز کاهش انرژی برای خنک شدن مشابه در مقایسه با دیوارهای زنده داشته و انتخاب فوق العاده‌ای برای اقلیم گرم هستند .

۱-۲۳- انتخاب گیاهان مناسب برای سیستم‌های سبز عمودی

انتخاب گیاهان مناسب برای سیستم‌های سبز عمودی کلید برای بقا این سیستم‌ها است. نیاز به پژوهش در مورد زندگی گیاهان ، رشد و روشی که آنها خود را با محیط منطبق می‌کنند بوده که کمک به انتخاب گونه‌های مناسب در آب و هوای معین می‌کند. این پژوهش‌ها دارای اهمیت بیشتر برای گیاهان خارجی هستند ، زیرا گونه‌هایی از گیاهان می‌توانند در یک آب و هوا زندگی کنند در صورتی که

گونه‌های دیگری نمی‌توانند زندگی کنند (Binabid , 2010) . جدا از آن ، سیستم‌های آبیاری ، نگهداری و روش‌های نصب دلایل دیگری هستند که تاثیر بر کارایی گرمایی سیستم‌های سبز عمودی می‌گذارند (Rayner , 2010). مورد فوق توسط یک آزمایش هدایت شده (Council House 2 CH2) در مرکز ملبورن استرالیا اثبات شده است (Rayner , 2010) که شامل Modular Planter 90 بر روی سیستم‌های عمودی بود. بعد از ۲ سال ، ۶۰ درصد گیاهان ناشی از انتخاب نامناسب گیاهان مردند. انتخاب مناسب گیاهان برای اهداف معین تاثیر بر کارایی سیستم‌های سبز عمودی می‌گذارد و بهره وری سیستم‌ها را افزایش می‌دهد.

۱-۲۴- گیاهان دیوار سبز

گیاهان در نماهای سبز و دیوارهای زنده بیشتر در معرض شرایط آب و هوایی در مقایسه با همتای خود بر روی زمین هستند. دیوارهای سبز در مناطق آب و هوایی سرد و گرم اگر از گیاهان بومی‌که به سرعت رشد کرده و نیاز به مراقبت کم داشته و بخوبی با آب و هوای محلی مانند در معرض نور خورشید بودن ، بادهای شدید ، شرایط دمایی شدید تنظیم می‌شوند استفاده کنند ، می‌تواند موفقیت آمیز باشند. به علاوه استفاده از گیاهان مقاوم در برابر شرایط آب و هوایی زمستان ، دیوارهای سبز می‌بایست از آبیاری مناسب در طول فصل‌های سرد استفاده کنند چراکه گیاهان تمایل به از دست دادن مقدار زیادی رطوبت در این دوران دارند . با نگهداری مناسب بعضی از دیوارهای سبز می‌توانند در دمای زمستان به کمی منفی ۱۵ درجه سانتیگراد نیز نجات پیدا کنند. (Blanc , 2008)

۱-۲۵- مکانیزم گیاهان (نماهای سبز)

شبیه دیگر فرم‌های زیر ساخت‌های سبز ، آنها دیوارهای ساختمان‌ها را توسط (i) ، متوقف کردن و جذب تابش خورشیدی (سایه اندازی) ، (ii) تولید خنک کردن توسط تبخیر و تعرق ، (iii) افزایش بازتاب (بازتاب نور خورشید) ، (iv) تامین یک حوزه هوایی از جهت ایجاد عایق، با وابستگی بر فاصله نمای سبز از دیوار و (v) کاهش سرعت باد سطح بر دیوار (سپر همرفتی) خنک می‌کنند (Holm 1989 , McPherson 1994 , Oke et al 1989 , Taha 1997). کاهش انتقال گرما توسط پوشش ساختمان درخواست‌های انرژی را برای خنک کردن و گرم کردن فضای داخلی کاهش می‌دهد. (Holm 1989 , Pérez et al 2011). مقالات منتشر شده در انگلیس نشان می‌دهد که نماهای سبز اجازه می‌دهند تا بزرگترین فواید ذخیره انرژی و خنک کردن در آب و هوای تابستان گرم و خشک (Alexandri and Jones , 2008) و بر دیوارهای غربی ساختمان ارائه دهند. (Holm , 1989). این یافته‌ها بنظر بدیهی می‌رسند و تنظیم شده بر مبنای شناخت نقش درختان سایه دار در تامین خنک کردن در اطراف ساختمان استوار شده اند (Akbari et al 1997 , Akbari and Taha 1992 , McPherson and Simpson 2003)

۱-۲۶- بررسی اجمالی سیستم‌های سبز عمودی به عنوان سیستم‌های منفعل برای ذخیره انرژی

برای استفاده سیستم‌های سبز عمودی به عنوان سیستم‌های ذخیره انرژی منفعل چهار مکانیزم اساسی باید در نظر گرفته شوند: جلوگیری از تابش خورشید به علت سایه تولید شده توسط گیاهان، عایق گرمایی تولید شده توسط گیاهان و لایه، خنک سازی به علت تبخیر که توسط تبخیر و تفرق از گیاهان و لایه و همچنین توسط جلوگیری از باد اتفاق می‌افتد.

۱-۲۶-۱- عایق تولید شده توسط گیاه و لایه

دیوارهای زنده می‌توانند تولید کننده تغییرات در شرایط آب و هوایی محیطی (درجه حرارت و رطوبت) فضای بین صفحه سبز و دیوار ساختمان باشند. این لایه از هوا می‌تواند تولید کننده یک تاثیر عایق گونه جالب توجه باشد. تجدید هوا در این فضا ، چگالی شاخ و برگ و طرح دهانه‌های نما باید ملاحظه شوند. برای دیوارهای زنده ، گنجایش عایق می‌تواند بستگی به قطر لایه داشته باشد.

یک مدل کامپیوتری پویا ، شبیه سازی کننده تاثیرات گرمایی پوشش گیاهان همیشه سبز یا برگریز در زمستان بر دیوارهای خارجی توسط Holm فرمول بندی شد (Holm , 1989). بهبود گرمایی محیط داخلی با حداکثر میزان در ساختمان‌های با ماده کم در آب و هوای گرم وخشک بدست آمده و بهترین نتایج با دیوارهای رو به خط استوا با جذب تابش خورشیدی بالا در زمستان کسب شدند . این طراحی می‌تواند رفع کننده احتیاج برای گرم کردن یا خنک کردن مصنوعی در آب و هوای داده شده باشد (Holm , 1989). پخش شار گرما بر یک دیوار رو به غرب از یک ساختمان ۲ طبقه پوشیده با پیچک قطور از لحاظ تجربی اندازه گیری شد و تاثیر خنک شدن منتقل شده از طریق دیوار رو به غرب را تا ۲۸ درصد در یک روز تابستان با آسمان صاف کاهش داد (Di , 1999). انتقال گرما توسط یک دیوار بتنی به‌طور قابل ملاحظه‌ای کمتر است اگر از طرف خارج روکش دار با یک لایه از گیاه باشد. (Hoyano , 1989) گزارش داد که یک دیوار زنده می‌تواند انتقال انرژی در یک دیوار را در تابستان 0.24 kwh/m2 کاهش دهد (Hoyano , 1988). تاثیر عایق از گیاه پیچک پوشاننده یک نمای سنتی توسط Köhler اندازه گیری شده است. خنک کردن در تابستان و مانند عایق تقریبا ۵ °C در زمستان شدید تاثیرات قابل اندازه گیری بودند (Köhler , 2007). باتوجه به Köhler ، در پژوهش در مورد نماهای سنتی یک بهبود در از دست دادن گرما تا ۲۵ درصد در نماهای شمالی اندازه گیری شد ، اگر چه این بهبود بستگی بر میزان عایق ساختمان داشت. (Köhler , 2008)

۱-۲۶-۲-خنک شدن توسط تبخیر و تعرق

پروسه تبخیر و تعرق گیاهان احتیاج به انرژی دارد. این پروسه فیزیکی تولید کننده "خنک کردن تبخیری" که 2450 J برای هر گرم از آب تبخیر شده می‌باشد. این خنک شدن تبخیری برگ‌ها بستگی به مدل گیاه و در معرض خورشید بودن آن دارد. همچنین شرایط آب و هوایی تاثیر می‌گذارد. محیط‌های خشک با تاثیر باد می‌تواند تبخیر و تعرق گیاهان را افزایش دهد. در مورد دیوارهای زنده خنک کردن تبخیری از لایه مهم خواهد بود. در این مورد رطوبت لایه یک فاکتور مهم می‌باشد.

در تجربیات گذشته با درختان ، تاثیر خنک کردن به علت تبخیر و تعرق گیاهان (درختان) یک کاهش در درجه حرارت‌های اطراف ساختمان را نتیجه داد. (Papadakis et al 2001) این پژوهش گزارش داد که آب تبخیر شده توسط درختان می‌تواند رطوبت مطلق را 1-2 Kg آب به ازای m3 از هوای خشک افزایش دهد (Papadakis , 2001). یک پروژه در انستیتو فیزیک Humboldt دانشگاه Berlin-Aldershof مدیریت آب باران و ذخیره انرژی توسط استفاده نماهای سبز را ترکیب کرد (Schmidt M , 2006,1). در اندازه گیری‌ها در berlin-Aldershof یک جعبه planter با ابعاد 1 m2 و ۴۰cm عمق از واسطه رشد توسط اشباع کامل آب باران می‌تواند دارای تبخیر و تعرق سالیانه ۲۰۰۰ لیتر باشد. بعلاوه ، در آزمایش Bioshader نشان داده شد که میزان رطوبت اداره با نمای سبز به‌طور ثابتی بالاتر از ژولای تا اکتبر نشان دهنده این مطلب هست که استفاده گیاهان مقدار زیادی رطوبت خارجی به محیط داخلی تامین می‌کند (Ip , 2010). تاثیر خنک کردن وابسته به محیط پوشیده با گیاهان زنده و رطوبت در واسطه رشد است (Cheng , 2010). با توجه به (Wong , 2009,2010) به خاطر اینکه عایق بکار برده شده به سطح خارجی ساختمان‌ها بسیار تاثیر گذارتر از عایق داخلی است ، بخصوص در دوره ماه‌های تابستان ، سیستم‌های سبز عمودی دارای تاثیر دو برابر کاهش انرژی خورشیدی وارد شده به داخل توسط سایه اندازی و کاهش جریان گرما به ساختمان توسط خنک شدن تبخیری را دارند که هر دو باعث افزایش ذخیره انرژی می‌شوند. (Wong , 2009,2010)

۱-۲۶-۳- اختلافات تاثیر باد بر ساختمان توسط تاثیر مانع وار خود

سیستم‌های سبز عمودی ساختمان‌ها به عنوان مانع باد عمل می‌کنند و در نتیجه جلوی تاثیر باد بر نماهای ساختمان را می‌گیرد. این تاثیر بستگی بر چگالی و نفوذ شاخ و برگ دارد ، همچنین جهت نما و جهت سرعت باد. یک شبیه سازی کامپیوتری توسط MCpherson et al استفاده شد تا تاثیرات تابش و کاهش باد توسط گیاهان را در چهار شهر ایالات متحده با وجود چهار آب و هوای متفاوت ، تست کند. آنها نشان دادند که طراحی کاشت برای آب و هوای سرد باید بادهای زمستان را کاهش دهد و دسترسی خورشیدی به دیوارهای جنوب و شرق را تامین کند.یک راه افزایش بهره وری انرژی یک ساختمان جلوگیری از باد هست. در زمستان ، باد سرد یک نقش حیاتی در کاهش درجه حرارت داخل ساختمان‌ها بازی می‌کند. حتی در ساختمان‌های محفوظ از هوا باد کاهش دهنده موثری بعنوان عایق عادی است . (McPherson , 1988) در پژوهش‌های گذشته با " موانع " عمودی از درخچه‌ها و درختان یافت که مصرف انرژی در زمستان به علت سایه تولید شده بر ساختمان افزایش می‌یابد ، اما کاهش‌های قابل توجهی در مصرف انرژی در نهایت به سبب تغییر در آب وهوا در فضای بین دیوار ساختمان و نمای سبز و کاهش سرعت باد کسب شدند .

۱-۲۶-۴- سایه تولید شده توسط گیاهان

اولین پژوهش‌ها در مورد استفاده گیاهان برای کنترل خورشیدی به دهه ۸۰ بر میگردد. استفاده‌های مختلف از گیاهان انتخاب شده بودند تا پژوهش کنند که چگونه آنها تابش خورشید را کنترل می‌کنند، بار سرما را کاهش می‌دهد و محیط گرمایی داخلی و خارجی را با نتایج قابل توجهی بهبود می‌بخشند. (Hoyano , 1988). Akbari نشان داد که درختان سایه انداز در دو خانه مانیتور شده ذخیره انرژی خنک شدن فصلی ۳۰ درصد را به همراه داشت(Akbari , 1997) . تجربیات گذشته دیگر با درختان نشان می‌دهد که واقعه تابش خورشید بر منطقه سایه افتاده با درختان (100w/m2) به‌طور

قابل ملاحظه‌ای پایین تر از آن محدوده بدون سایه هست (600w/m2)(Papadakis , 2001)

.درجه حرارت لایه‌های مختلف از یک نمای دوجداره معمولا کمتر هستند اگر از گیاهان به جای پرده‌ها در فضای داخلی استفاده شده باشد. برای تابش خورشیدی مشابه، افزایش درجه حرارت دو برابر پایین تر از هنگامی‌هست که گیاهان مورد استفاده به جای پرده‌ها هستند. به علاوه درجه سطح گیاهان هرگز از ۳۵ °C تجاوز نمی‌کنند ، در صورتی که در پرده‌ها می‌تواند از ۵۵ °C هم تجاوز کند ، نصب گیاهان درون یک نمای دوجداره مصرف انرژی سیستم تهویه هوا را تا ۲۰ درصد کاهش می‌دهد. اندازه این تاثیر بستگی به چگالی شاخ و برگ دارد (تعداد لایه‌های برگ) (Stec , 2004). در آزمایش Bioshader انجام شده در دانشگاه Brighton(united kingdom) (Ip , 2010) یک نمای سبز دو جداره در یک پنجره اتاق اداره قرار گرفت ، و با اداره دیگری بدون گیاهان مقایسه شد. کاهش‌های درجه حرارت داخلی ۵٫۶ -۳٫۵ °C اندازه گیری شدند. انتقال خورشیدی شاخ و برگ همچنین اندازه گیری شدند ، با محدوده ۰٫۴۳ با یک لایه از برگ‌ها تا ۰٫۱۴ با پنج لایه از برگ‌ها. این مطالعات یک کاهش تابش خورشید گذرکننده از گیاهان ۳۷ درصدی با یک لایه از برگها ، تا ۸۶ درصدی با ۵ لایه از برگ‌ها را نشان دادند. در آزمایش با نماهای سبز سنتی Köhler (2007, 2008) یافت که اندازه این تاثیر سایه بستگی به چگالی شاخ و برگ دارد . اختلافات تا ۳ °C در حرارت داخلی در زمستان یافته شده اند (Köhler , 2008 Stec , 2004). اخیرا پژوهش‌ها نشان می‌دهند که خزنده‌ها می‌توانند یک پتانسیل خنک شدن بر سطح ساختمان را تولید کنند ، که بسیار مهم در دوره‌های گرم سال هست، به خصوص در آب و هوای گرم. بنابراین درجه حرارت ماکزیمم که ظاهر می‌شوند اساسا کمتر بوده ، بعلاوه باعث کاهش هدر رفت جریان گرما در ساختمان می‌شود. , Kontoleon, 2010) (Eumorfopoulou , 2009. پژوهش مشابه برای آب و هوای گرمسیری انجام پذیرفتند (Wong, 2009 , Wong, 2010).

۱-۲۷- شاخص محیط برگ

شاخص محیط برگ یک پارامتر بیولوژیک تعیین شده توسط یک طرف مساحت برگ به ازای واحد مساحت زمین هست.(Ong , 2003)، و همچنین ملاحظه کننده گونه‌های گیاهان ، فاصله گیاه و محیط سایبان است . تعدادی تحقیق از شاخص محیط برگ گیاهان برای مشخص کردن تاثیر آن بر چند متغیر کارایی استفاده می‌کنند ، اما در چند پژوهش اندازه گیری شاخص محیط برگ موجود نیست و محققان کیفیت‌های گیاهان را به طریق‌های متفاوت معرفی می‌کنند. برای مثال Sunakorn کیفیت نماهای سبز را توسط درصدی از گیاهان پوشیده شده بر داربست‌ها و تعداد لایه‌های برگ مورد ملاحظه قرار داد ، در حالیکه (Perini , 2011) کیفیت نماهای سبز را توسط قطر گیاهان شرح داد. گاهی اوقات قطر گیاهان و لایه (Wong , 2010) ، یا گیاهان و اندازه پنل‌ها (Jaafar , 2013) اندازه گیری شده اند ، و گاهی اوقات چگالی و فاکتورهای سایه (Pérez , 2011) معرفی شده اند. در مجموع ، گیاهان مناسب با شاخص محیط برگ بالا می‌تواند کارایی گرمایی سیستم سبز عمودی را بهبود ببخشد. نتایج یک آزمایش در UK با توجه به انتقال تابش خورشیدی گسترده نشان می‌دهد که شاخص محیط برگ ۵ تا ۱۲ درصد ضرایب Bio-shading نتیجه دادند.(Ip , 2010) اگر چه دو تا سه سال برای داشتن یک سایبان باشاخص محیط برگ ۵ که میزان حداکثر است مورد احتیاج می‌باشد ، مخلوط کردن گونه‌های مختلف گیاهان به داشتن سایبانی با چگالی بیشتر در زمان محدود کمک می‌کند. بر این اساس ، مبتنی بر اندازه و شکل متفاوت برگ‌ها ، آنها می‌توانند در بین برگ‌های بزرگ رشد کنند و فاصله بین آنها را پر کرده و یک نمای سبز عمیق را تامین کنند.

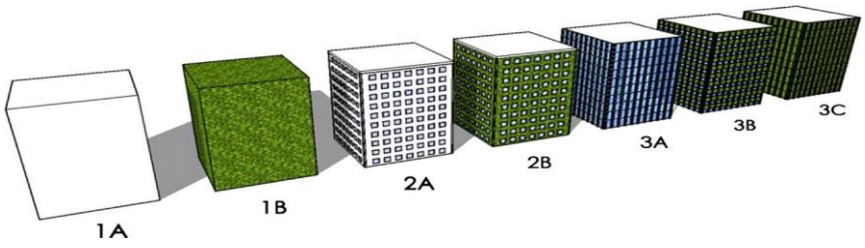
۱-۲۸-کاهش درجه حرارت و تاثیرات خنک کننده سیستم‌های سبز عمودی

کاهش درجه حرارت یک خصوصیت مهم ازسیستم‌های سبز عمودی است. بعلاوه تاثیرات سایه اندازی ، تاثیرات خنک کردن گیاهان ، موثر در کاهش درجه حرارت هستند. این کمک به کاهش درخواست

انرژی خنک شدن و مصرف انرژی می‌کند. قابلیت یک ساختمان برای عمل کردن با حداقل مصرف انرژی ، بهره وری انرژی می‌باشد. این بخش تعدادی تحقیق که سیستم‌های سبز عمودی را در کاهش درجه حرارت ، مصرف انرژی و درخواست انرژی خنک شدن بکار برده مرور می‌کند.

تعدادی پژوهش هدایت شدند تا تاثیر سیستم‌های سبز عمودی و کارایی آنها بر مقدار انتقال گرما ، مصرف انرژی ، تاثیر خنک شدن ، تغییر درجه حرارت و غیره را مشخص کنند. این پژوهش‌ها در محدوده شرایط آب و هوایی متفاوت در محدوده مدیترانه‌ای یونان در دوره زمانی خنک شدن ، یک مقایسه گرمایی بین یک دیوار برهنه و یک دیوار پوشیده با یک نمای سبز فرم دهی شده بود تا خصوصیات گرمایی دینامیک محدوده درجه حرارت را نشان می‌دهد. نتایج نشان می‌دهد که پوشاندن سطح دیوار با گیاهان دارای فواید (Bass ,2007) کارایی گرمایی برای ساختمان می‌باشند.

کارایی گرمایی گیاهان بر دیوارهای ساختمان‌ها در یک آزمایش در سنگاپور تست شدند تا مصرف انرژی و درجه حرارت سیستم‌های سبز عمودی را دریابند (Wong , 2009). با استفاده از نرم افزار شبیه سازی TAS یک ساختمان فرضی ۱۰ طبقه طراحی شده در ۳ سناریو شبیه سازی شد : یکی با دیوارهای مات ، یکی با هفت دیوار در هر طبقه و یکی با پوشش شیشه‌ای کامل (شکل ۱ - ۲).



شکل ۱ – ۲ : شبیه سازی ۷ ساختمان در نرم افزار TAS توسط Wong

این سناریو با شبیه سازی‌های مشابه توسط اضافه کردن سیستم‌های سبز عمودی مقایسه شدند. درجه حرارت متوسط داخلی و بار انرژی خنک شدن اندازه گیری شدند. مبتنی بر یک ساختمان فرضی طراحی شده در آب و هوای گرمسیری یافته شد که انتقال گرما در دیوار بتنی توسط استفاده یک پوشش از گیاهان کاهش می‌یابد. سیستم‌های سبز عمودی انرژی خورشید مضاعف ساختمان را کاهش می‌دهند ، و لذا مناسب برای ساختمان‌های بتنی هستند. بعلاوه آنها انتقال گرما از سطوح شفاف را کاهش می‌دهند. نماهای شیشه‌ای با ۱۰۰ درصد پوشش سیستم سبز عمودی درجه حرارت متوسط را به‌طور موثری کاهش می‌دهند (Wong , 2009) . نتایج تست شبیه سازی سیستم‌های سبز عمودی پتانسیل این سیستم‌ها در کاهش مصرف انرژی را برجسته می‌کند (Wong , 2009) . روش معمول برای آزمایش کارایی‌های گرمایی سیستم‌های سبز استفاده از گیاهان طبیعی هست چه در موارد واقعی یا در مدل‌هایی با مقیاس کوچک می باشد . قابلیت کاهش درجه حرارت سیستم‌های سبز عمودی مبتنی بر یک نمای سبز واقعی نصب شده در طبقه سوم یک ساختار پارکینگ در آب و هوای معتدل یا گرم کالیفرنیا تست شده بود (Binabid ,2010). نتایج قابلیت نمای سبز برای کاهش درجه حرارت را نشان داد که درجه حرارت پشت نمای سبز کمتر از منطقه بدون پوشینه سبز بود . در پومونای ایالات متحده دو جعبه نمونه برای مقایسه قابلیت کاهش درجه حرارت دیوارهای زنده شاخته شدند. یکی از آنها دارای هیچ پوشینه سبزی نبود و استفاده شده به عنوان یک معیار و دیگری پوشیده شده با یک دیوار زنده بود. اولین بار دیوار زنده ۱۰۰ درصد سطح دیوار را پوشش می‌داد و در دیگری ۷۵ درصد سطح پوشش می‌داد. نتایج نشان می‌دهد که نصب دیوار زنده موثر بر کاهش درجه حرارت داخلی بوده و پوشش گیاهی چگال تر میزان کاهش درجه حرارت را بهبود می‌بخشد. در آزمایش دیگری درجه حرارت در داخل یک جعبه تست شده که پوشیده با یک دیوار زنده مدولار بود مقایسه با جعبه مشابه که پوشیده با یک سیستم دیوار زنده بدون هیچ گیاهی و مدول‌ها تنها با خاک پر شده بودند اندازه

گیری شد (Binabid ,2010). نتایج نشان دادند که سیستم‌های دیوار زنده بدون گیاهان دارای تاثیر کاهش درجه حرارت هستند ، اما گیاهان قابلیت کاهش درجه حرارت را بهبود می‌بخشند.

در کنار قابلیت سیستم‌های سبز عمودی برای کاهش درجه حرارت داخل ساختمان‌ها ، آنها درجه حرارت محیط را و درجه سطح را کاهش می‌دهند. (Price , 2010) فعالیت‌های نمای سبز را بررسی کرد و تاثیر خنک شدن نماهای سبز را اندازه گیری کرد. نتایج نشان دهنده کاهش درجه حرارت هوای محیط ، درجه حرارت سطح خارجی ، درجه حرارت هوای داخلی و شار گرما توسط سیستم سبز عمودی بودند . (Price , 2010). با توجه به ساختار فیزیکی ، مواد و ابعاد ، پوشاندن نما با گیاهان انتقال گرمای خورشیدی را به تاخیر می‌اندازد ، درجه حرارت داخلی را کاهش می‌دهد و راحتی ساکنان را تامین می‌کند، بخصوص بعد از غروب خورشید (Cheng , 2010). بعلاوه ، سیستم‌های سبز عمودی المان‌های موثر در میکرو اقلیم هستند. یک پژوهش برای خصوصیات آب و هوایی از ۹ شهر متفاوت نشان داد که سیستم‌های سبز عمودی تاثیر کاهش درجه حرارت بیشتری را در آب و هوای گرم تر و خشک تر و همچنین آب و هوای مرطوب میسر می‌سازد. کاهش درجه حرارت بسیار بزرگتری در هنگامی‌که سیستم‌های سبز عمودی و بام سبز با هم ترکیب شدند حاصل شد ، اما سیستم سبز عمودی از بام سبز در سایبان‌ها در همه آب و هواها بهتر عمل می‌کنند. (Alexandri , 2008) توجه به نتایج آزمایشات نشان می‌دهد که سیستم‌های سبز عمودی سیستم‌های سایه انداز زنده خوبی برای کاهش درجه حرارت هستند. آنها از نمای ساختمان در مقابل تابش مستقیم خورشید جلوگیری کرده و سایه تولید می‌کنند. بعلاوه ، تاثیرات خنک کردن طبیعی گیاهان توسط تبخیر درجه حرارت ، شار گرما ، انتقال گرما و غیره را کاهش می‌دهند. و منجر به کاهش در درخواست انرژی خنک شدن می‌شوند. در نهایت ، دارای تاثیر کاهش در مصرف انرژی هستند. مقایسه بین پژوهش‌ها معلوم می‌کند که ارزیابی کارایی گرمایی سیستم‌های سبز عمودی به‌طور مشترک توسط استفاده از مدل‌هایی با مقیاس کوچک انجام می‌شوند. توسط این روش کنترل کردن متغیرها ساده تر بوده و نتایج افزوده شده نتایج خالص از

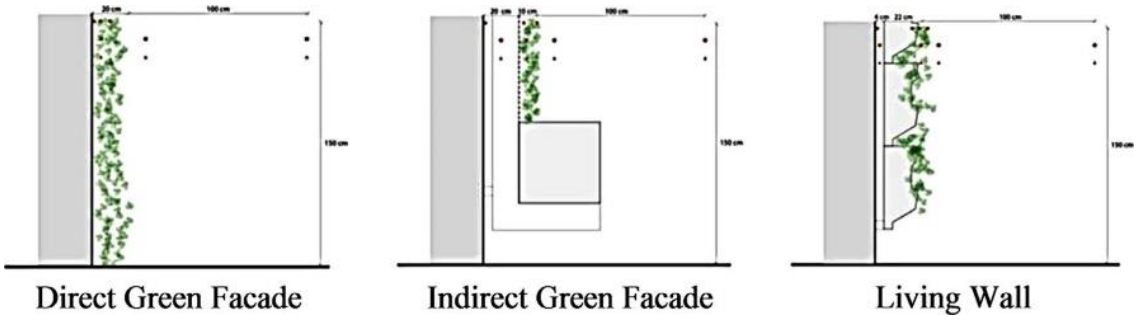
تاثیر سیستم‌های سبز عمودی به ما ارائه می‌کند. در مورد واقعی پارامترهای محیطی متفاوت موثر در تغییرات درجه حرارت هستند. بعلاوه ، تحقیقات محدود در مورد قابلیت ذخیره انرژی سیستم‌های سبز عمودی در موارد واقعی وجود دارد. این موضوع احتیاج به توجه بیشتر به بهبود کارایی سیستم‌های سبز عمودی در موارد واقعی دارند. بنابراین ، پژوهش در مورد پارامترهای موثر کارایی گرمایی سیستم‌های سبز عمودی می‌تواند کارایی گرمایی این سیستم‌ها را بهینه سازی کند.

۱-۲۹-کارایی‌های گرمایی مدل‌های متفاوت سیستم‌های سبز عمودی

هر مدل از سیستم سبز عمودی ، نمای سبز و دیوار زنده ، دارای تاثیر بخصوص خود بر کاهش درجه حرارت هستند. در نماهای سبز هوا در شاخ و برگ جریان می‌یابد و درجه حرارت این سیستم‌ها را کاهش می‌دهد ، اما در دیوارهای زنده مبتنی بر پوشش لایه و مواد سایه اندازی خوبی تامین می‌شود. بعلاوه ، کارایی گرمایی سیستم‌های مستقل و ایستا بر خود متفاوت از سیستم‌های متصل به دیوار هستند. خصوصیات گرمایی سیستم‌های سبز عمودی متفاوت باید تست شوند تا کارایی گرمایی این سیستم‌ها را بهبود ببخشند. در یک آزمایش در Hart Park در سنگاپور ۸ سیستم سبز عمودی متفاوت با لایه‌های متفاوت و گیاهان متفاوت با یک دیوار بتنی برهنه به عنوان معیار مقایسه شدند (Wong, 2010) . این مطلب یافته شد که سیستم‌های سبز عمودی درجه حرارت محیط و سطح دیوار و سطح لایه را در دوره روزانه کاهش می‌دهند. بهترین کارایی در کاهش درجه حرارت مربوط به دیوار زنده و پنل مدولار با یک خط اتصال عمودی که شامل لایه معدنی بود با ماکزیمم کاهش درجه حرارت °C ۱۱٫۵ و ماکزیمم کاهش درجه حرارت محیط °C ۳٫۳ ،cm ۱۵ در جلوی سیستم بود. (Wong, 2010) . در این پژوهش اکثر سیستم‌های سبز عمودی مدل‌های مختلف دیوارهای زنده با اختلافاتی در مدل گیاهان ، لایه ، مواد ، مدلها مدول‌ها و پنل‌ها بودند. تنها یک نمای سبز بدون رشد گیاه کافی وجود داشت. یک آزمایش مشابه انجام پذیرفت تا کارایی دیوار زنده و نمای سبز در هلند در شرایط آب

و هوایی دریایی را مقایسه کند(Perini , 2011). در این آزمایش دو نمای سبز و یک دیوار زنده با مناطق یکسان بدون گیاهان بعنوان معیار برای فهم پتانسیل ذخیره انرژی آنها در دوره‌های کاهش گرما و کنترل سرعت باد مقایسه شدند (Perini , 2011). یک نمای سبز به‌طور مستقیم متصل به سطح دیوار شد و دیگری نمای سبز غیر مستقیم ایستاده cm ۲۰ در جلوی سطح دیوار بود (شکل ۱ - ۳). این آزمایش تاثیرات سیستم‌های سبز عمودی در مناطق مختلف و تاثیرات مدل‌های مختلف سیستم‌های سبز عمودی را تست کرد. نتایج کاهش درجه حرارت نشان می‌دهد که سیستم‌های دیوار زنده دارای کاهش درجه حرارت بهتری از هر دو نمای سبز با اتصال مستقیم و غیر مستقیم به سطح دیوار بودند. دیوار زنده درجه حرارت را cm ۵ کاهش داد در حالیکه نمای سبز مستقیم ، نمای سبز غیر مستقیم درجه حرارت را °C ۱٫۲ و °C ۲٫۷ کاهش دادند (Perini , 2011). دلیل این بود که مواد دیوار زنده سطح دیوار را در مقابل تابش خورشید حفظ می‌کنند.

مدل‌های مختلف سیستم‌های دیوار زنده نه تنها دارای تاثیرات متفاوت در کاهش درجه حرارت بودند ، اما دارای تاثیرات متفاوت بر سرعت باد بودند. (جدول۱-۳)(Perini , 2011) . این شرایط مناسب برای سرد کردن و استفاده از این قابلیت بعنوان عایق برای حفظ هوای گرم داخل ساختمان‌هاست.



شکل ۱ - ۳: سیستم های سبز عمودی گوناگون استفاده شده در آزمایش perini

جدول ۱ – ۳
خلاصه نتایج آزمایش Perini

Kind of vertical greenery systems	Temperature reduction (1C)	Wind speed reduction (m/s)
Direct green facade	1.2	0.43
Indirect green facade	2.7	0.55
Living wall	5	0.46

پژوهش دیگری در مورد کارایی‌های متفاوت نماهای سبز و دیوارهای زنده در محدوده تاثیرات درجه حرارت و جریان هوا در آب و هوای گرمسیری مالزی به کار گرفته شد (Jaafar , 2013). تفاوت بین این دو آزمایش مکان سیستم‌های سبز عمودی است. در این آزمایش ، نمای سبز ریسمانی و دیوار زنده مدولار بالکن‌های هر سطح یک ساختمان اداره ده طبقه را پوشش می‌دانند. مقایسه بین نماهای سبز و دیوارهای زنده نشان می‌دهد که اگر چه هوا می‌تواند در شاخ و برگ نمای سبز جریان داشته باشد ، تابش خورشیدی بالکن را مبتنی بر چگالی کاهش یافته شاخ و برگ گرم می‌کرد. برای بهبود کارایی گرمایی سیستم‌های سبز عمودی ، بکارگیری هر دو سیستم‌های مدولار و سیستم‌های ریسمانی با هم توصیه‌های پژوهش بودند. (Jaafar , 2013)

این پژوهش نه تنها کارایی‌های گرمایی بین نماهای سبز و دیوارهای زنده را مقایسه کرد ، اما همچنین تاثیرات ارتفاع متفاوت نصب بر کارایی گرمایی آنها را مقایسه کرد. تاثیرات ارتفاع طبقه بر درجه حرارت و سرعت باد در طبقه‌ها مقایسه شدند. تاثیرات ارتفاع طبقه بر درجه حرارت و سرعت باد نشان می‌دهد که طبقه ۵ تابش خورشیدی بزرگتری از دیگری‌ها کسب می‌کرد و درجه حرارت بزرگتری را دارا بود ؛ بعلاوه این دارای ماکزیمم سرعت باد مبتنی بر افزایش سرعت باد در ارتفاع بود (Jaafar , 2013) (جدول ۱-۴) نتایج خلاصه شده از مقایسه درجه حرارت و سرعت باد بین طبقه‌های مختلف را نشان

می‌دهد. این پژوهش تنها پژوهشی هست که تاثیرات طبقات و ارتفاعات مختلف بر کارایی گرمایی سیستم‌های سبز عمودی را بررسی می‌کند

جدول ۱ – ۴
خلاصه نتایج آزمایش Jaffar

Storey	Temperature (1C)	Air velocity (m/s)
1st Floor	29.6	0.259
2nd Floor	29.8	0.237
3rd Floor	29.7	0.220
4th Floor	29.8	0.203
5th Floor	30.7	0.263

۱-۳۰-تاثیرات جهت بر کارایی‌های گرمایی سیستم‌های سبز عمودی

سیستم‌های سبز عمودی می‌توانند بر هر جهت ساختمان نصب شوند ، اما برای تعیین کردن جهت برای کسب بالاترین بهره وری انرژی پژوهش در مورد عرض جغرافیایی ، آب و هوا و خصوصیات جغرافیایی مورد احتیاج بوده ، و متفاوت از یک منطقه تا دیگری می‌باشد.

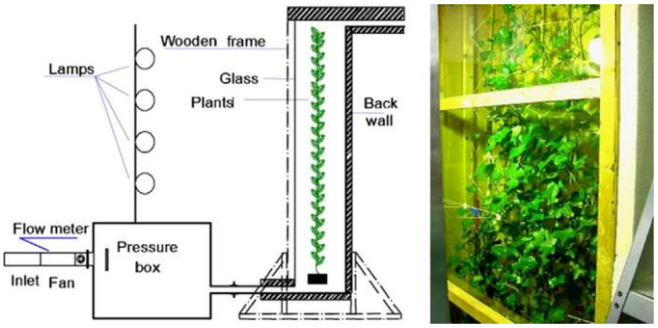
یک پژوهش در منطقه یونان با آب و هوای مدیترانه ای تاثیر سیستم سبز عمودی در جهت‌های متفاوت را مورد آزمایش قرار داد، و نتایج نشان می‌دهد که نصب سیستم‌های سبز عمودی به ترتیب بر شرق ، غرب ، جنوب ، و شمال دارای تاثیر بهتر بر کاهش درجه حرارت هستند (Kontoleon , 2010). یک سیستم سبز عمودی می‌تواند بار خنک شدن یک ساختمان بدون پنجره را تا ۲۰ درصد ، ۱۸ درصد ، ۸ درصد و ۵ درصد اگر بر شرق ، غرب ، جنوب و شمال نصب شوند کاهش دهند , Kontoleon) (2010 . تاثیر جهت در آزمایش دیگری در آب و هوای اقلیمی‌خشک مدیترانه‌ای تست شد (Pérez 2011) ., قابلیت کاهش درجه حرارت از یک نمای سبز بر شمال شرقی ، جنوب شرقی و جنوب غربی تست شد. نتایج نشان می‌دهد که نمای سبز قابلیت کاهش درجه حرارت تا ℃ ۵٫۵ تا ماکزیمم ℃ ۱۵٫۲ بر جهت جنوب شرقی را دارا می‌باشد. علاوه بر جهت ، تاثیر نمای سبز بر درجه حرارت حفره بین پوشینه سبز و سطوح دیوار در دوره تابستان و زمستان تست شدند. در دوره زمستان درجه حرارت

حفره تقریبا ۳٫۸°C بالاتر از بیرون بود ، بر عکس در دوره تابستان °C ۱٫۴ خنک تر از بیرون بود ؛ (Pérez , 2011) . نصب سیستم‌های سبز عمودی توسط تهیه یک میکرو اقلیم بین پوشینه سبز و سطوح دیوار می‌تواند ساختمان را از تابستان‌های داغ و زمستان‌های سرد محافظت کند. برای انتخاب بهترین جهت برای نصب سیستم‌های سبز عمودی هر شرایط آب و هوا باید به‌طور جداگانه تست شوند تا دارای ماکزیمم بهره وری انرژی باشند.

۱-۳۱- ترکیب سیستم‌های سبز عمودی با ویژگی‌های معماری

بکارگیری سیستم‌های سبز عمودی برای فواید گرمایی آنها محدود به قرار گرفتن سیستم‌های سبز عمودی در جلوی سطوح عمودی نیستند. بکارگیری این سیستم‌ها با خصوصیات معماری متفاوت می‌تواند کارایی گرمایی همه سیستم‌ها را بهبود ببخشد. یک مثال موفقیت آمیز ترکیب سیستم‌های سبز عمودی بر نماهای دوجداره هست. پرده‌ها در درون فاصله هوا قرار داده شده اند و ساختمان را از تابش خورشید محافظت می‌کنند و یک نقش حیاتی در محافظت ساختمان در مقابل انرژی خورشیدی بازی می‌کنند. در این روش ، پرده‌ها دارای درجه حرارت بالا بوده و دلپذیر در مدت زمان گرما نیستد. بنابراین ، یک آزمایش از سیستم‌های سبز عمودی در فاصله هوای نمای دو جداره به جای پرده‌ها استفاده کرده (شکل۱ - ۴) تا کارایی نمای دو جداره را بوسیله استفاده فواید طبیعی گیاهان بهبود ببخشد (Stec ,2005) . نتایج آزمایش نشان می‌دهد که سیستم سبز عمودی درجه حرارت کل سیستم را کاهش می‌دهد ، و درجه حرارت گیاهان در نمای دوجداره کمتر از درجه حرارت پرده‌هاست. با استفاده گیاهان در نمای دوجداره گنجایش خنک کردن تقریبا ۲۰ درصد کاهش یافت ، همانند کاهش در مصرف انرژی سیستم خنک کننده (Stec , 2005) استفاده گیاهان در نمای دوجدره دارای مشکلات کمی‌مانند سختی در کنترل انتقال نور و کنترل نگهداری است. بکارگیری سیستم‌های سبز عمودی برای بهبود کارایی گرمایی ساختمان‌ها و ساختارها باید در خصوصیات دیگر معماری تست شود

تا بهره وری آنها را بهبود ببخشد. سیستم‌های سبز عمودی می‌توانند فرم اصلی دیگری را پیشنهاد دهند و ایده‌های هوشمندانه‌ای را برای کاهش درجه حرارت حاضر کنند و کارایی گرمایی را بهبود ببخشند.



شکل ۱ – ۴ : مرکز تست آزمایشگاهی نماهای دو پوسته

۱-۳۲-تاثیر دیوارها زنده بر کارایی گرمایی نمای ساختمان

اجزا اصلی دیوارهای سبز که در بهبود کارایی گرمایی نما مشارکت دارند گیاه و لایه خاک یا بستر کاشت هستند. نماهای سبز که شامل تنها لایه گیاه بوده به نسبت دیوارهای زنده که شامل لایه گیاه و لایه خاک بوده در بهبود کارایی گرمایی عملکرد متفاوتی دارند. خاک دارای توده گرمایی و مقاومت گرمایی مناسب بوده که می‌تواند انتقال گرما در نما را کاهش دهد. تنها یک لایه خاک خشک می‌تواند یک عایق گرمایی مناسب باشد. اگر چه هنگامی‌که خاک خیس است ، مقاومت گرمایی آن به‌طور قابل ملاحظه‌ای کاهش می‌یابد و دیگر نمی‌تواند به عنوان یک لایه عایق عمل کند. لایه خاک در دیوارهای زنده به‌طورمداوم با آب توسط سیستم آبیاری اشباع شده تا آب به میزان مناسب به ریشه گیاه برسد. در بهترین حالت ، مشارکت در عایق گرمایی نما ندارد ، در صورتی که در بدترین شرایط ممکن است واقعا آنرا کاهش دهد (Bass , 2007 , Dunnett , 2010) . سیستم‌های دیوار زنده شامل اجزاء بیشتری به علاوه گیاهان و خاک مانند ظروف گیاه ، ساختار پشتیبانی کننده ، لوله‌های آبیاری و پوسته ضد آب هستند. برخی از این اجزاء از فولاد ساخته شده که رسانایی بالای گرمایی داشته و در عایق گرمایی نما مشارکت ندارند.

۲- فصل دوم : پیشینه تحقیقات

۲-۱- تاریخچه

از قرون وسطی استفاده از گیاهان خزنده در حیاط‌های داخلی قلعه‌ها و قصرها معمول بوده است. (Köhler , 2008). معمول ترین این گیاهان ، گیاهان زینتی و درختان میوه بوده اند که نقش زینتی و تولید محصول داشته و علاوه بر آن سایه اندازی نیز می‌کردند. در ساختمان‌های وایکینگ‌ها ، گیاه کاری به‌طور متفاوتی انجام می‌شده است. وایکینگ‌ها پشت بام‌ها و نماهای ساختمان‌هایشان را با چمن پوشش می‌دادند. علاوه بر این ساختمان سازی سنتی در شمال آمریکا نیز وجود داشته و مهندسان آمریکایی خانه‌هایی با چمن می‌ساختند. در پایان قرن نوزدهم دوباره علاقه به نماهای سبز به وجود آمد. در بسیاری از کشورهای اروپایی هنر و مهارت استفاده و رشد گیاهان بر نماهای ساختمان بوجود آمد. در بریتانیای کبیر ویلیام رابینسون مفهوم باغ‌های وحشی را گسترش داد. در باغ‌های وحشی استفاده از داربست‌ها و آلاچیق‌ها به عنوان پشتیبانی گل‌های شقایق و رز استفاده می‌شدند که باعث خنکی هوا شده و حائلی در مقابل باد ایجاد می‌کرد. نماهای پوشیده با گیاه همچنین در کارهای منظر جرترود جیکل نیز تحت عنوان Wall Garden ترویج داده شد. در اواخر قرن بیستم جنبش‌های زیست محیطی با رویکرد حفظ طبیعت نگاهی جدید به ساختمان‌های سبز بوجود آورد. بسیاری از این ایده‌ها توسط Ken Yeang معمار مالزیایی که مفهوم معماری اکولوژیکال را در دهه ۱۹۷۰ وارد معماری کرد آغاز شد. او مفهوم آسمان خراش‌های بیو کلایمتیک به معنای معماری ترکیب شده با طبیعت در ساختار خود را معرفی کرد. آسمان خراش‌های بیوکلایمتیک از استراتژی‌های اکولوژیکال شامل هندسه ساختمان در پاسخ به آب و هوا ، استفاده از تکنیک‌های منفعل در روشنایی و تهویه هوا و استفاده از گیاهان در ساختمان استفاده کرد. به‌طور کلی مفهوم گیاه کاری در نمای ساختمان به میزان زیادی گسترش پیدا کرده و دچار تغییر و تحولات زیادی شده است. یکی از خلاقانه ترین مثال‌ها از بکارگیری گیاهان در نمای ساختمان در کارهای Patrick Blanc پیدا می‌شود که توانست مفهوم باغ‌های عمودی را توسعه دهد. (Blanc , 2008) در کارهای او گیاهان بصورت عمودی و به شکل باشکوهی

از دیوارهای داخلی ادارات ، تاسیسات موزه‌ها ، خانه‌های خصوصی ، بازارها ، مراکز تجاری و بسیاری موارد دیگر کار شده است. امروزه دیوارهای سبز در گروه بندی‌های گوناگونی طبقه بندی می‌شوند از جمله دیوارهای سبز(Green Walls) ، نماهای سبز (Green Facade) ، دیوارهای زنده (Living Walls) ، باغ‌های عمودی (Vertical Garden) ، باغ‌های معلق (Hanging Gardens) ، سایه اندازهای زیستی (Bio-Shaders) ، نماهای زیستی (Bio-Facades) از این جمله هستند.

در طول ۳۰ سال گذشته علاقه به نقش مثبت گیاهان به جهت آگاهی محیطی رو به افزایش بوده و جنبش‌های معماری پایدار منجر به تحقیقات گسترده بر یکپارچگی گیاهان و المان‌های ساختمان‌ها شده است. اکثر پژوهش‌ها تحقیقات غیر علمی‌بوده اند. در زیر یک بررسی اجمالی از تحقیقات بر تاثیر گیاهان و دیوارهای سبز بر کارایی گرمایی ساختمان‌ها و مصرف انرژی آمده است.

۲-۲- تحقیقات مبتنی بر تجربه

پژوهش از تاثیرات گیاهان بر کارایی گرمایی و مصرف انرژی نخست در اواخر دهه ۱۹۸۰ پدیدار شد و از آن زمان علاقه به این موضوع به‌طور پیوسته توسط تحقیقات به عمل آمده در آسیا ، اروپا و آمریکای شمالی در حال افزایش بوده است. یک پژوهش توسط Hoyano تاثیر خنک کردن گیاهان بر دیوارهای خارجی ساختمان‌ها در Tokyo توسط دو آزمایش با استفاده از ساختمان‌های واقعی را مورد پژوهش قرار داد. اولین آزمایش دو پنجره را از یک ساختمان رو به جنوب غربی مقایسه کرد. اولین پنجره بدون پوشش گیاهی بود در حالیکه دومین پنجره دارای یک پرده IVY-Coverd در جلوی خود بود. به عنوان قسمتی از آزمایش پژوهشگران دمای هوای محیط ، دمای سطح گیاه ، تابش خورشید در پشت گیاهان و رطوبت مربوط به آن را اندازه گیری کردند. تابش نور خورشید بر پنجره در پشت IVY-Screen ۲۵ درصد کمتر از پنجره بدون Screen بوده و دمای محیط پنجره با Screen ۱ درجه سانتیگراد کمتر از پنجره بدون Screen بود. این پژوهش نشان داد که حضور یک Screen پوشیده

با گیاه به‌طور قابل ملاحظه ای میزان تهویه مکانیکی را به عنوان یک تکنیک منفعل خنک سازی کاهش می‌دهد. در تجربه دوم ، دو نمای ساختمان رو به غرب با هم مقایسه شدند ، یکی برهنه و دیگری کاملا پوشیده شده با پیچک. دمای هوای محیط ، حرارت سطح گیاهان ، دمای سطح خارجی و داخلی نما ، دمای هوای داخلی ، تابش خورشید در پشت گیاهان و شار گرمای عبوری از نما اندازه گیری شدند. دمای سطح پوشیده شده با گیاه ۱۰ درجه سانتیگراد کمتر از دیوار برهنه بود. شار گرمایی از نما از۲۰۰ کیلو کالری بر متر مربع در نمای برهنه تا ۵۰ کیلوکالری بر مترمربع در دیوار پوشیده با گیاه کاهش یافت. یک پژوهش توسط Di و Wang اثیر گیاهان بر کارایی گرمایی ساختمان را مورد بررسی قرار داد. (Di , 1999). این محقق‌ها نمای غربی یک ساختمان آجری ۲ طبقه در Beijing نمای پوشیده شده با حجم متراکم از IVY را با نمای برهنه مورد پژوهش قرار دادند. محققان تابش خورشید ، دمای محیط ، دمای سطح گیاه ، دمای سطح خارجی دیوار ، دمای هوای داخل ، رطوبت مرتبط و سرعت باد بروی نما را اندازه گیری کردند. تجربیات نشان داد در طول روز دمای سطح گیاه ۴٫۵ درجه سانتیگراد کمتر از نمای برهنه بود و ۸٫۲ درجه سانتیگراد بیشتر از دمای سطح نما در پشت گیاهان بود. در شب دمای سطح نمای برهنه ۴ درجه سانتیگراد بیشتر از نمای پوشیده شده با گیاه بود. شار گرما اندازه گیری شده در سطح خارجی در نمای پوشیده شده با گیاه ۵۰ درصد کمتر از نمای برهنه در طول روز و کمی‌کمتر در شب می‌باشد. شار گرمایی اندازه گیری شده در سطح داخلی از نمای پوشیده با گیاه بسیار کمتر از شار گرمایی نمای برهنه در طول روز و کمی‌کمتر در شب می‌باشد. روی هم رفته اوج بار سرمایی ساختمان ۲۸ درصد کاهش یافته بود. Evmorfopoulou and Kontoleon تاثیرت دیوار پوشیده شده با گیاه را بر روی رفتار گرمایی یک دیوار شرقی از یک ساختمان آجری ۵ طبقه در Thessaloniki یونان با یک محیط شیشه‌ای برابر ۱۵ درصد محیط کف ارزیابی کردند. (Evmorfopoulou , 2009). محیط پوشیده با گیاه بر طبقه دوم با محیط برهنه در طبقه سوم مقایسه شد. دمای هوای محیط داخلی و خارجی ، دمای سطح پوشیده شده با گیاه ، دمای سطح نمای

پشت گیاهان ، دمای سطح داخلی اتاق اندازه گیری شدند. دمای سطح نما هنگامی‌که با گیاهان پوشیده شده بود به‌طور قابل ملاحظه‌ای بخصوص در روزهای گرم کمتر بود. دمای سطح نما در پشت گیاه ۱/۹ تا ۸/۳ درجه سانتیگراد(معدل ۵/۹ درجه سانتیگراد) کمتر از دمای نمای برهنه بود. یک پژوهش توسط Wang et al مدل‌های مختلف سیستم‌های دیوارهای سبز را تست کرد تا تاثیرات آنها بر کارایی گرمایی ساختمان‌ها را محاسبه کند. (Wang , 2010). یک نمونه در مقیاس واقعی از ۹ مدل از نماهای سبز و دیوارهای زنده در HonkoPark سنگاپور نصب شدند. نمونه‌های نصب شده شامل مدل‌های نماهای سبز پوشیده شده با گیاه شامل : پنل‌های دیوار زنده مدولار با خط اتصال عمودی و لایه مختلط (دیوار ۱) ، نمای داربست مدولار (دیوار ۲) ، توری و دیوار زنده مدولار با خط اتصال عمودی ولایه مختلط (دیوار ۳) ، پنل‌های دیواری زنده مدولار و لایه ارگانیک (دیوار ۴) ، پنل‌های دیواری با خط اتصال زاویه دار و لایه سبز بام (دیوار ۵) ، پلانترهای کوچک چهارجوب دار با خط اتصال افقی و لایه خاک (دیوار ۶) ، دیوارهای زنده خزه کاشی عمودی با خط اتصال عمودی و لایه ارگانیک (دیوار ۷) ، دیوار زنده با حصیر انعطاف پذیر نقش دار با خط اتصال افقی و لایه خاک (دیوار ۱-۷) ، دیوار زنده با خط افقی و لایه گیاه (دیوار ۸). طرف پوشیده با گیاه نمونه‌ها نشان دهنده سطح بیرونی دیوار بود. ۹ مدل دیوار سبز با یک دیوار برهنه بدون گیاه مقایسه شدند. دمای سطح نما در زیر گیاهان ، دمای سطح لایه ، دمای محیط (در ۰/۱۵ متر ، ۰/۳ متر، ۰/۶ متر با فاصله از نما) ، و رطوبت مربوطه اندازه گیری شدند. نتایج نشان داده است که همه سیستم‌های دیوار سبز باعث کاهش دمای بارز از سطح نما در پشت گیاهان در مقایسه با دیوار برهنه با بیشترین میزان کاهش در طول روز می‌باشد. ماکزیمم کاهش دمای سطح در دیوارهای ۳ و ۴ بوده که به میزان ۱۱/۶ و ۱۰/۹درجه سانتیگراد رسید. دیوارهای ۱ و ۵ و ۸ ماکزیموم کاهش ۹/۳ و ۱۰/۱ درجه سانتیگراد را تجربه کردن. دیوارهای ۶ و ۷ ماکزیموم کاهش۶/۹ و ۷/۱ درجه سانتیگراد را داشتند. دیوار ۲ ماکزیمم کاهش ۴/۴ سانتیگراد را تجربه کرد. بزرگترین کاهش درجه حرارت سطح خارجی نما در سیستم‌های دیوارهای سبز با حداکثر چگالی

گیاه روی میدهد. نتایج همچنین نشان دادند که نماهای گیاهی دمای هوای محیط را نیز تا ۳٫۳ درجه سانتیگراد کاهش میدهند. پژوهش گذشته توسط Perini et al تاثیرات دیوارهای سبز بر سرعت باد و کاهش درجه حرارت را مورد پژوهش قرار داد (Perini , 2011) سه سیستم دیوار سبز مختلف در هلند برای دو ماه در تابستان مانیتور شدند. این سیستم‌ها شامل یک نمای شمال غربی پوشیده شده با تاک و دو مدل از دیوارهای زنده مدولار در دیوارهای خارجی شمال غربی و غرب بودند. نتایج نشان دادند که دمای سطح نمای پوشیده با گیاه تاک با میانگین ۱٫۲ درجه سانتیگراد کمتر از نمای برهنه ، ۲٫۷ درجه سانتیگراد برای دیوار زنده اول و ۳٫۹ درجه سانتیگراد برای دیوار زنده دوم اندازه گیری شد. دیوارهای سبز سرعت باد را در نزدیکی دیوارهای خارجی به میزان ۰٫۴۳ متر بر ثانیه برای نمای پوشیده با تاک ، ۰٫۵۵ متر بر ثانیه برای اولین مدل دیوار زنده و ۰٫۱۵ متر بر ثانیه برای دومین مدل دیوار زنده کاهش یافتند. آخرین پژوهش توسط Pérez et al تاثیرات یک صفحه پوشیده با تاک به صورت عمودی قرار گرفته در فاصله ۰٫۸ – ۱٫۵ متر در جلوی نماهای شمال غربی ، جنوب غربی و جنوب شرقی از یک ساختمان در Lleida اسپانیا را مورد برسی قرار داد (Pérez , 2011) پژوهش میزان روشنایی خارجی ، دمای محیط ، دمای سطح ، دمای سطح نما ، رطوبت متناظر و سرعت باد را اندازه گیری کرد. نتایج نشان داد که دمای سطح نمای سایه دار توسط صفحه گیاهی با میانگین ۵٫۵ درجه سانتیگراد کمتر از نمای در معرض نور مستقیم خورشید می‌باشد

۲-۳- تحقیقات مبتنی بر شبیه سازی

چندی از پژوهش‌ها مبتنی بر شبیه سازی تاثیرات نماهای گیاهی بر کاهش تابش خورشید ، نوسانات دمای هوا ، سرعت باد در سطح نما و مصرف انرژی در مجموع را مدل سازی کردند. این شبیه سازی‌ها نشان دادند که قرار دادن گیاهان بر دیوارهای خارجی به‌طور قابل ملاحضه‌ای مجموع مصرف انرژی ساختمان را کاهش می‌دهند. شبیه سازی‌ها تاثیر درختان بر مصرف سالیانه انرژی ساختمان ، بار سرمایی

حداکثر و ارزش انرژی را اندازه گیری کردند. نتایج با کارایی یک نمونه پایه که یک خانه با عایق در حد متوسط بود مقایسه شد. شبیه سازی‌ها یک کاهش قابل توجه در میزان انرژی برای سرمایش را نشان داد. Holm تاثیر پوشش گیاهی بر دیوارهای خارجی توسط نرم افزار Derob شبیه سازی کرد تا یک ساختمان یک طبقه فرضی در Pretoria آفریقای جنوبی را مدی سازی کند. (Holm , 1989). مدل کامپیوتری پارامترهای متفاوت مانند جهت ساختمان ، فصل ، آب وهوا و توده گرمایی ساختمان را تست کردند. شبیه سازی نشان داد که ساختمان‌هایی با توده گرمایی بالا (با ساختار بتنی) با نماهای پوشیده با گیاه ، دمای هوای داخلی را ۱ درجه سانتیگراد کمتر در تابستان و زمستان برای دیوارهای رو به خط استوا و رو به غرب در مقایسه با ساختمان‌های با نمای برهنه کاهش می‌دهند. در ساختمان‌های با توده گرمایی پایین (Metal Stud Construction) با نماهای پوشیده با گیاه ، دمای هوای داخلی ۵ درجه سانتیگراد کمتر در تابستان و ۲-۳ درجه سانتیگراد کمتر در زمستان برای دیوارهای واقع در خط استوا و ۱-۴ درجه سانتیگراد کمتر در تابستان برای دیوارهای رو به غرب در مقایسه با ساختمان‌های با نمای برهنه بود. یک پژوهش توسط Wong et al تاثیر گیاهان بر مصرف انرژی ساختمان و بر اثر جزایر گرمایی را شبیه سازی کرد. (Wong , 2009). محققان از نرم افزار شبیه ساز انرژی TAS برای مدل سازی یک ساختمان ده طبقه فرضی در سنگاپور با ابعاد ۳۰ در ۳۰ متر و یک طبقه با ارتفاع ۴ متر استفاده کردند. محققان شمای مختلف ، میزان ماتی دیوار و پوشش گیاهی را شبیه سازی کردند. ساختمان تماما با دیوارهای مات (A1) ، ساختمان تماما با دیوارهای پوشیده از گیاه (B1) ، ساختمان با ۵۰ درصد دیوار پوشیده شده با گیاه و ۵۰ درصد پوشش شیشیه‌ای (A2) ، ساختمان تماما با پوشش شیشه‌ای (A3) ، ساختمان تماما با پوشش شیشه‌ای و ۵۰ درصد پوشش گیاهی (B3) ، ساختمان تماما با پوشش شیشه‌ای و تماما پوشیده با گیاه (C3). پژوهش گونه‌های مختلف گیاهان با حداکثر ضریب سایه اندازی گیاه (نسبت محیط سایه دار گیاه توسط گیاهان به محیط کل دیوار) و شاخص محیط برگ (نسبت محیط برگ گیاه به محیط سطح) ، دمای حرارت متوسط شعاعی و بار سرمایی کل

ساختمان اندازه گیری شدند. نتایج شبیه سازی برای ساختمان‌های A1 و B1 نشان دادند که گیاهان بر نمای ساختمان به‌طور قابل ملاحظه‌ای دمای متوسط شعاعی داخلی را با میانگین ۸/۷ درجه سانتیگراد کاهش می‌دهند. (ماکزیمم ۱۰/۴ سانتیگراد) و بار سرمایی ساختمان را ۷۴/۳ درصد کاهش می‌دهند. برای ساختمان‌های A2 و B2 نتایج ، یک کاهش اندک در دمای متوسط شعاعی داخلی با میانگین ۰/۶ (ماکزیمم ۱/۳ سانتیگراد) و بار سرمایی ساختمان ۱۰/۴ با درصد کاهش نشان داد. برای ساختمان‌های A3 و B3 نتایج یک کاهش در درجه حرارت متوسط شعاعی داخلی با میانگین ۲/۵ درحه سانتیگراد (ماکزیمم ۴/۹ سانتیگراد) و بار سرمایی ساختمان ۱۷/۹ درصد نشان داد. پژوهش نشان داد که گیاهان به مقدار زیادی رسانش انتقال گرما در نما را کاهش می‌دهند اما فقط مقدار کمی‌انتقال گرمای تابشی را کاهش می‌دهند. بهترین نتایج برای گیاهان با یک ضریب سایه اندازی بالا و شاخص محیط برگ بالا بدست آمدند.

Kontoleon and Evmorfopoulou تاثیر پوشش گیاهی بر کارایی گرمایی ساختمان را با استفاده از یک مدل Circuit یک بعدی با مقاومت نشان دهنده مقاومت گرمایی لایه‌های دیوار بررسی کردند. (Konteleon , 2010). آنها یک ساختمان آجری مربعی یک طبقه در Thessalaniki یونان با ابعاد ۱۰ در ۱۰ متر و ۳ متر ارتفاع و بدون پنجره شبیه سازی کردند. یک مدل دیوار از نمای برهنه در مقایسه با یک مدل سایه انداز از یک نمای پوشیده با گیاه بود. پژوهش تاثیرات جهت ساختمان ، لایه عایق و پوشش گیاه با اندازه گیری دمای هوای محیط داخلی و خارجی ، دمای سطح نما ، دمای سطح گیاه ، دمای سطح داخلی اتاق و کاهش در بار سرمای ساختمان را بررسی کرد. نتایج نشان داد که دمای سطح اتاق و نما کمتر برای نمای پوشیده با گیاه نسبت به نمای برهنه بود. تفاوت میانگین درجه حرارت سطح خارجی ۱/۷ درجه سانتیگراد در دیوارهای رو به شمال ۱۰/۵ درجه سانتیگراد در دیوارهای رو به شرق، ۶/۵ درجه سانتیگراد در دیوارهای رو به جنوب و ۱۶/۹ درجه سانتیگراد در دیوارهای رو به غرب است. تفاوت میانگین درج حرارت سطح داخلی ۰/۷ درجه سانتیگراد در دیوارهای رو به شمال ، ۲ درجه

در دیوارهای رو به شرق ، ۱٫۱ درجه در دیوارهای رو به جنوب و ۳٫۳ درجه در دیوارهای رو به غرب بود. تفاوت درجه حرارت قابل ملاحظه در نمای شرق و غرب بود. نوسانات درجه حرارت سطح نما در طول روز کمتر برای نمای پوشیده با گیاه (میانگین ۱٫۹ درجه ، ماکزیمم ۲٫۴ درجه در نمای غربی) در نسبت با نماهای برهنه (میانگین ۱۰٫۸ درجه ، ماکزیمم ۱۹٫۳ درجه در نماهای غربی) اندازه گیری شد. بالاخره نتایج نشان دادند که بار سرمایی ساختمان ها کمتر بود در هنگامی‌که پوشش گیاهی نما استفاده می‌شد. یک لایه گیاهی بار سرمایی ساختمان را ۴٫۶ درصد برای دیوارهای رو به شمال ، ۱۸٫۲ درصد برای دیوارهای رو به شرق ، ۷٫۶ درصد برای دیوارهای رو به جنوب و ۲۰٫۱ درصد برای دیوارهای رو به غرب کاهش داد.

۲-۴- بررسی اجمالی تحقیقات

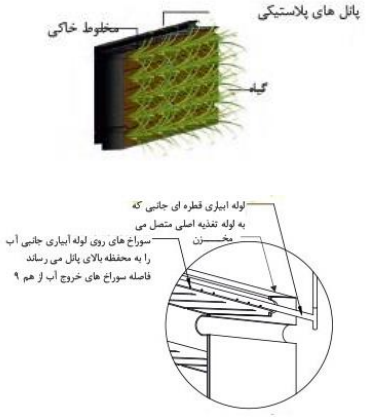
پژوهش‌های گوناگون به نقش گیاهان در بهبود کارایی گرمایی ساختمان و کاهش تاثیر اثر جزایر گرمایی برای ساختمان‌هایی با بام پوشیده با گیاه مورد بررسی قرار دادند. تحقیقات کمتر وقف گیاهان ترکیب شده در نماهای ساختمان شده است. تحقیقات برای یک گستره وسیع از گیاهان همیشه سبز و گیاهان برگ ریز در زمستان در چشم انداز شهری مورد پژوهش قرار گرفته اند ، مانند : درختان خیابان و درخچه‌ها ، حصارهای زنده ، داربست‌ها با گیاهان بالارونده و دیوارهای سبز. هدف اصلی اکثر پژوهش‌ها یافتن راههای متفاوت برای تاثیر گیاهان بر کارایی گرمایی و مصرف انرژی ساختمان است. در میان پژوهش‌های اشاره شده در بالا اکثر آنها تاثیر نماهای سبز را مورد محاسبه قرار دادند و تنها دو مورد دیوارهای زنده را مورد مطالعه قرار دادند. (Wong , 2010) و (Perini , 2011). محققان روش‌های مختلف برای تاثیر دیوارهای سبز را مورد پژوهش قرار دادند. معمول ترین روش استفاده شده رسانایی فیزیکی برای مقایسه کارایی دیوارهای سبز در مقایسه با دیوارهای برهنه بود. (Hoyano , 1988 , Ip , 2010 , Perini 2011, Pérez 2011 , Wong , 2010). بسیاری از محققان مدل‌های

انتقال گرما را ساخته اند تا کارایی گرمایی در نماهای پوشیده با گیاه را شبیه سازی کنند. در پژوهش‌های اخیر بستگی به خصوصیات گیاه به عنوان ورودی‌های مدل در طول آزمایش‌ها بجای محاسبه مستقیم آنها مورد ارزیابی قرار گرفتند. تحقیقات شبیه سازی و تجربی در محدوده یک دیوار خارجی تا یک اتاق با یک منطقه گرمایی ، یک ساختمان یک طبقه تا یک ساختمان ۱۰ طبقه با مناطق گرمایی متفاوت بودند و معمولا شامل دمای هوای بیرون ، دمای هوای داخلی ، بار گرمایی ، بار سرمایی ، دمای سطح داخلی نما ، دمای سطح خارجی نما ، شار گرمایی ، هزینه انرژی سالیانه و میزان کاهش در استفاده و ارزش انرژی ساختمان برای مناطق آب وهوایی متفاوت ، انواع مختلف ساختمان ، انواع مختلف ساختار ، انواع جهت و انواع مختلف گیاهان بودند. اکثر پژوهش‌ها تاثیرات گیاهان بر نمای ساختمان‌ها در طول دوره‌های نسبتا کوتاه زمان ، با میانگین یک ماه در آزمایشات و یک سال در پژوهش‌های مبتنی بر شبیه سازی بودند. اکثر تحقیقات تجربی دیوارهای گیاهی در گذشته محدود به اندازه گیری تاثیرات یک محدوده نازک از گیاهان بوده است. و در یک تنظیمات خاص از تجربیات ، معمولا در یک دوره زمانی کوتاه با وجود یک تعداد زیاد از پژوهش‌ها در تحقیق تاثیرات گیاهان بر کارایی گرمایی ساختمان‌ها ، هنوز کمبود اطلاعات تجربی توسط مانیتور کردن ساختمان‌های واقعی و اندازه گیری کارایی گرمایی آنها در یک دوره زمانی بلند وجود دارد. تحقیقات مشروح بیشتری باید انجام پذیرد تا به تاثیرات گیاهان بر دمای هوای محیط ، تابش خورشید ، سرعت باد ، انتقال گرما در نما و انرژی مجموع ساختمان و هزینه انرژی دست یافت.

۳- فصل سوم : روند تجربی

۳-۱- سیستم دیوار زنده (پنل مدولار)

برای بررسی فرآیند تاثیر دیوارهای زنده یا Living wall به دنبال تکنولوژی‌های موجود در بازار ایران بودیم. در نهایت به شرکت زمینه در تهران که نمایندگی پنل‌های دیوار سبز بودند رسیده و تعداد ۸۱ عدد پنل به قیمت هر پنل ۱۰۰۰۰ تومان سفارش دادیم. نکته قابل تامل اینکه پنل‌ها خیلی شبیه پنل‌های تولید شده توسط شرکت ELT کانادا یکی از شرکت‌های تولید کننده تکنولوژی دیوارهای سبز است. پنل‌ها از تهران به دانشکده کشاورزی دانشگاه صنعتی شاهرود واقع در بسطام منتقل شد.



شکل ۳ - ۱ : پنل‌های دیوار زنده و شیار جهت تعبیه لوله آبیاری

پنل‌ها به ابعاد ۳۰ در ۳۰ سانتیمتر به عمق ۱۰ سانتیمتر بوده که قابلیت رل پلاک شدن به دیوار را با ۴ محل برای پیچ شدن ایجاد میکند. پنل‌ها در راستای عمودی به دو خانه ۱۵ سانتیمتر و در راستای افقی به ۴ خانه ۷/۵ سانتیمتر تقسیم شده اند. بنابراین هر پنل دارای ۸ خانه بوده در بدنه‌های این خانه‌ها شیارهایی عمیق برای انتقال بهتر آب بین خانه‌ها تعبیه شده است. علاوه بر این در بالای پنل‌ها مکانی برای عبور لوله ۱۶ جهت آبیاری قطره‌ای تعبیه شده تا بتوان آب را از ۲ خانه بالای هر پنل تا خانه پایین رساند ؛ همچنین در ۲ خانه پایین پنل ۴ شیار باریک قرار داشته تا آب مازاد پنل بتواند به گونه‌ای به پنل زیرین خود منتقل کند. اگر چه این شیارها با درز گیر و چسب آکواریوم درز گیری شده تا میزان آب پنل‌ها مساوی و قابل مقایسه باشند. علاوه بر این ۲ حفره در قسمت میانی پنل وجود داشته که جهت وصل کردن اتصالات نگهدارنده پشت پنل به محافظ جلوی پنل است.

شکل ۳-۲: درز گیری شیار زیری پنل‌ها جهت آب بند کردن آنها تا میزان رطوبت پنل ها با هم یکسان باشند.

نکته قابل تامل دیگر زاویه دیواره‌های پنل بوده که دارای زاویه ۶۰ درجه می باشد ؛ این زاویه در تحمل وزن خاک موجود در پنل‌ها اثر گذار است.

۳-۲-گیاهان

پس از مشاوره با دانشکده کشاورزی به ۳ گونه گیاه اولیه رسیدیم. این ۳ گیاه عبارت بودند از پاپیتال که گونه ای گیاهان بالارونده بود. گیاه دوم گل ناز گیاهی گوشتی و مقاوم نسبت به شرایط جوی سخت بوده که در مرحله اولیه کاشت و شرایط نامساعد تا حد زیادی از بین رفت و در مرحله دوم با گیاه فرانکنیا جایگزین شد. گیاه سوم گیاه چمن عروس بود که دارای رشد سریع و پوشش بالا بوده و تنها گیاهی بود که در مرحله اول کاشت به‌طور کامل شرایط خود را حفظ کرد.

۳-۳- روند کاشت گیاهان

تاریخ کاشت اولیه گیاهان عبارتند از گل ناز در ۴ شنبه ۱ بهمن، پاپیتال در شنبه ۳ بهمن و عروس چمن در یک شنبه ۱۸ بهمن کاشته شدند. در مرحله دوم گیاه پاپیتال با ۱۰۰ نهال جدید بازیابی شده ، گل ناز به کلی با ۳۶۰ نهال اولیه فرانکنیا در تاریخ ۲۱ اردیبهشت جایگزین شد. تنها ، گیاه عروس چمن که شرایط مساعد تری در گلخانه دانشکده کشاورزی داشت به خوبی رشد کرده بود و نیازی به اضافه کردن نهال جدید نداشت. اگر چه قسمتی از نهال‌ها که دارای کمبود آب بودند در حال پلاسیده شدن بوده که با افزایش رطوبت آنها به کلی به حالت مساعد برگشتند. علت اصلی از بین رفتن گیاهان در کاشت اولیه نامساعد بودن شرایط

شکل ۳-۳ : کاشت اولیه دو گیاه پاپیتال و گل ناز در پنل ها

شکل ۳-۴ : از بین رفتن بخش زیادی از گیاه پاپیتال و گل ناز به دلیل شرایط نامساعد

آبیاری گیاهان در گلخانه بود. در واقع از بین رفتن گیاهان بعلت خشک شدن در اثر کمبود آبیاری و گرمای زیاد گلخانه بود. با توجه به این موضوع سیستم آبیاری برای پنل‌های کاشته شده در گلخانه تعبیه شد تا نیاز آبی گیاهان تامین شود. لذا در مرحله دوم کاشت گیاهان شرایط مساعدی داشته و آماده قرارگیری بروی دیوار به عنوان بخش اصلی سیستم دیوار زنده بودند

شکل ۳-۵ : ایجاد شرایط مساعد برای گیاهان در

۳-۴- پاپیتال

شکل ۳-۶ : گیاه پاپیتال کاشته شده در پنل‌های دیوار زنده

نام فارسي: پاپيتال انگليسي (عشقه، پيچك)

نام علمي : Hedera Helix

نام تيره : Araliaceae

نام انگليسي Ivy

پاپیتال یا عَشَقهٔ معمولی یا پیچک معمولی یا داردوست معمولی با نام علمی ***Hedera helix***، گیاهی است گلدار و دولپه‌ای از سرده هدرا از تیره عشقه یان .این گیاه پیچنده و بالارونده، در صورت نزدیک بودن به یک درخت، دیوار، داربست یا صخره از آن بالا می‌رود، در غیر این صورت روی زمین می‌خزد. پاپیتال دارای برگ‌های سبز و قلبی شکل است. طول بزرگترین ساقه بالارونده یا خزنده این پیچک به پنجاه متر هم میرسد. گل‌های این گیاه به رنگ زرد مایل به سبز است که ۸ تا ۱۰ سال بعد از کاشت آن ظاهر می‌شوند. عمر عشقه۴۰۰ تا ۵۰۰ سال و حتی ۱۰۰۰ سال گزارش شده‌است. میوه رسیده آن دارای مواد سمی‌است. این گیاه بومی‌آسیا، اروپا و شمال ایران است. محل رویش این گیاه در ایران جنگل‌های شمالی از آستارا تا گرگان و نیز در تهران می‌باشد. این گیاه در مناطق کوهستانی مرطوب، کنار جویبارها و زمین‌های مرطوب می‌روید . هدرا از خانواده آرالیاسه و زادگاه آن کشورهای

شمالی اروپا و آمریکا است. درجنگل‌ها به‌طور وفور تنه درختان را پوشانده و رنگ سبز براقی به محیط خود می‌دهد. از همه مشهورتر هدرا هلکس که رشد بسیار سریعی دارد و بیش از ده‌ها واریته مختلف دارد که شکل برگ‌ها و لکه‌های سطح برگ با هم تفاوت داشته و تمامی‌آنها از گونه برگ ریزها می‌باشند. پاپیتال داراي ساقه‌هاي دائمي چوبي و بالا رونده چسبنده ميباشد و به شکل وحشی روی صخره‌ها، در جنگل‌ها و روی دیوارها می‌روید. پاپیتال سایه دوست است و براي پوشش ديوارها و فنسها ايده آل می‌باشد و در فضای سبز شهری بسیار استفاده می‌شود.محيطي نيمه سايه يا سايه بر روي ديوارهاي شمالي و شرقي مناسب است. ديواره‌هاي جنوبي آفتابگير براي اين گياه بسيار گرم است. انواع پاپيتال که داراي برگ سبز هستند قادر به تحمل محيط‌هاي سايه شديد مي باشند، در حالي که انواع ابلق آن طالب نور بيشتري هستند و در نور آفتاب رنگ زيباتري دارند. اگر به خوبي استقرار يافته باشد ميتواند شرايط کم باران و درجه حرارت بالا را براي مدتي تحمل کند اما اگر آبياري عميق صورت گيرد رشد گياه بهتر و انبوه تر خواهد بود. بهتر است فواصل آبياري طوري تنظيم شود که خاك رطوبت متعادلي داشته باشد. خشکي بيش از حد باعث کندي رشد و آبياري زياد سبب زردي برگها و ريزش آنها ميگردد.

شاخ و برگ‌های متراکم و به هم فشرده این گیاه در جذب فرمالدئید نقش موثری دارند. فرمالدئید، یکی از رایج ترین آلوده کننده‌های داخلی خانه است که از رنگ‌های ترکیبی یا رزین‌های کفپوش‌ها متصاعد می‌شود. ناسا این گیاه را به عنوان بهترین گیاه جهت فیلتر کردن فرمالدئید معرفی کرده است. با توجه به اینکه گونه‌هایی از این گیاه را میتوان به سادگی و با مراقبت اندک در منزل نگاه داری کرد، پیشنهاد می‌کنیم که آن را به لیست خرید خود اضافه کنید. وجود این گیاه در اتاق میتواند به عنوان یک عامل ضد آلرژی تلقی شود. چرا که پس از ۶ ساعت از آوردن این گیاه به یک اتاق آلوده، حدود ۶۰ درصد از قارچها و آلودگیهای هوازی و معلق در هوا را جذب کرده که موجب میشود افرادی که به آلرژیهای تنفسی دچار هستند در اتاقهایی که این گیاه در آن حضور دارد بهتر زندگی کنند.

اين گياه پوششي تا هنگاميكه در كنار يك مانع عمودي قرار نگيرد بالا نميرود. اگر مانع عمودي يك درخت باشد بهتر است از بالاروي پاپيتال جلوگيري نمود و يا اينكه به صورت كنترل شده آن را هدايت كرد زيرا تجمع آن روي تنه درخت سبب خشك شدن درخت ميگردد.

۳-۴-۱-خصوصیات

خزان كننده و هميشه سبز – ارتفاع بيش از ۲۵ سانتيمتر و گياهي بالا رونده و در فضاي سبز منزل و بيرون به عنوان پوشاننده تنه لخت درختان مورد استفاده قرار مي گيرد و گروهي در گلدان و گروهي پوشاننده خاك هستند. سريع الرشد و در واريتههاي مختلف شكل برگها متفاوت است. هواي گرم و خشك را دوست ندارد.

۳-۴-۲-شرایط گیاه در پروژه

گیاه پاپیتال یکی از ۲ گیاهی بود که بسیاری از نهال‌های کاشته شده آن خشک شده و از بین رفتند. در کاشت اولیه با نزدیک ۲۱۶ نهال اولیه معادل یک نهال برای هر خانه پنل‌ها کاشته شد که بخش زیادی از بین رفت. در مرحله دوم ۱۰۰ نهال برای پوشش دادن پنل‌ها کاشته شد. با توجه به اینکه اندازه گیری‌های اصلی در بخش وسط هر دیوار انجام می‌شد سعی کردیم پنل‌ها با پوشش بیشتر را در وسط دیوار قرار دهیم. اما همانطور که در شکل قابل مشاهده است حتی در وسط دیوار سطح خاک پنل‌ها کاملا قابل رویت بوده و میزان پوشش گیاه شاید در حدود 30 % – 20 سطح را پوشانده است. در بالا و پایین این دیوار پوشش از این هم کمتر می‌باشد. گیاه پاپیتال با برگ‌هایی موازی سطح پنل‌ها با فاصله‌ای تا حداکثر 10 cm از پنل‌ها قرار داشته و روی پنل‌ها سایه می‌اندازد.

شکل ۳-۷ : میزان سطح پوشش و اندازه گیری عمق

۳-۵- چمن عروس

هلکسین با نام علمی Soleirolia Soleirolii (مترادف با Helxine Soleirolii) به خانواده Urticaceae و راسته Rosales تعلق داشته و بومی‌مناطق شمالی ناحیه مدیترانه در اطراف و شمال کشور ایتالیا می‌باشد. هلکسین گیاهی همیشه سبز و خزنده است که ارتفاع کل گیاه به 15 Cm می‌رسد. برگ‌های دایره‌ای شکل این گیاه کوچک و به رنگ سبز بوده و حداکثر به قطر 5 Cm می‌باشد. برای این گیاه شرایط مرطوب مناسب بوده و دارای رشد سریع می‌باشد. نام‌های انگلیسی متفاوتی برای این گیاه وجود دارد از جمله می‌توان به Baby’s Tears , Angle’s Tears ,... و همچنین Mind your own business که این نام نیز در زبان انگلیسی نام متداولی برای این گیاه می‌باشد.

شکل ۳-۸ : گیاه چمن عروس کاشته شده در

۳-۵-۱-آبیاری

این گیاه خشکی خاک را تحمل نکرده و آبیاری نا منظم باعث کاهش رشد آن و قهوه‌ای شدن حاشیه برگ‌های آن می‌شود. همچنین این گیاه در آب و هوای مرطوب تر شرایط مساعدتری خواهد داشت.

شکل ۳-۹ : تامین رطوبت مناسب و بهبود شرایط گیاه در گلخانه

۳-۵-۲-دما

بهترین دما برای رشد این گیاه 24 – 16 درجه سانتیگراد است. با افزایش دما می‌بایست رطوبت محیط را نیز افزایش داد. گرمای هوای زیاد به همراه خشکی هوا موجب پژمردن و افتادی برگسار گیاه خواهد شد. دمای سرد محیط موجب سیاه شدن برگ‌ها می‌شود.

۳-۵-۳-خاک

تقریبا در تمامی‌انواع مخلوط‌های خاکی که برای گیاهان تهیه می‌شود به شرط داشتن زهکش مناسب می‌تواند رشد کند. بعلاوه بخاطر مناسب بودن محیط کشت اسیدی برای این گیاه ، بکارگیری پیت موس در ترکیب مخلوط کشت این گیاه توصیه می‌شود. این گیاه دارای ریشه‌های سطحی بوده و عمق کاشت $5 - 7.5$ cc برای این گیاه کفایت می‌کند

۳-۵-۴-هرس

هلکسین گیاه پر رشدی بوده که می‌بایست به دلیل محدود بودن رشد ساقه‌های آن ، عمل هرس را به شکل منظم انجام داد. ساقه‌هایی را که بیش از اندازه بلند شده اند را می‌توان کوتاه کرد تا از رشد بیش از اندازه آن جلوگیری کرد. البته این کار موجب تحریک رشد جوانه‌های جانبی و پر پشت و انبوه شدن گیاه می‌شود که هر چند وقت یکبا می‌توان برخی از ساقه‌های اضافه موجود در مرکز گیاه را حذف کرد.

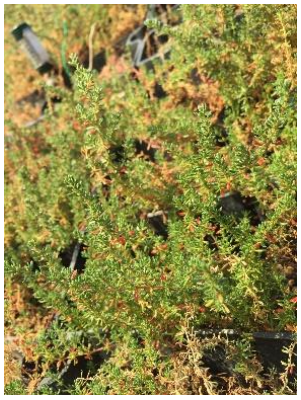
۳-۵-۵- شرایط گیاه در پروژه

گیاه چمن عروس بهترین پوشش را در بین ۳ دیوار دارا می‌باشد. پوشش گیاه تمام سطح پنل‌ها را بصورت متراکم با عمق پوششی نزدیک 12 cm از سطح بیرونی پنل‌ها پوشانده و بخوبی در بستر کاشت پنل‌ها ریشه کرده است. علت اصلی این موضوع بخاطر قابلیت گیاه در ریشه کردن در خاک‌هایی با عمق کم می‌باشد.

شکل ۳-۱۰ : اندازه گیری عمق سایبان و رشد مناسب ریشه در بستر کاشت

۳-۶-فرانکنیا

فرانکنیا با نام علمیFrankenia spp ازتیره Frankeniaceae می‌باشد. بیش از ۸۰ گونه از این جنس به‌طور وسیع در نواحی گرمسیری و و معتدل اروپا ، نواحی مدیترانه‌ای آسیای صغیر و استرالیا پراکنده اند. گل‌ها مجتمع و ریز است. دارای برگ‌های قرمز یا صورتی رنگ بسیار کوچک و ۳ گوش است که در طول ساقه‌های کرک دار آن بوجود آمده است. ریشه قوی بوده و ساقه‌های آن رونده است که به دلیل داشتن انعطاف در روی زمین می‌خوابند و می‌توانند قسمتی را پوشش دهند، ولی چون پا خوری آن نسبت به چمن‌ها کمتر است، بنابراین نباید آن را در محل‌های پرتردد کاشت. همگی چند ساله همیشه سبز با عادت رشد پهن شونده با برگ‌های کوچک خاکستری یا سبز متمایل به خاکستری هستند. در مناطق سرد در زمستان برگ‌ها به رنگ نارنجی تغییر رنگ داده و خزان می‌کنند. گل‌ها بسته به گونه در بهار و تابستان یا به صورت پراکنده در طول سال ، تولید می‌شوند. این گیاه مناطق خشک و شور را تحمل کرده و می‌تواند به عنوان گیاه پوششی برای این نواحی به کار رود. تغییر رنگ برگ‌ها در پاییز و زمستان زیبایی خاصی به آن می‌بخشد. این گیاه به‌طور کامل به سطح خاک چسبیده و پیش می‌رود و پوشش به نسبت یکنواختی ایجاد می‌کند.



شکل ۳-۱۱ : گیاه فرانکنیا کاشته شده در پنل‌های دیوار

۳-۶-۱-کاشت

به دلیل داشتن ساقه‌های نازک و انعطاف پذیر، نمی‌توان آن را مانند گیاهان دیگر به صورت مجزا در خاک قلمه فرو برد، بنابراین ساقه‌های آن را با قیچی چیده و به صورت چند تایی در گلدان نشاء کاشت می‌گردد. پس از ریشه دار شدن آن را به زمین اصلی منتقل می‌کنند. فاصله کاشت بوته‌ها از هم باید ۳۰ تا ۴۰سانتی متر باشد، زیرا بعد از مدت کمی‌زمین را کاملاً می‌پوشاند. فصل کاشت این چمن بهار است.

۳-۶-۲-شرایط آب وهوایی و آبیاری

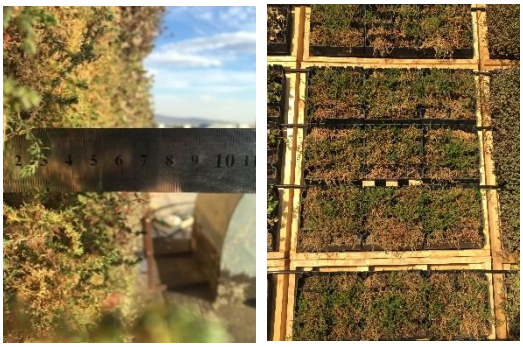
گیاهی است که به نور کامل نیاز دارد. بهترین رشد در دمای ۳۵- ۱۰درجه سانتي گراد است. نیازمند آب نسبتاً کم و خاک سبک است. آبیاری باید روزانه و به روش بارانی انجام شود تا خاک شسته نشود. تاخیر دو تا سه روزه در آبیاری باعث کم رنگ شدن برگ‌ها می‌گردد.

۳-۶-۳-کاربرد

به عنوان گیاه پوششی در بین سنگفرش‌ها و باغ‌های صخره‌ای، کف پوش و درختچه زینتی کاربرد دارد. روی سطح شیب دار و صخره‌ای محل خوبی برای آویزان شدن آن می‌باشد. جایگزین خوبی برای چمن‌های هلندی است.

۳-۶-۴-شرایط گیاه در پروژه

این گیاه در مرحله دوم بجای گل ناز با نزدیک ۳۶۰ نهال به پروژه اضافه شد. اگر چه بخاطر اینکه گیاه دارای برگ‌های ریز و تراکم کم بود گیاه نیاز به زمان بیشتری جهت پوشش متراکن سطح داشت. با این حال همانطور که در شکل قابل مشاهده است توانستیم سطح پنل‌ها را با عمق سایبانی در حدود 6 cm بپوشانیم.



شکل ۳-۱۲ : میزان سطح پوشش و اندازه گیری عمق

۳-۷-چگالی شاخ و برگ

در بسیاری از مقالات کار شده بر روی کارایی گرمایی سیستم‌های سبز چگالی سایبان با میزان عمق سایبان معرفی شده است. با افزایش چگالی اندازه گیری ساده از عمق سایبان نشان دهنده کافی از چگالی سایبان صرف نظر از گونه گیاه است.(Holm , 1989)

۳-۸- بستر کاشت

فاکتورهای مهم بستر کاشت شامل ذخیره بیشتر آب و انتقال مناسب رطوبت و اکسیژن به ریشه گیاه می‌باشد. لذا نیازمند بستر کاشت با تخلخل مناسب بوده که هم رطوبت و اکسیژن را بهتر به ریشه گیاه رسانده و بعلاوه وزن کمتری داشته باشد. از آنجایی که خاک‌های شهری هیچکدام از این شرایط را نداشته لذا برای بستر کاشت گیاه از مخلوط پرلیت ، کوکومیت و باگاس استفاده کردیم که با مقداری از خاک خود گیاه ، بستر کاشت را تشکیل می‌دهند.

۳-۹- پرلیت (Perlite)

پرلیت کشاورزي باغباني، سنگ آتشفشاني منحصر به فردي است که حجم آن در دماي حدود ۹۰۰ درجه سانتيگراد بيش از ۱۳ برابر افزايش مي‌يابد. اين سنگ در اثر حرارت به ماده‌اي بسيار سبك ، استريل و سفيد تبديل مي‌شود و به دليل خاصيت معدني خود داراي مواد معدني غني از جمله آهن ، سديم،كلسيم و كانيهاي ديگر است. پرليت فرآوري شده كاملاً سبک و سفيد رنگ می‌باشد.

با این محصول میتوان ، آب را به میزان زیاد و به مدت طولانی و با یک توزیع و پخش یکسان در دل خاک در اختیار ریشه قرار داد و از هدر رفتن آن جلوگیری کرد. در واقع انباری بسیار کوچک برای نگهداری مقادیر بسیار بزرگی از آب برای گیاه در دل خاک ایجاد می‌گردد و به مرور آب را در اختیار ریشه قرار می‌دهد، این کالا سبب می‌شود که از شسته شدن مواد غذایی خاک جلوگیری شود. وجود تخلخل درپرلیت ، تبادلات هوایی و گازی را در خاک برای ریشه گیاه به سهولت فراهم می‌آورد ، و به این علت باعث اصلاح سیستم هوادهی و آبدهی خاک و در نتیجه بهبود عمل تهویه خاک می‌شود. پرلیت با دارابودن PH خنثی درحد ۶۶/۵-۷/۵ از هر گونه اختلالی در ریشه گیاه جلوگیری می‌کند. هر ذرّه از پرليت منبسط شده، حاوي سلول‌هاي ريز هوا و حفره‌هاي متعدد و چند لايه است. که شرایط

مساعدي براي ريشه‌زايي و رشد گياهان فراهم مي‌آورد. پرليت كشاورزي ، باغباني با زبري ذاتي خود، حداقل ذرّه‌اي بسيارمناسبي دارد كه تهويه عالي و بازدهي بالاي مخلوط خاك را موجب مي‌شود؛ همچنين به دليل داشتن سطح وسيع، رطوبت قابل ملاحظه‌اي را در خود ذخيره كرده ، آن را به بهترين شكل براي رشد و تكثيرگياه آزاد مي‌كند.

۳-۹-۱-مزایای پرلیت

- این ماده بدلیل ، سفید بودن و عایق بودن در نتیجه انعکاس نور خورشید ، از هر گونه تغییرات ناگهانی در دمای خاک و ایجاد شوک به ریشه گیاه جلوگیری مینماید.
- پرلیت کشاورزی کاملا آبیاری شده، تنها ۶۴۰ کیلوگرم بر متر مکعب وزن دارند. خاک کاملا آبیاری شده ۱۶۰۰ تا ۲۰۰۰ کیلوگرم بر متر مکعب وزن دارد.که میتوان وزن محیط کشت را با استفاده از مخلوط‌های ترکیبی پرلیت کشاورزی و یک افزودنی دیگر نظیر پیت،کمپوست یا کودهای آلی،بعنوان خاک محل کشت تا ۶۰% کاهش داد.
- پرلیت کشاورزی قادر است ۳ تا ۷ برابر وزن خودش آب جذب و نگهداری کند و دچار آبگرفتگی نشود. در عین حال، میتواند ظرفیت نگهداری مواد غذایی محلول را نیز افزایش داده و از خروج مواد غذایی محلول در اثر آبیاری‌های مکرر پیشگیری نماید از سوی دیگر ساختار میکروسکوپی ذرات پرلیت به گونه‌ای است که با داشتن حفرات و تخلخلهای چند لایه قادر است حتی در حالت اشباع از آب نیز حداقل ۲۰% از تخلخل مفید خود را در خاک حفظ کرده واز این طریق تبادل هوا و اکسیژن را نز در محیط کشت افزایش دهد.

۳-۱۰-کوکوپیت

کوکوپیت نوعی بستر کشت است که با استفاده از الیاف پوست و پوشش میوه نارگیل تهیه می‌شود. کوکوپیت معمولاً به صورت فشرده به بازار عرضه می‌شود و مصرف کننده نهایی با افزودن آب به این الیاف فشرده آنها را برای استفاده آماده می‌کند. بعد از افزودن آب، هر ۱ کیلوگرم کوکوپیت فشرده می‌تواند به ۱۵ لیتر کوکوپیت مرطوب تبدیل شود.

۳-۱۰-۱- فواید استفاده از کوکوپیت

- توانایی نگهداری آب بالا: کوکوپیت در مقایسه با پیت ماس نیاز به آبیاری کمتری (تا٪۶۵) دارد. کوکوپیت نسبت به پیت ماس آب بیشتری نگهداری می‌کند.
- توانایی دوباره خیس شدن و خصوصیت زهکشی سریع کوکوپیت باعث کاهش از دست رفتن نوترینت‌ها از طریق آبشویی می‌شود.
- PHکوکوپیت خنثی تا کمی‌اسیدی است و بنابراین برای گیاهان بسیار مناسب است.
- کوکوپیت طبیعی ترین تهویه کننده خاک است و از سخت شدن خاک جلوگیری می‌کند و تخلخل خاک را افزایش می‌دهد.
- کوکوپیت به رشد باکتری، قارچ و علف هرز مقاوم است و درواقع بدون پاتوژن است.
- مقدار بالای لیگنین در آن توسعه میکروارگانیسمهای مطلوب را تشویق می‌کند.
- کوکوپیت می‌تواند بعنوان یک محیط کشت بدون خاک در هیدروپونیک مورد استفاده قرار بگیرد.
- کوکوپیت کاملاً آلی است. هیچ گونه تاثیر نامطلوبی بر محیط‌زیست ندارد.
- کوکوپیت تا ۴ سال قابل استفاده مجدد و برگشت است.

۳-۱۱- نحوه قرار گیری پنل‌ها برروی دیوار

برای قرار گیری پنل‌ها برروی دیوار به چند دلیل از قاب‌های چوبی استفاده کردیم. در میان هر قاب ۴ ستونک که محلی برای پلاک شدن پنل‌ها و همچنین انتقال دادن وزن آنها به قاب پیرامونی استفاده شده است. ستونک‌ها به گونه‌ای تعبیه شده تا پنل‌ها تا دیوار پشتی یک فاصله ۵ ساتیمتر داشته باشند. این لایه هوای پشت پنل‌ها طبق مقالات بررسی شده به عنوان عایق عمل میکند. هر قاب وزن ۹ پنل را تحمل می‌کند. این پنل‌ها به ستونک‌های داخل قاب با پیچ‌های mdf ۵ سانتیمتری متصل می‌شود.

شکل ۳-۱۳ : نصب قاب‌های چوبی نگهدارنده پنل‌های دیوار زنده بروی دیوار

همانطور که گفته شد ستونک‌ها به گونه‌ای قرار گرفته اند که ۵ سانتیمتر فاصله بین دیوار پشتی و پنل‌ها وجود داشته باشد. با توجه به اینکه قاب‌ها از یک سمت بدون فاصله بر روی دیوار پلاک می‌شوند ، هوا پشت هر کدام از قاب‌ها محبوس بوده و به یکدیگر نزدیک نیستند. باید در نظر داشت که ایزوله کردن هوا در پشت پنل‌ها به منظور مقایسه شرایط هوای بین پنل‌ها و دیوار و تاثیر آن برروی انتقال گرما در دیوار بیرونی مورد نظر است.

شکل ۳-۱۴ : ۹ عدد قاب چوبی ، ساخته شده جهت نگهداری و تحمل وزن پنل‌های دیوار زنده بروی خود و ایجاد حفره هوا بین پنل‌ها و سطح دیوار

۳-۱۲-مشخصات قاب‌ها

- قاب‌ها اصلی از چوب نراد روسی به طول ۱ متر ، عرض ۱۰ سانتیمتر به ضخامت ۳ سانتیمتر
- ستونک‌ها به طول ۱متر در ۷ سانتیمتر به ضخامت ۲ سانتیمتر
- فاصله اندازها به ضخامت ۳ سانتیمتر
- محلی برای آویزان کردن دیتا لاگر

۳-۱۳- شرح و آنالیز سیستم

مکان : دیوار غربی ساختمان اتاق اساتید در اقلیم گرم و خشک در تابستان

مدل گیاه : پاپیتال ، فرانکنیا ، چمن عروس

قطر پوشش : پاپیتال 5-10 cm ، فرانکنیا 6 cm ، چمن عروس 12 cm

تراکم و میزان پوشش : پاپیتال 30% ، فرانکنیا 30-50% ، چمن عروس 100%

سن گیاه : زیر یک سال

مواد پشتیبانی کننده : جعبه‌های Planter با ابعاد ۳۰ در ۳۰ در ۱۰ قطر لایه خاک پوشیده با مقداری از خاک گیاه به همراه پرلیت و کوکومیت برای سبک سازی و افزایش تخلخل خاک به همراه کود مناسب باگاس

حفره هوا بین نما و سطح لایه دیوار زنده : ۵ سانتیمتر

ماده نمای ساختمان : دیوار از جنس آجر به قطر ۳۵ سانتیمتر

مکان جغرافیایی : 3623’39’’ N , 5456’34’’ E , 4420 ft Elevation

جهت دیوار : ۲۵۰ درجه – غربی

شرح فضای پشتی : اتاق ۸ مترمربع – اتاق استاد با یک پنجره و تهویه با کولر آبی

۳-۱۴- شرایط پروژه (شرایط اقلیمی‌و فاکتورهای دیوار)

فاکتورهای گوناگونی بروی کارایی حرارتی و میزان تاثیر سیستم‌های سبز عمودی بروی انتقال حرارت از ساختمان موثر است. کارایی حرارتی دیوارهای سبز به‌طور مستقیم تحت تاثیر شرایط آب و هوا است. (Alexandri and Jones,2008) بزرگترین فواید ذخیره انرژی و خنک کردن در شرایط هوایی تابستانی گرم و خشک (Alexandri and Jones , 2008) و دیوارهای غربی ساختمان (Holm ,1989) اتفاق می‌افتد. تاثیر جهت و نسبت پوشش گیاهان بروی رفتار حرارتی دیوار در تابستان بررسی

شده و گزارش شد که جهت گیری به سمت غرب نشان دهنده بیشترین تفاوت دمایی در پیک روزانه بین دیوار برهنه و پوشیده با گیاه بود (Eumorfoulou and Kontoleon , 2010). دیوارهای زنده یا نماهای سبز گرایش به استفاده در جنبه‌های غربی و جنوبی ساختمان دارند ، چرا که بیشترین تابش خورشیدی را دریافت می‌کنند . از میان این فاکتورهای تاثیر گذار ذکر شده در پژوهش‌های انجام شده ، پژوهش حاضر واجد همگی این شرایط است. پژوهش حاضر در آب و هوای گرم وخشک و در ماه ژولای دیتا برداری شده است. جهت گیری دیواری که دیوارهای زنده بروی آن نصب گردیده دارای جهت گیری غربی با ۲۰ درجه انحراف به جنوب بوده به‌طوری که در بازه دیتا برداری از نیمه روز دیوار تحت تابش مستقیم آفتاب تا انتهای روز می‌باشد. در واقع دمای سطح دیوار کنترل با حداکثر میزان ۵۶ سانتیگراد نشان دهنده این حقیقت بوده که دیوار مورد نظر تحت تاثیر مقادیر زیاد تابش خورشیدی در طول روز می‌باشد. برای یافتن مکانی جهت نصب سیستم دیوار زنده محدودیت‌هایی وجود داشت. به عنوا مثال عدم هیچ گونه سایه اندازی خارجی بر روی دیوار یکی از این عوامل بود. علاوه بر این دیوار می‌بایست بصورت یکپارچه و بدون بازشو بوده و جهت گیری دیوار بسمت غرب باشد. چراکه دیوار غربی در موقعیت جغرافیایی ایران در طول روز در تابستان بیشترین میزان جذب نور خورشید را داراست. از عوامل مهم دیگر فضای پشتی دیوار است. لذا از میان فضاهای آموزشی موجود اتاق اساتید به دلیل تردد کمتر مناسب تر هستند. با توجه به نیازهای پروژه به دنبال گزینه‌های مختلف گشتیم. در نهایت به اتاق یکی از اساتید دانشکده زمین شناسی در نزدیکی دانشکده معماری دانشکده معماری در طبقه سوم رسیدیم که همگی این شرایط را دارا بود. این دیوار دارای حدودا ۴ متر ارتفاع و ۹ متر طول و به ضخامت ۳۵ سانتیمتر و بدون هیچگونه بازشو موجود بود. دیوار بین ۲ اتاق به نسبت مساوی تقسیم شده که برای نیاز پروژه کفایت می‌کرد چرا که ما نیازمند نزدیک ۴ متر طول برای مجموع دیوار برهنه و ۳ نوع گیاه بودیم. موضوع حایز اهمیت دیگر اینکه دیوار مورد نظر با یک درز ۵ سانتیمتر از دیوارهای

پشتی خود و سقف جدا شده و با یک پوشش آلومینیومی‌روی آن پوشیده شده است. این موضوع می‌تواند در انتقال همرفتی انرژی گرمایی از دیوار غربی به دیوارهای مرتبط با خود تاثیر گذار باشد.

۳-۱۵- شرح سیستم دیوار زنده

هر دیوار زنده به ۳ بخش در بالا ، وسط (Control) و پایین تقسیم می‌شود. هر بخش شامل یک قاب مربع شکل با سطح ا متر مربع با ۹ پنل مدولار پوشیده از گیاه تقسیم می‌شود. لذا ما گیاهان با بهترین شرایط را در بخش مرکزی قرار داده و اندازه گیری‌های اصلی برای حرارت و رطوبت را در این بخش انجام دادیم. اگر چه از بخش پایین و بالا هم جهت یکسری اندازه گیری مضاعف برای مقایسه چندین فاکتور تاثیر گذار اضافی از جمله تاثیر ارتفاع و همچنین رطوبت بروی حرارت سطح دیوار استفاده می‌کنیم. دیوارهای زنده شامل ۳ گونه متفاوت می‌باشد. Living Wall 1 پوشیده از گیاه پاپیتال که گونه بالا رونده شناخته شده برای سیستم‌های سبز عمودی بوده که البته تراکم در هر ۳ بخش کم بوده و ما بهترین پوشش را برای بخش میانی در نظر رقتیم که حدود % 40 – 30 سطح را پوشش داده و در ۲ بخش بالا و پایین میزان پوشش زیر % 30 می‌باشد. میزان پوشش مهمترین فاکتور تاثیر گذار در شار حرارتی است. اگر میزان پوشش کمتر از 30% باشد عملکرد حرارتی آن تا حد زیادی شبیه دیوار برهنه است. اما اگر این میزان پوشش 100% باشد می‌توانند تابش خورشیدی را به میزان 40% از طریق سایه اندازی موثر از میزان پوشش و همچنین تراکم شاخ و برگ کاهش دهند.گیاه Living

شکل ۳-۱۵ : ۳ دیوار زنده در ۳ تراز که دیتا برداری اصلی در مرکز بخش وسطی هر کدام از دیوارهای زنده انجام می شود. سیستم‌های دیوار زنده به ترتیب از چپ شماره گذاری می شوند.

Wall 2 شامل گیاه پوششی فرانکنیا یا چمن کویر بوده که گونه‌ای گیاه پوششی علفی با برگ‌ها ریز بوده و دارای تراکم بهتری نسبت به Living Wall 1 در هر ۳ بخش می‌باشد. این گیاه میزان پوشش به قطر ۶ سانتیمتر از سطح پنل ایجاد کرده است. و بالاخره Living Wall 3 پوشیده شده از گیاه هلکسین یا چمن عروس که بهترین و متراکم ترین پوشش را نسبت به دو دیوار قبلی در هر ۳ بخش ایجاد کرده است. گیاه هلکسین بیشتر برای فضای داخلی استفاده می‌شود اما به علت رشد سریع و تراکم زیاد برای Living Wall 3 انتخاب شد. این گیاه پوششی متراکم به قطر ۱۲ سانتیمتر از سطح پنل‌ها ایجاد کرده که پوششی متراکم از برگهای ریز ایجاد کرده است. Pérez بیان می‌کند که متغیر کلیدی گیاهان موثر در کاهش حرارت بستگی به اندازه متفاوت سایه تولید شده توسط گونه گیاهان دارد(Pérez , 2011). همچنین تحقیقات بروی دیوارهای سبز نشان می‌دهد حداکثر کاهش حرارت در جایی اتفاق می‌افتد که چگالی شاخ و برگ حداکثر است (wong,2010). لذا انتظار داریم که بیشترین کاهش در دمای هوای حفره هوا و به‌طور متناظر کاهش دمای سطح خارجی و داخلی دیوار را بروی LWS 3 داشته باشیم. در حقیقت تفاوت محسوس در میزان پوشش و تراکم گیاه در LWS 3 به نسبت دو دیوار زنده دیگر این انتظار را ایجاد می‌کند تا بهترین شرایط را در این دیوار تجربه کنیم.

شکل ۳-۱۶ : عرض 35 cm دیوار و درز 5 cm بدون عایق بین دیوار مورد نظر و دیوارهای جانبی اتاق مورد آزمایش

شکل ۳-۱۷ : دیوار مورد نظر جهت نصب سیستم دیوار زنده و جهت گیری دیوار ، مکان جغرافیایی و ارتفاع از سطح دریا در مکان آزمایش

۳-۱۶- حفره هوا (میزان عمق ، میکرو اقلیم)

شکل ۳-۱۸ : حفره هوا به عمق 5 cm بین پنل‌های دیوار زنده و سطح بیرونی دیوار

دیوارهای زنده بخصوص پنل‌های مدولار یا جعبه‌های کاشت ، اثر خنک کنندگی بیشتری نسبت به دیگر گونه‌های دیوار سبز دارند. این به علت حفره بین شاخ و برگ و سطوح دیوار است. دیوارهای زنده میزان بیشتری سایه تولید کرده که باعث اثر خنک کنندگی بیشتر می‌شود. همچنین آنها می‌توانند میزان بیشتری هوا را در حفره به دام انداخته ، بنابراین باعث کاهش جریان هوا و بوجود آوردن میکرو اقلیم برجسته تری در داخل حفره به نسبت دیگر دیوارهای سبز شده ، که موجب عایق حرارتی بیشتر می‌شود. بعلاوه ، دیوارهای زنده جرم بیشتری داشته که باعث افزایش اینرسی حرارتی آنها می‌شود. با توجه به پیشینه تحقیقات انجام شده که اشاره به فاصله‌ای بهینه‌ای در حدود $4 - 6$ cm بین سیستم سبز عمودی و دیوار پشتی خود داشته (Perini , 2011) اقدام به ایجاد حفره‌ای به اندازه 5 cm بین سیستم سبز عمودی و دیوار پشتی کردیم. تنظیمات ساختمان : 50 mm حفره هوا بمانند 0.5 mm عایق عمل می‌کند. میزان تبادل هوا در حفره هوا برای خنک کردن دیوار پشتی نقش مهمی‌داشته به علت اینکه سرعت باد تاثیر زیادی بر روی انتقال حرارت همرفتی از جداره بیرونی دیوار یک ساختمان دارد (Otelle , 2011). با توجه به قابلیت‌های بایو فیزیکال گیاهان ثابت شده که گیاهان قابلیت ایجاد یک میکرو اقلیم با دمای کمتر و رطوبت بیشتر در اطراف ساختمان را دارند. به این منظور برای بررسی میکرو اقلیم ایجاد شده در حفره هوای پشت دیوارهای زنده اقدام به نصب دستگاههای ثبت کننده اطلاعات برای دما و رطوبت هوا کرده تا به مقایسه دما و رطوبت محیط با دما ورطوبت میکرو اقلیم ایجاد شده پرداخته و همچنین تاثیر گونه گیاهان و تراکم آنها را بر این میکرو اقلیم بررسی کنیم. موضوع دیگری که مورد بررسی قرار می‌دهیم تاثیر رطوبت لایه بر این میکرو اقلیم می‌باشد. با توجه به نشان دادن این میکرو اقلیم ایجاد

شده ، انتظار می‌رود تا تاثیر خود را بروی دمای خارجی سطح دیوار و شار گرمایی منتقل شده از دیوار گذاشته و ما بتوانیم این تاثیر را در دمای سطح داخلی دیوار شاهد باشیم. بعلاوه ما به‌طور مشابه از مقایسه نقطه به نقطه دمای سطح داخلی دیوار به دنبال بررسی تاثیر نوع گیاهان و تراکم متفاوت آنها بروی دمای سطح داخلی دیوار هستیم. لازم به ذکر بوده که عرض 35 cm دیوار در کاهش این تاثیر می‌تواند تاثیر گذار باشد.

۳-۱۷-شرایط سیستم آبیاری

عکس ۳-۱۹ : سیستم آبیاری اتومات بهمراه فیلتر تصفیه آب و انشعاب اصلی سیستم آبیاری

سیستمی‌که برای آبیاری دیوارهای زنده مورد نیاز است باید قابلیت آبدهی اتومات را داشته باشد. با توجه به اینکه در پشت بام دانشکده کشاورزی فشار آب کافی برای سیستم آبیاری قطره‌ای توسط پمپ آب خود دانشکده تامین می‌شد لذا تنها نیازمند سیستمی‌برای فرمان قطع و وصل آب داشتیم. به این منظور در جلوی جریان آب از یک عدد شیر برقی ۲/۵ به علاوه یک سوپر تایمر دیجیتال (شیوا امواج) استفاده کردیم. بلافاصله بعد از شیر برقی از یک فیلتر توری در مسیر جریان آب استفاده کردیم. اینگونه فیلترها در ابتدای جریان آب سیستم‌های آبیاری قطره‌ای مرسوم هستند. در واقع کار این فیلترها جلوگیری از داخل شدن رسوب و آشغال در شریان‌های سیستم آبیاری قطره‌ای است. چرا که این رسوبات به مرور زمان باعث گرفتگی در قطره چکان‌ها شده و کارایی آنها را کاهش می‌دهد. جریان اصلی آب شامل یک لوله ۱ اینچ بوده که از شیر تا ۲۰ ساتنیمتر بالای پنل‌ها ادامه دارد. سپس برای هر ردیف از پنل‌ها

که شامل ۹ پنل در هر خط می‌شد یک انشعاب از لوله ۱۶ گرفتیم. در ابتدای هر انشعاب از شیر تنظیم کننده فشار قرار دادیم تا قابلیت تنظیم فشار آب در هر خط را داشته و در انتهای مسیر با اتصالات عینکی جریان آب را کور می‌کنیم. این موضوع در ارتفاعات بالا اهمیت زیادی پیدا می‌کند. سیستم آبیاری قطره‌ای معمولا برای ظروف گیاه برای کنترل آبدهی و تغذیه گیاهان استفاده می‌شود (Loh , 2008). برای آبیاری هر کدام از پنل‌ها از ۲ عدد قطره چکان یا به عبارتی ۱ قطره چکان برای هر ۴ خانه پنل‌ها در نظر گرفتیم. این شامل ۱۸ قطره چکان در هر خط برای ۹ پنل و مجموع ۱۶۲ قطره چکان برای ۹ خط و برای ۸۱ پنل بود. قطره چکان‌ها تولید Antelco استرالیا بوده و دارای دبی ۴ لیتر در ساعت هستند.

عکس ۳-۲۰ : انشعاب فرعی آبیاری به همراه شیرهای کنترل فشار در ابتدای اشعابات فرعی جهت کنترل میزان آب

۳-۱۷-۱- اهمیت سیستم آبیاری

از طریق تبخیر و تعرق ، مقدار زیادی از تابش خورشیدی می‌تواند به گرمای نهان تبدیل شده و باعث کاهش دمای هوای اطراف ساختمان شود. این پروسه فیزیکی که خنک کنندگی تبخیری نامیده شده باعث جذب 2450 J انرژی برای هر گرم از آب تبخیر شده از گرمای محیط اطراف خود می‌شود. این خنک کنندگی تبخیری از برگ‌ها با توجه به نوع گیاهان و شرایط اقلیمی‌تفاوت می‌کند. تبخیر و تعرق تلفیقی از اثرات ۱)تبخیر از خاک ، گیاهان و سطوح ساختمان ۲) تعرق از آب داخل برگ‌ها به بخار آب است. این تبخیر و تعرق از حرارت محسوس تولید شده توسط تابش خورشیدی به گرمای نهان یا خنک کنندگی نهان تبدیل شده در جایی که بخشی از این گرما برای تبدیل آب از حالت مایع به بخار آب استفاده می‌شود (Taha , 1997) با توجه به اقلیم گرم و خشک و تابش زیاد خورشید و افزایش حرارت

سطح لایه‌ها انتظار می‌رود رطوبت تاثیر گذار بروی کاهش حرارت هوای حفره و همچنین حرارت سطح دیوار و افزایش رطوبت هوای حفره داشته باشد. بعلاوه کاهش سطح تراکم در دو دیوار اول بخصوص LWS 1 انتظار می‌رود که میزان رطوبت سطح لایه بیشتر تاثیر خود را نشان دهد. به عبارت دیگر بعلت تابش مستقیم به سطح خاک لایه دیوار زنده ، رطوبت سطح لایه باعث افزایش متناظر در تبخیر آب از سطح لایه خاک شده که به‌طور متناظر باعث کاهش حرارت می‌شود. در واقع با برخورد تابش مستقیم به سطح لایه اشباع شده حرارت تابشی خورشید تبدیل به گرمای نهان شده و باعث جذب گرما از محیط اطراف خود می‌شود

۳-۱۷-۲-استراتژی آبیاری

در نظر داریم به ارزیابی تاثیر رطوبت لایه بروی حرارت و رطوبت حفره هوا و همچنین حرارت سطح دیوار بپردازیم. برای بررسی بهتر تفاوت ایجاد شده دیتا برداری را به دو مرحله کلی تقسیم کرده‌ایم. مرحله اول آبدهی سیستم آبیاری بصورت خودکار در شیفت‌های مشخص به آبیاری سیستم پرداخته تا سطح لایه همواره در حالت اشباع قرار داشته باشد. در مرحله دوم سیستم آبیاری به‌طور کامل قطع گردیده تا با کاهش متناظر رطوبت در تمامی‌سطوح بتوان تاثیر رطوبت را بر سطح لایه و همچنین گیاهان مشاهده کرد. در واقع انتظار می‌رود که تاثیر کاهش حرارت در جایی که تراکم گیاه کم بوده به علت تاثیر تبخیر بیشتر از سطح لایه بیشتر باشد. در عین حال به تاثیر رطوبت در گیاه متراکم ، که بیشتر موثر بروی تعرق سطح گیاه داشته می‌پردازیم. در واقع با مقایسه دیوارهای زنده در دوره اول و دوم می‌توان تا حدی تاثیر رطوبت را بروی دیوارهای زنده ارزیابی کرد.

۳-۱۷-۳-زمان دهی و میزان آب مصرفی

سیستم آبیاری دیوار زنده بصورت خودکار دارای شیفت‌های آبیاری بوده و به‌طور کلی در وسط گیاه حجم آبدهی حدود 3 L/m2.d بوده در حالیکه در پایین دیوار این میزان در ابتدا حدود 6 L/m2.d می‌باشد به این منظور که به بررسی تفاوت رطوبت در سطح لایه برروی حرارت پشت دیوار بپردازیم.

عکس ۳-۲۱ : آبیاری متفاوت بین تراز وسط و پایین سیستم

۴- فصل چهارم : مواد و روش ها

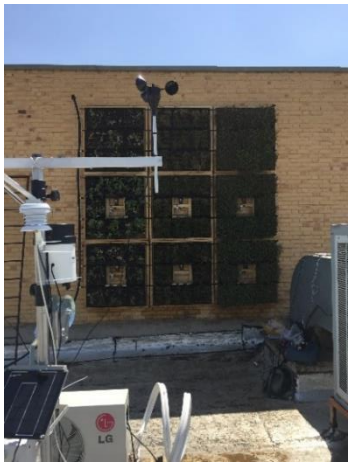
۴-۱- متودولوژی

با توجه به اینکه به دنبال بررسی تاثیر کاهش حرارت دمای سطح ساختمان توسط دیوارهای زنده بودیم دیوار را برای دیتا برداری در آب و هوای گرم وخشک و در ماه ژولای دیتا برداری شده است. همچنین با توجه به تاثیر مهم خورشید برروی دمای سطح دیوار سیستم دیوار زنده بروی دیوار با جهت گیری غربی با ۲۰ درجه انحراف به جنوب نصب شده به‌طوری که در بازه دیتا برداری از نیمه روز دیوار تحت تابش مستقیم آفتاب تا انتهای روز می‌باشد. در واقع دمای سطح دیوار کنترل با حداکثر میزان نزدیک ۵۶ سانتیگراد نشان دهنده این حقیقت بوده که دیوار مورد نظر تحت تاثیر مقادیر زیاد تابش خورشیدی در طول روز می‌باشد. دیوارآجری با هیچ گونه سایه اندازی خارجی بر روی آن ،یکپارچه و بدون بازشو به عرض 35cm می‌باشد . ارزیابی کارایی گرمایی سیستم‌های سبز عمودی در مدل و مقیاس کوچک تر انجام گرفته تا امکان کنترل متغیرها ساده تر شده و نتایج خالص تر از تاثیر سیستم‌های سبز باشد. با توجه به قابلیت‌های بایو فیزیکال گیاهان ثابت شده که گیاهان قابلیت ایجاد یک میکرو اقلیم با دمای کمتر و رطوبت بیشتر در اطراف ساختمان را دارند. به این منظور برای بررسی میکرو اقلیم ایجاد شده در حفره هوای پشت دیوارهای زنده اقدام به نصب دستگاه‌های ثبت کننده اطلاعات برای دما و رطوبت هوا کرده تا به مقایسه دما و رطوبت محیط با دما ورطوبت میکرو اقلیم ایجاد شده پرداخته و همچنین تاثیر گونه گیاهان و تراکم آنها را بر این میکرو اقلیم بررسی کنیم. همچنین دمای سطوح دیوار توسط دیتا لاگرهای حرارتی در نقاط مختلف از جمله پشت دیوارهای زنده و همچنین سطح دیوار کنترل نصب می‌شوند. محققان روش‌های مختلف برای تاثیر دیوارهای سبز را مورد پژوهش قرار دادند. معمول ترین روش استفاده شده رسانایی فیزیکی برای مقایسه کارایی دیوارهای سبز در مقایسه با دیوارهای برهنه بود. (Hoyano , 1988 , Ip , 2010 , Perini , 2011 , Pérez , 2011 ,Wong , 2010). در این پروژه نیز از این متودولوژی برای کارایی حرارتی سیستم‌های دیوار زنده استفاده شده است. بعلاوه در نظر داریم به ارزیابی تاثیر رطوبت لایه بروی حرارت و رطوبت حفره هوا و همچنین حرارت سطح

دیوار بپردازیم. برای بررسی بهتر تفاوت ایجاد شده دیتا برداری را به دو مرحله کلی تقسیم کرده ایم. مرحله اول آبدهی سیستم آبیاری بصورت خودکار در شیفت‌های مشخص به آبیاری سیستم پرداخته تا سطح لایه همواره در حالت اشباع قرار داشته باشد. در این دوره سیستم آبیاری دیوار زنده بصورت خودکار در تراز وسط دیوار زنده حجم آبدهی حدود 3 L/m2.d بوده در حالیکه در پایین دیوار این میزان در ابتدا حدود 6 L/m2.d می‌باشد. این تفاوت به منظور ارزیابی همزمان تفاوت میزان رطوبت در سطح لایه برروی کارایی حرارتی دیوار زنده می‌باشد. در مرحله دوم سیستم آبیاری به‌طور کامل قطع گردیده تا با کاهش متناظر رطوبت در تمامی‌سطوح بتوان تاثیر رطوبت را بر سطح لایه و همچنین گیاهان مشاهده کرد. در واقع انتظار می‌رود که تاثیر کاهش حرارت در جایی که تراکم گیاه کم بوده به علت تاثیر تبخیر بیشتر از سطح لایه بیشتر باشد. در عین حال به تاثیر رطوبت در گیاه متراکم ، که بیشتر موثر بروی تعرق سطح گیاه داشته می‌پردازیم. در واقع با مقایسه دیوارهای زنده در دوره اول و دوم می‌توان تا حدی تاثیر رطوبت را بروی دیوارهای زنده ارزیابی کرد.

۴-۲- ابزارها و پارامترها

برای اندازه گیری‌های این پروژه از مجموعه‌ای از دستگاه‌های ثبت کننده اطلاعات (data logger) حرارتی و رطوبتی استفاده کردیم. این دستگاه‌ها اطلاعات حرارت سطح ، دمای هوا ، رطوبت هوا را ثبت کرد و در حافظه خود ذخیره می‌کنند. به علاوه از آنجایی که فاکتورهای آب و هوا تاثیر مستقیم و موثر بروی کارایی حرارتی سیستم می‌گذارند برای بررسی و مقایسه بهتر اطلاعات از دستگاه هوا شناسی در نزدیکی پروژه استفاده کرده تا فاکتورهای موثر آب و هوایی را بروی پژوهش ثبت و اندازه گیری کنیم. اینتروال تمامی‌دستگاه‌ها هر 10 s می‌باشد.



عکس ۴-۱ : دیتا لاگرها در وسط هر بخش دیوار زنده در حفره هوای پشت جایگزاری شده و دستگاه هوا شناسی در نزدیکی دیوار تعبیه گردید.

۴-۳-ابزارها

۴-۳-۱-دستگاه هوا شناسی-(Hobo Station)

دستگاه هوا شناسیHOBO Station که ۵ فاکتور را در محل خود به ما ارایه می‌دهد. شامل دمای هوا ، میزان اشعه خورشید ، رطوبت هوا ، جهت و سرعت باد و میزان بارش باران. دستگاه با فاصله حدودا ۳-۵ متر از سیستم دیوار زنده قرار گرفت .

عکس ۴-۲ : دستگاه هواشناسیHOBO

۴-۳-۲-دیتا لاگرهای حرارتی (Hobo UX 100 – 014 m)

هدف اصلی این دیتا لاگر ثبت دمای سطح دیوار پشت دیوارهای زنده بوده که این کار را با ترموکوپل چسبیده به سطح دیوار در نقطه وسط دیوار پشتی دیوار زنده در هر بخش دیوار انجام می‌دهد. سیم اتصال به سطح دیتا لاگرهای حرارتی ، ترموکوپل مدل T از جنس مس – مفتول با دقت $\pm 0.6°C$ و وضوح $0.03°C$ می‌باشد. به علاوه این دیتالاگرها قابلیت ثبت دمای هوای محیط را داشته لذا از این دیتالاگرها برای ثبت دمای هوای حفره پشت دیوارهای زنده هم استفاده کردیم. برای اینکه دیتابرداری دمای سطح داخل و خارج باشند از همین مدل دیتا لاگر در نقاط پشتی آنها بروی سطح داخلی دیوار استفاده کردیم. اگر چه تمامی‌دستگاه‌ها در ابتدا با هم کالیبره شده تا خطای دستگاه مشخص شوند.

عکس ۴-۳ : دیتا لاگرهای حرارتی و رطوبتیHOBO

۴-۳-۳-دیتا لاگرهای رطوبت هوا (UX100-003)

این دیتا لاگر قابلیت ثبت هوای محیط را داشته و آنرا در خود ذخیر می‌کند. دقت این دستگاه در ثبت میزان رطوبت هوا ±3.5% و وضوح 0.07% می‌باشد. از این مدل دیتالاگر برای ثبت رطوبت هوای داخلی اتاق استفاده کردیم.

۴-۳-۴-دیتا لاگرهای رطوبت هوا-(RH20)

این دیتا لاگر قابلیت ثبت هوای محیط را داشته و آنرا در خود ذخیر می‌کند. دقت این دستگاه در ثبت میزان رطوبت هوا ±3.5% برای بازه 20-40% و 60-80% و دقت ± 3 % برای بازه 40-60% و وضوح 0.1 می‌باشد. از این مدل دیتالاگر برای ثبت رطوبت هوای حفره در پشت دیوارهای زنده استفاده کردیم

عکس ۴-۴ : دیتالاگرهای رطوبتی Extech

۴-۳-۵-دوربین حرارتی (FLIR)

این دستگاه قابلیت عکس برداری حرارتی از سطوح را داشته و علاوه بر نشان دادن تلرانس حرارتی سطح ، دمای نقطه مرکزی عکس گرفته شده از سطح را نیز نشان می‌دهد. از این دوربین برای نشان دادن تفاوت حرارتی سطح لایه دیوار زنده در دوره آبیاری و خشکسالی و همچنین تفاوت دمای سطح لایه گیاه و سطح لایه دیوار زنده استفاده می‌کنیم. علاوه بر این به بررسی دمای سطح دیوار زنده در ساعات قبل از ظهر و بعد از ظهر می‌پردازیم.

۴-۴-پارامترهای اندازه گیری شده

۴-۴-۱-پارامترهای اندازه گیری شده آب و هوا

پارمترهای اندازه گیری شده آب و هوایی مورد استفاده در پروژه شامل دمای هوا ، رطوبت هوا ، تابش خورشیدی و سرعت باد می‌باشند. این اطلاعات از طریق دستگاه هوا شناسی HOBO Station راه

اندازی شده در نزدیکی سیستم دیوار زنده ثبت می‌شوند. از این اطلاعات برای تحلیل اطلاعات و تاثیر آنها بروی سیستم دیوارهای زنده استفاده می‌کنیم.

۴-۴-۲- پارامترهای اندازه گیری شده از دیوار زنده

دیوارهای زنده با یک فاصله $5\ cm$ از دیوار پشتی نصب شده و با توجه به قابلیت دیوارهای زنده در ایجاد یک میکرو اقلیم در این حفره به ثبت اطلاعات از دمای هوا و رطوبت حفره می‌پردازیم. برای بررسی تاثیر این میکرو اقلیم و قابلیت‌های دیوار زنده و گیاهان برروی کارایی حرارتی دیوار اقدام به ثبت اطلاعات دمای سطح دیوار پشت دیوارهای زنده می‌کنیم. برای بررسی میزان تاثیر این سیستم‌ها دیواری را به عنوان دیوار کنترل بصورت برهنه در نظر گرفته و دمای سطح دیوار را اندازه گیری کرده و با دیوارهای پشتی سیستم‌های سبز عمودی مقایسه می‌کنیم.

۴-۴-۳- پارامترهای اندازه گیری شده داخلی

همانطور که در بالا اشاره شد در راستای تاثیر دیوارهای زنده برروی حرارت انتقال یافته از دیوارهای ساختمان به ثبت دمای سطح دیوارهای داخلی پرداخته تا به بررسی میزان انتقال حرارت در بخش‌های مختلف دیوار بپردازیم.هامنطور که شاره کردیم برای بررسی کارایی حرارتی دیوارهای زنده بخشی از دیوار به‌طورت برهنه بوده که به عنوان دیوار کنترل معرفی می‌شود. با مقایسه دمای سطح داخلی دیوار در پشت دیوار برهنه و همچنین پشت دیوارهای زنده می‌توان میزان کاهش انتقال حرارت متاثر از سیستم‌های سبز عمودی را با هم مقایسه کرد. بعلاوه دمای هوا و رطوبت هوای داخل اتاق در میزان انتقال حرارت از دیوار و دمای سطح داخلی دیوار موثر می‌باشد. لذا اطلاعات اندازه گیری شده از فضای داخلی شامل دمای سطح دیوار ، دمای هوا و رطوبت هوای اتاق می‌باشد.

۵- فصل پنجم : آنالیز و نتیجه گیری

۵-۱- بررسی و آنالیز

به‌طور کلی بررسی اطلاعات به دو بخش دوره اول که سیستم آبیاری فعال بوده و دوره دوم که سیستم آبیاری به‌طور کامل قطع شده (دوره خشکسالی) تقسیم می‌شود. اطلاعات بصورت نمودارهای Statestical در آمده و بصورت Peakهای روزانه برای هر بخش با هم مقایسه می‌شوند. بعد از مقایسات مربوط به هردوره در نهایت دو دوره با هم مقایسه شده تا تاثیر دوره خشکسالی بروی بخش‌های مختلف دیوراهای زنده و کارایی حرارتی آنها ارزیابی شود.

۵-۲-بازه دیتا برداری

اطلاعات بصورت ۲۴ ساعته برای تمامی‌دستگاه‌ها در داخل و خارج اندازه گیری می‌شوند. تمامی‌دیتالاگرها در داخل و خارج بعلاوه دستگاه هوا شناسی بصورت همزمان راه اندازی شده و شروع به ثبت اطلاعات کرده تا بتوان تمامی‌اطلاعات را با هم مقایسه کرد. تمامی‌دستگاهها با اینتروال 10 s به ثبت اطلاعات می‌پردازند. به این معنا که هر ۱۰ ثانیه اطلاعات همان لحظه را در خود ثبت می‌کنند. بازه دیتا برداری در حدود ۲ هفته در ماه ژولای از 5 July تا 20 July می‌باشد. این اطلاعات به‌طورت Statestical و نمودارهای مختلف در آخر این فصل ارائه شده اند.

۵-۳-فاکتورهای آب و هوا

۵-۳-۱-تابش خورشیدی

در این دوره تمامی‌روزها کاملا آفتابی بوده به غیر از ۴ روز شامل 17 July , 7 که هوا کمی‌ابری بوده اما مربوط به قبل ساعت ۱۲ بوده و تاثیری زیادی برروی تابش خورشیدی بعد از ظهر که به‌طور مستقیم به دیوار تابیده می‌شود نداشته ، در روز 11 July هوا در بعد از ظهر نیمه ابری بوده که باعث کاهش

تاثیر تابش خورشیدی شده و این موضوع از کاهش حرارت سطح دیوار کنترل قابل ارزیابی بوده ، اگر چه بروی دمای هوا تاثیر نداشته و هوا به حداکثر 38 °C در این روز می‌رشد. ابری ترین هوا در روز 13 July بوده که کاهش تاثیر تابش خورشیدی هم بروی دمای هوا و کاهش دمای سطح دیوار کنترل محسوس است. (شکل آماری ۱)

۵-۳-۲-سرعت باد

به‌طور کلی در کل بازه دیتا برداری سرعت باد به‌طور معمول بین 4 – 6 m/s بوده و در دروه اول تنها روز 9 July و در دوره دوم در 17 July باد شدیدتری مشاهده شده که سرعت باد به 10 m/s هم می‌رسد. اگر چه این مقادیر بر اساس شکل آماری حدس سرعت باد دستگاه هوا شناسی بوده (شکل آماری ۲) و سرعت باد 2-3 m/s کمتر از این مقادیر می‌باشد.

۵-۳-۳-دمای هوای محیط

دمای هوا متغیر بین ساعت‌های ۳ تا ۵ بعد از ظهر به حداکثر دمای خود می‌رسد. در واقع زمان رسیدن دمای سطح دیوار کنترل به حداکثر دمای خود در طول روز یک تاخیر زمانی حدود ۱ الی ۲ ساعت به نسبت زمان رسیدن دمای هوا به حداکثر خود دارد. دمای هوا در طول دوره اول به حداکثر میزان خود معادل 38 °C در روز 11 July و 40°C در 20 July می‌رسد. همچنین حداقل دمای هوا معادل 20 °C در روز 13 July در دوره و حداقل دمای 16.6 °C در روز 14 July در دوره دوم ثبت شده است. قابل توجه است که حداقل دمای هوا و دمای سطح دیوار کنترل خیلی به هم نزدیک بوده اما به‌طور کلی حداقل دمای هوا به‌طور جزئی در اکثر روزها کمتر از حداقل دمای سطح دیوار برهنه می‌باشد.

۵-۴- تاثیر فاکتورهای آب و هوا بروی کارایی حرارتی دیوارهای زنده

در طی بازه دیتا برداری ۴ روز ابری وجود داشت. دو روز اول 17 July , 7 بوده که ابری بودن هوا قبل از ساعت ۱۲ ظهر بوده و تاثیری بروی حرارت هوا نداشته و به‌طور مشابه تاثیری برروی دیوارها نداشته چرا که تابش خورشیدی از بعد ساعت ۱۲ به دیوارها تابیده می‌شود. بعد از آن 11 July هوا ابری بوده که بعد از ساعت ۱۲ ظهر بوده لذا در میزان تابش خورشیدی رسیده به دیوارها اثر گذاشته که می‌توان از تاثیر آن بروی دیوار کنترل بخوبی مشاهده کرد. این در حالیست که دمای هوا در این روز بیشترین در طول هفته با 38 °C می‌باشد. از ۳ دیوار زنده ، LWS 1-2 با پوشش کمتر بسیار تاثیر پذیرتر از تابش مستقیم خوشیدی می‌باشد. بنابراین تاثیر آن در کاهش حرارت دیوار پشتی دیده شده و دمای سطح دیوار پشتی به 31 °C می‌رسد. در این روز بیشترین اختلاف دمای سطح دیوار با دمای 38 °C هوای محیط را با اختلافی 7 °C مشاهده می‌کنیم و این به علت ابری بودن هوا و کاهش برخورد تابش خورشیدی می‌باشد. روز سوم 13 July بوده که علاوه بر ابری بودن سرعت باد بیشتر بوده و به نزدیک 8 m/s می‌رسد و هم بروی دمای هوا تاثیر گذاشته و هم بروی دمای سطح دیوار پشتی تمام سیستم‌های سبز تاثیر می‌گذارد. دمای هوا در این روز به 30 °C رسیده و تمامی‌دیوارهای پشتی سیستم‌های دیوار زنده کمترین دما در کل بازه دیتا برداری را تجربه می‌کنند. دمای پشت LWS 1-2 به 29 °C رسیده که نسبت به روز قبل یک درجه کاهش داشته و در LWS 3 به 26 °C رسیده و نسبت به روز قبل 2 °C کاهش را تجربه می‌کند. بعلاوه روز 9 July پر باد ترین روز بازه دیتا برداری بوده که سرعت باد به بالای 10 m/s هم رسیده که باعث کاهش دمای هوا و همچنین دمای سطح دیوار برهنه شده و آنرا به حداکثر دمای 45 °C رسانده که نسبت به روز قبل با 7 °C کاهش همراه بوده درحالی که تاثیری بروی دمای هوای حفره و سطح دیوار پشت دیوارهای زنده نداشته که نشان دهنده عدم تاثیر گذاری باد بروی آنها بوده و به تاثیر حفره 5 cm در راکد کردن هوای حفره پشت دیوار اشاره دارد.

۵-۵-مرحله اول دیتا برداری (دوره آبیاری) (5 - 13 July)

۵-۵-۱-دمای سطح دیوارهای خارجی

- دیوار کنترل (5 – 20 July)

با توجه به موقعیت دیوار باجهت گیری غربی با ۲۰ درجه انحراف نسبت به جنوب شرایط دیوار به گونه‌ای بوده که از نیمه روز (۱۲ ظهر) به بعد در معرض تابش خورشیدی تا پایان روز بوده و دیوار از سطح بام طبقه دوم ساختمان به ارتفاع 4 m افراشته شده و موقعیت آن بگونه‌ای بوده که هیچ گونه سایه اندازی توسط ساختمان‌ها یا محیط اطراف بروی آن اتفاق نمی‌افتد. دمای سطح دیوار در طول روز تا قبل از ظهر متناظر با افزایش دمای هوا افزایش پیدا می‌کند. در بعد از ظهر که دیوار در معرض تابش مستقیم خوشیدی قرار می‌گیرد به افزایش دمای خود ادامه داده و از دمای هوا پیشی گرفته و به بیشترین دمای خود قبل از ۶ بعد از ظهر رسیده و بعد از آن شروع به کاهش یافتن می‌کند. زمان غروب خورشید بر اساس وقت تابستانی از ساعت 20:11 تا 20:04 برای بازه دیتا برداری اتفاق می‌افتد. حداکثر دمای ثبت شده توسط ترموکوپل برای دمای سطح دیوار در بازه 5 – 13 July دمای 52 °C برای روزهای 8 July و همچنین 10 July ثبت شد و برای بازه دوم دیتا برداری 14 – 20 July دمای 55.6 °C در روزهای 20 July , 15 حداکثر دمای ثبت شده برای دمای سطح دیوار کنترل می‌باشد . دیوار به حداقل دمای خود در حدود ساعت ۶ صبح می‌رسد و بعد از آن شروع به افزایش می‌کند و همچنین ساعت طلوع آفتاب در حدود 5:38 تا 5:48 می‌باشد. حداقل دمای ثبت شده برای دیوار کنترل 20 °C در روز 6 July برای دوره اول و حداقل دمای18.4 °C برای روز 14 July برای دوره دوم بوده است. با بررسی تلرانس دمایی دیوار برهنه بیشترین و کمترین دما را نسبت به تمام سطوح کسب کرد اگر چه این اختلاف در طول روز بسیار بیشتر نسبت به طول شب می‌باشد. (شکل آماری ۳).

- **دمای سطح دیوار پشت دیوارهای زنده (LWS 1 – LWS 2) (5-13 July)**

دمای سطح دیوار در پشت LWS 1-2 شامل گیاهان پاپیتال و فرانکنیا رفتاری مشابه به هم از لحاظ حرارتی نشان می‌دهند. دمای سطح دیوار به حداکثر میزان خود معادل 31.5 °C در روز 10 July رسیده و حداقل دمای خود را معادل 22 °C در روز 6 July کسب می‌کند. حداکثر دمای سطح دیوار در پشت دیوارهای زنده در حدود ساعت ۶ تا ۷ بعد از ظهر رخ می‌دهد. بعلاوه حداقل دمای سطح دیوار بعد از ساعت ۶ صبح رخ می‌دهد. شکل حرارت سطوح دیوار نشان دهنده این بوده که دمای سطح دیوار پشت LWS 1-2 (پاپیتال و فرانکنیا) همواره بیشتر از دمای سطح دیوار پشت LWS 3 (چمن عروس) می‌باشد. علت اصلی این اختلاف دما در پشت دیوار بخاطر تفاوت زیاد در تراکم شاخ و برگ بین این دو گروه می‌باشد. حداکثر اختلاف دمای سطح دیوار پشت LWS 3 با LWS 1-2 در حدود 3.7 – 3.8 °C در روز 10 July بوده اگرچه این اختلاف به‌طور معمول در حدود 2.5 °C – 2 در طول روز می‌باشد. این اختلاف دما بین LWS 3 و LWS 1-2 بیشتر در طول روز و در حداکثر دما خود را نشان داده که اشاره به قابلیت سایه اندازی و کاهش دما در تراکم بیشتر گیاه به نسبت تراکم کم می‌باشد. اگرچه اختلاف دما در طول شب و در حداقل دما نیز از صفر تا بالاترین اختلاف حدود 1 °C در روز 11 July می‌رسد. (شکل آماری ۳و۴و۵)

- **دمای سطح دیوار پشت دیوارهای زنده (LWS 3) (5 – 13 July)**

شکل دمای سطح دیوار در پشت LWS 3 (چمن عروس) به نسبت LWS 1-2 نشان دهنده شرایطی بسیار پایدارتر نسبت به تغییرات جوی در روزهای مختلف بوده به‌طوریکه حداکثر دمای سطح دیوار در پشت LWS 3 به‌طور پایدار در حدود 28 °C بوده و تنها در روز 11 July کمی‌از 28 °C تجاوز می‌کند. بعلاوه حداقل دما در حدود 22 °C در روز 6 July رخ می‌دهد. لازم به ذکر است که

حداقل دما همواره کمتر از دو دیوار دیگر می‌باشد. (شکل آماری ۳و۴و۵). تمامی‌دیوارهای زنده کاهشی محسوس در دمای سطح دیوار پشتی خود ایجاد کرده به‌طوریکه دمای سطح دیوار در پشت LWS1-2 در طول روز درحدود 30-34 °C بوده و برای LWS 3 در حدود 30 °C – 28 می‌باشد. لذا اختلافی بین 27.5 °C – 14 با دمای سطح دیوار برهنه ایجاد می‌کنند.

۵-۵-۲- دما و رطوبت هوای حفره دیوارهای زنده

- دمای هوای حفره (LWS 1 – LWS 2) (5-13 July)

دمای هوای حفره در پشت LWS 1-2 رفتاری مشابه دارند. حداکثر دمای هوا در حدود 34.3°C در روز 10 July رخ می‌دهد. حداقل دمای هوا در حدود 20.5 °C – 20 در روز 6 July رخ می‌دهد اختلاف دمای هوا حفره نسبت به دمای هوای محیط در روزها 8 July با حداکثر دمای هوا حدود 36.8 °C و دمای حفره هوا حدود 32.2 °C به اختلاف 4.6 °C می‌رسد. بیشترین اختلاف اگرچه مربوط به روز 11 July بوده که دمای هوا به حداکثر 38.5 °C رسیده درحالیکه حداکثر دمای هوای حفره به 33 °C رسیده و اختلافی در حدود 5.5 °C بوجود می‌آورد. کمترین اختلاف دما هم مربوط به روز 13 July بوده که دمای هوا با کاهش شدید همراه بوده و دمای هوای حفره 30.5 °C بوده و دمای هوا به حدود 30.7 °C رسیده و اختلاف به تنها 0.2 °C می‌رسد که همانطور که اشاره شد علت اصلی این موضوع کاهش شدید دمای هوا در این روز نسبت به روزهای پیشین است. حداکثر دمای هوای حفره در ساعت ۶ بعد از ظهر و حداقل دما در ساعت ۶ صبح رخ می‌دهد.این نکته نیز قابل توجه بوده که اکثر اوقات دمای هوای حفره در بازه صبح و حداقل دمای هوا کمتر از دمای هوا می‌باشد. (شکل آماری ۸ و ۹)

- **دمای هوای حفره (LWS 3) (5 – 13 July)**

به‌طور کلی بشترین دمای هوای حفره در طول روز در حدود 29 °C می‌باشد. حداکثر دمای هوای حفره در حدود 29.5 °C در روز 11 July بوده و کمی‌کمتر از آن در روز 7 July رخ می‌دهد. حداقل دمای حفره هم در روزهای 6 July با 20 °C و 13 July با کمترین دمای 19.5 °C رخ می‌دهد. بیشترین اختلاف بین دمای هوای حفره‌های دیوارهای زنده در طول روز 10 July بوده که دمای هوای محیط 36 °C بوده ، دمای هوای حفره LWS 1-2 حدود 34.3 °C بوده و دمای‌های حفره LWS 3 حدود 29 °C که اختلافی در حدود 5.3 °C بین حفره‌ها و 7 °C اختلاف با دمای هوا بوجود می‌آورد. اگر چه متوسط این اختلاف بین 3.5 °C – 3 بین حفره‌ها می‌باشد. همچنین بیشترین اختلاف دما بین حفره‌ها در طول صبح که دمای هوای حفره حداقل بوده در صبح 11 July با اختلاف 1.5 °C رخ داده به‌طوری که دمای حفره LWS 1-2 24.5 °C و دمای حفره LWS 3 , 23 °C ثبت شده بود. (شکل آماری ۸ و ۹)

- **رطوبت هوای حفره‌ها (5 – 13 July)**

رطوبت حفره هوا همواره از رطوبت هوا بیشتر می‌باشد که این بخاطر تبخیر و تعرق صورت گرفته از سطح لایه و سطوح گیاه است. بعلاوه رطوبت حفره هوا LWS 3 همواره بیشترین مقدار را دارا بوده که اشاره به تاثیر تراکم بیشتر گیاه در افزایش تعرق گیاه و تاثیر آن در افزایش رطوبت هوای حفره می‌کند. رطوبت حفره هوا و هوای محیط در طول شب با هم اختلاف کمتری نسبت به روز داشته اگر چه همواره رطوبت هوای حفره‌ها بیشتر از رطوبت هوای محیط حتی در شب می‌باشد. اما در طول روز از حدود ساعت ۶ صبح رطوبت هوای محیط شروع به کاهش یافتن پیدا کرده و در ساعت ۳ تا ۶ بعد از ظهر به حداقل میزان رطوبت خود می‌رسد. این در حالی است که حفره هوا گرایش به حفظ رطوبت خود دارد. این اختلاف به حداکثر اختلاف در حدود % 20 بین رطوبت هوای محیط و حفره‌های هوا در طول روز

می‌رسد. اختلاف رطوبت در حفره‌های هوا بین دیوارهای زنده اختلاف زیادی با هم نداشته و به حداکثر اختلاف 5-7% می‌رسد. در واقع حفره هوای LWS 3 با متراکم ترین پوشش همواره بیشترین میزان رطوبت را دارا می‌باشد. حداکثر رطوبت حفره هوای LWS 3 به میزان % 74 در روز 13 July می‌رسد. این در حالیست که حداکثر رطوبت حفره برای LWS 1-2 به حداکثر میزان % 61 در همان روز می‌رسد. بعلاوه حداقل رطوبت تمامی‌حفره‌ها به حداقل میزان % 25 در روز 11 July می‌رسند. حداکثر رطوبت هوای محیط به حداکثر میزان حدود % 59 در روز 13 July رسیده و حداقل رطوبت حدود % 14 را در روز 11 July تجربه می‌کند. (شکلهای آماری ۱۱ و ۱۲)

۵-۵-۳-دمای سطوح داخلی

- **دمای سطح دیوار داخلی (5 – 13 July)**

دمای سطح دیوار داخلی در پشت دیوار کنترل به حداکثر دمای خود در حدود ساعت ۳ صبح و به حداکثر دمای 30.2 °C در روز 12 July رسیده که با توجه به تاخیر حرارتی تاثیر بیرونی مربوط به روز 11 July می‌باشد. بیشترین اختلاف دمای سطح داخلی پشت دیوار کنترل و LWS 1-2 در همان روز 12 July رخ داده با اختلافی در حدود 1.2 °C و این اختلاف برای LWS 3 به میزان 1.6 °C می‌باشد. دمای داخلی دیوار در پشت دیوارهای زنده از روز اول دیتا برداری در مدت هفته اول در بازه 27-29 °C می‌باشد. اختلاف حرارت سطح دیوار داخلی بین LWS 1-2 و LWS 3 در حدود 0.3 – 0.5 °C می‌باشد. (شکلهای آماری ۱۳ و ۱۴ و ۱۵)

۵-۶- اختلاف رطوبت لایه‌ها (مقایسه همزمان) (5 – 13 July)

۵-۶-۱- دمای سطح دیوار خارجی

برای بررسی میزان تاثیر رطوبت بروی دیوارهای زنده ابتدا به‌طور همزمان تراز پایین دیوار سبز را به میزان ۲ برابر تراز وسط آبیاری کرده تا به مقایسه این دو لایه پرداخته و تاثیر رطوبت بیشتر بروی دمای و رطویت هوای حفره و همچنین دمای سطح دیوار پشتی را بررسی کنیم. به‌طور کلی دمای هوای حفره و دمای سطح دیوار در تراز پایین LWS 1 کمتر از تراز وسط بوده که ارزیابی میکنیم تاثیر رطوبت بیشتر در تراز پایین باشد.در روز July 5 این اختلاف در حدود 3.5 °C می‌باشد. در واقع بیشترین اختلاف رطوبت در این زمان بوده و به مرور زمان بدون کم کردن رطوبت تراز وسط از اختلاف رطوبت این دو لایه کاسته تا تاثیر آنرا برروی دمای پشت بررسی کنیم. در این روز دمای سطح یوار پشتی در تراز وسط در روز به حداکثر 28.5 °C رسیده در حالی که تراز پایین با رطوبت دو برابر به حداکثر 25 °C می‌رسد. (شکل آماری ۶) همچنین مشاهده می‌کنیم که علاوه بر اینکه لایه پایین کاهشی محسوس در حداکثر دما در طول روز داشته ، این موضوع در حداقل دما نیز کاملا قابل مشاهده است. به‌طوریکه در در روز July 6 حداقل دمای تراز وسط 22.5 °C بوده در حالیکه تراز پایین به حداقل دمای 19.5 °C درجه می‌رسد و اختلافی به بزرگی 3 °C در حداقل دمای این دو تراز وجود دارد. همچنین در همین روز دمای تراز وسط به حداکثر دمای نزدیک 30 °C رسیده در حالیکه تراز پایین حداکثر دمای حدود 26.5 °C را کسب کرده و مانند روز قبل اختلافی معادل 3.5°C در حداکثر دما کسب می‌کند. به‌طور کلی همواره اختلاف دمای کسب شده در تراز پایین در طول روز و حداکثر دما بیشتر از این اختلاف در حداقل دما می‌باشد. در واقع اختلاف رطوبت باعث شده تلرانس دمای لایه وسط LWS 1 که بین 30 °C – 22 درجه بوده به مقدار 26.5 °C – 19.5 در دمای سطح دیوار پشتی خود در روز July 6 کاهش پیدا کند. طی روزهای آتی میزان اختلاف رطوبت بین این دو تراز را کاسته و به‌طور متناظر مشاهد کرده که از میزان اختلاف حرارت دما سطح پشتی کاسته می‌شود (شکل آماری ۶).البته

در نظر داشته باشید که با مقایسه حرارت سطح دیوار پشت تراز پایین و وسط LWS 3 که به همین میزان اختلاف در رطوبت داشته اختلاف بسیار کمی‌مشاهده می‌کنیم (شکل آماری ۷). تفاوت اصلی بین LWS 1 و LWS 3 در میزان تراکم و پوشش گیاه می‌باشد. پوشش گیاهی در LWS 1 بسیار کم بوده به‌طوریکه سطح لایه دیوار زنده تا حد زیادی برهنه بوده و در معرض تابش شدید خورشیدی در طول روز بوده در حالیکه پوشش LWS 3 بسیار متراکم بوده و سطح دیوار زنده را به‌طور کامل با تراکم بالا پوشانده و مانع از تابش مستقیم خورشید به سطح لایه و خاک می‌شود (مقایسه شکل آماری ۶ با ۷). لذا می‌توان نتیجه گیری کرد که اختلاف دمایی بالایی که در LWS 1 بخاطر اختلاف رطوبت لایه مشاهده می‌شود تا حد زیادی بخاطر تبخیر آب از سطح لایه توسط تابش مستقیم خورشیدی بوده که با تبدیل شدن به گرمای نهان از دمای سطح پشت می‌کاهد. به مرور با کاستن اختلاف رطوبت بین دو تراز پایین و وسط در LWS 1 در روز 13 July اختلاف دمای سطح دیوار در پشت دو تراز بسیار به هم نزدیک شده و به اختلاف دمایی در حدود 0.5 °C می‌رسند. (شکل آماری ۶). با مشاهده این تاثیر محسوس رطوبت در هفته اول دیتا برداری تصمیم به قطع کامل سیستم آبیاری دیوارهای زنده در دوره دوم دیتا برداری گرفته تا هم به مقایسه دوره آبیاری و خشکسالی گرفته و بعلاوه تاثیر دوره خشکسالی را برروی LWS 3 با پوشش متراکم بررسی کنیم.

۵-۶-۲- دمای هوای حفره

دمای هوای حفره LWS 1 در تراز پایین به میزان حدود 2.5 °C در روز 6 July با دمای 29.8 °C برای تراز پایین و 32.3 °C برای دمای حفره هوای تراز وسط بوده است. نکته قابل توجه اینکه دمای سطح دو تراز در این روز اختلاف بیشتری معادل 3.5 °C داشته با توجه به آنچه در بخش بالا گفته شد. اما بهر عنوان دمای هوای حفره همانند دمای سطح در تراز پایین کمتر نسبت به دمای هوای حفره

تراز وسط می‌باشد. (شکل آماری ۱۰) . بعلاوه همانطور که اشاره شد این تغییرات بین ترازهای وسط و پایین LWS 3 دیده نمی‌شود.

۵-۷- مرحله دوم دیتا برداری (دوره خشکسالی) (14-20 July)

۵-۷-۱-دمای سطح دیوارهای خارجی

- **دمای سطح دیوار پشت دیوارهای زنده (LWS 1-LWS 2) (14-20 July)**

به‌طور کلی در بازه دوره اول از روز 5 July تا 13 July دمای سطح دیوار پشت LWS 1 در تراز وسط به‌طور متوسط در حدود 30 °C بوده و حداکثر دمای ثبت شده برابر 31.5 °C در روز 10 July بوده است. سیستم آبیاری بعد از شیفت آبیاری در ۶ صبح روز 13 July به‌طور کامل برای تمامی‌ترازها و دیوارهای زنده قطع شد.در 15 July دو روز بعد از قطع آب که سطح لایه تا حد بسیار زیادی رطوبت خود را از دست داده بود دما سطح دیوار پشت LWS 1 به حداکثر مقدار 32.8 °C رسیده و در روز بعد به حداکثر مقدار 34.2 °C برای LWS 1 و 35.8 °C برای LWS 2 رسید. (شکل های آماری ۳ و۴ و ۵).این اختلاف زیاد همانطور که قبلا هم گفته شد در LWS 1 بخاطر پوشش گیاهی کم می‌باشد. همانطور که در دوره اول رطوبت سطح لایه که در معرض تابش مستقیم بود باعث تبخیر از سطح لایه و کاهش دمای سطح پشت شد در شرایط خشکسالی و تابش شدید خورشیدی گرم شده و از طریق هدایت و همرفتی باعث گرمای بیشتر هوای حفره و سطح دیوار می‌شود. بیشترین اختلاف بین LWS 1-2 با LWS 3 حدود 3.8 °C در روز 10 July می‌باشد ، در حالیکه این اختلاف در دوره دوم (خشکسالی) در روزهای 16 July , 15 طبق انتظار بیشتر می‌باشد. این اختلاف در روز 15 July نزدیک 5.5 °C بوده با دمای 27.5 °C برای LWS 3 و دمای 33 °C برای LWS 1-2. در 16 July این اختلاف در حدود 5.4 °C با دمای حداکثر 29.4 °C برای LWS 3 و حداکثر دمای

34.8 °C برای LWS 1-2 می‌باشد. (شکل های آماری ۳ و۴ و ۵).در نهایت از مقایسه اختلاف LWS 3 با LWS 1-2 میان دو بازه آبیاری و خشکسالی می‌توان نتیجه گرفت که تاثیر دوره خشکسالی شدید تر بروی LWS 1-2 می‌باشد. همانطور که گفته شد تفاوت اصلی بین این دیوارها اختلاف در سطح پوشش می‌باشد که نشان دهنده تاثیر تبخیر رطوبت از سطح لایه در LWS 1-2 بروی دمای پشتی بوده که در بازه خشکسالی باعث افزایش زیاد در دمای سطح لایه و به‌طور متناظر دمای هوای حفره و سطح دیوار پشتی می‌شود. (شکل ۳۰ و ۳۱ و ۳۲)

- **دمای سطح دیوار پشت دیوارهای زنده (LWS 3) (14-20 July)**

همانطور که مشاهده شد تاثیر دوره خشکسالی بروی LWS 1-2 کاملا محسوس بود در حالیکه LWS 3 تغییر کمتری را تجربه کرد. طبق آنچه گفته شد این به علت تراکم و پوشش زیاد در LWS 3 به نسبت دو دیوار اول بود ، چرا که در دوره خشکسالی دمای سطح لایه در تماس با تابش خورشیدی بسیار افزایش یافته و موجب افزایش حرارت پشتی می‌شود. این در حالیست که در LWS 3 سطح لایه در تماس با تابش خورشید نبوده و تراکم گیاهی در تماس با آن می‌باشد. همچنین می‌دانیم بخاطر قابلیت‌های مورفولوژیکی گیاه سطح لایه گیاه در اثر تابش مستقیم خورشیدی به میزان سطح لایه و خاک گرم نشده و دمای سطح گیاه همواره کمتر می‌باشد. این دقیقا همان علتی است که اجازه نمی‌دهد در دوره خشکسالی دمای دیوار پشتی LWS 3 به اندازه LWS 1-2 با افزایش رو به رو شود.(شکل ۳۱و۳۲). با نگاهی به دمای سطح دیوار پشتی LWS 3 در دوره اول مشاهده می‌کنیم که دمای سطح دیوار به‌طور کلی زیر 28 °C بوده و حداکثر دمای 28.4 °C را در روز 11 July تجربه میکند و این در حالیست که دمای سطح دیوار در دوره خشکسالی از این مقدار تجاوز کرده و به‌طور معمول بالای 29 °C بوده و به حداکثر دمای 30.4 °C در آخرین روز دیتا برداری می‌رسد. البته لازم به ذکر بوده

که آخرین روز گرم ترین روز در کل بازه دیتا برداری با دمای °C 40 می‌باشد. بنابراین می‌توان گفت که حداقل °C 1 افزایش را می‌توان در LWS 3 مشاهده کرد. اگر چه این اختلاف به نسبت اختلاف حدود °C 3 برای LWS 1-2 نشان دهنده این بوده که سطح لایه گیاهان حتی در شرایط بی آبی نسبت به سطح لایه و خاک در مقابل تابش خورشید مقاومت بیشتری داشته و ممانعت بیشتری در انتقال گرما از لایه بیرونی تا سطح پشتی در صورت تراکم مناسب ایجاد می‌کند. (شکل های آماری ۳ و۴ و ۵)

۵-۷-۲- دما و رطوبت هوای حفره‌های دیوار زنده

- **دمای هوای حفره (LWS 1 – LWS 2) (14-20 July)**

حدود دمای هوای حفره LWS 1 در حدود °C 32 – 31 تغییر کرده و حداکثر دمای°C 33.6 را در روز July 10 تجربه می‌کند. در بازه اول دیتا برداری دمای هوای حفره در LWS 1-2 همواره کمتر از هوای محیط با اختلافی در حدود °C 3-2 و حداکثر اختلاف °C 5.6 نسبت به هوای محیط را با حداکثر دمای هوای °C 38.4 در روز July 11 درحالیکه دمای حفره هوا حداکثر به °C 32.8 می‌رسد. این در حالی است که در بازه دوم (خشکسالی) دمای هوای حفره تقریبا برابر یا حتی بیشتر از دمای هوای محیط می‌باشد. در واقع زمانی که در روز July 17 دمای هوا از دمای حداکثر °C 38 روز قبل به حداکثر °C 32 در این روز رسیده دمای هوا حفره گرمای روز قبل خود را حفظ کرده و این باعث شده تا دمای هوای حفره نزدیک °C 2.5 گرمتر از دمای هوای محیط در این روز باشد.در دوره دوم هوای حفره حداکثر دمای °C 39 برایLWS1 در روز July 16 و دمای °C 40.6 برای LWS 2 در روز July 20 کسب می‌شود

- **دمای هوای حفره (LWS 3) (14-20 July)**

دمای هوای حفره LWS 3 به اندازه LWS 1-2 دچار تغییر نمی‌شود. در بازه اول دیتا برداری حدود دمای حفره LWS 3 در حدود 29 °C بوده و حداکثر دمای 29.6 °C را در روز 11 July تجربه می‌کند. در بازه دوم دیتا برداری (خشکسالی) هوای حفره LWS 3 حداکثر دمای 32.4 °C را در روز 20 July تجربه می‌کند. قابل توجه است که در بازه اول دیتا برداری اختلاف دمای حفره‌ها در حدود 3 °C با حداکثر اختلاف 5.4 °C در روز 10 July با حداکثر دمای حفره LWS 1-2 در حدود 34.4 °C و حداکثر دمای حفره LWS 3 با 29 °C اتفاق می‌افتد. در حالیکه در بازه دوم این اختلاف به 8.5 °C در روز 15 July با حداکثر دمای هوای حفره LWS 1-2 در حدود 38 °C و برای LWS 3 با 29.5 °C می‌رسد. در واقع این افزایش اختلاف در دمای هوای حفره‌ها بین LWS 1-2 و LWS 3 نشان دهنده این موضوع بوده که تاثیر دوره خشکسالی بروی دمای هوای حفره LWS 1-2 بیشتر بوده که همانطور که قبلا گفته شد این به علت افزایش دمای سطح لایه LWS 1-2 با پوشش کمتر بوده که باعث افزایش حرارت هوای حفره و به‌طور متناظر دمای سطح دیوار می‌شود.

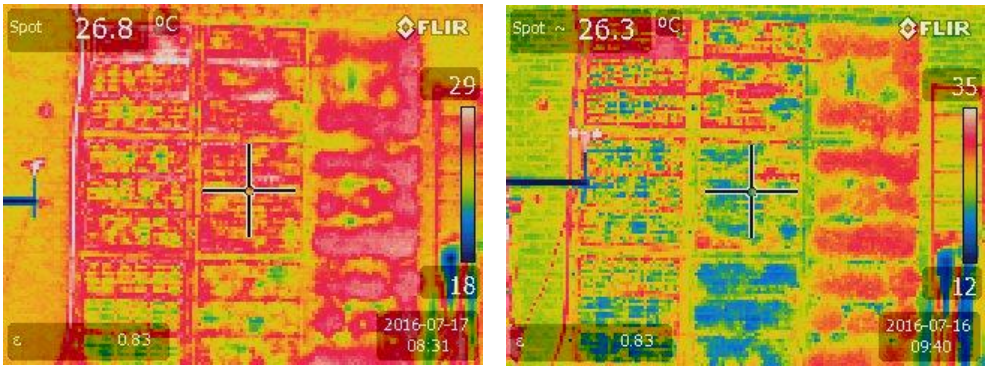
- **رطوبت هوای حفره‌ها (14-20 July)**

به‌طور کلی از آنجایی که رطوبت هوا حفره ارتباط مستقیم با رطوبت سطح لایه دیوار زنده داشته لذا بدیهی است که میزان رطوبت حفره در دوره دوم با کاهش همرا خواهد بود. اگر چه با اینکه رطوبت سطح لایه طی روزهای متوالی کمتر شده اما همچنان در طول روز ، در بعد از ظهرها رطوبت حفره هوا کماکان از رطوبت هوا ، اما با اختلافی کمتر نسبت به دوره اول ، بیشتر می‌باشد.

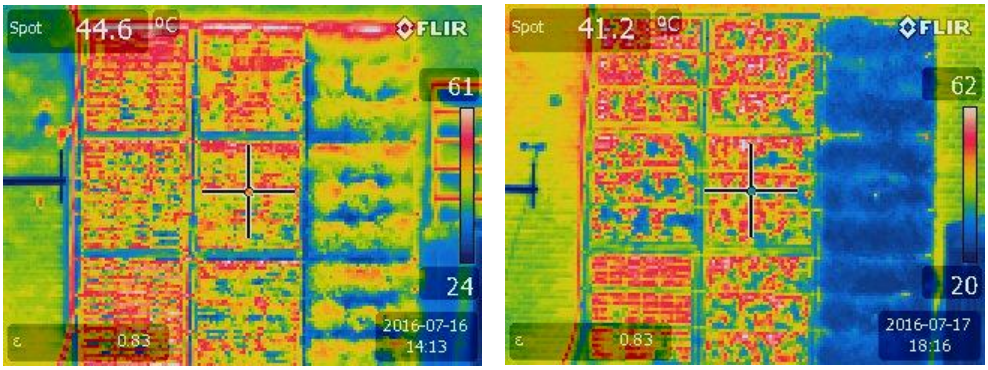
۵-۷-۳- دمای سطوح داخلی

- دمای سطح داخلی (14 – 20 July)

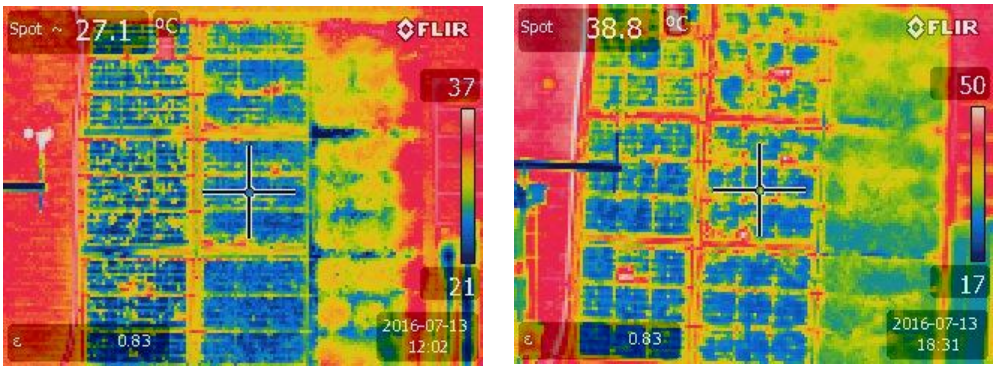
دمای سطح داخلی دیوار با کاهشی ناگهانی در تاریخ 14 July , 13 مواجه می‌شود. با بررسی دمای هوای بیرون ساختمان متوجه می‌شویم که طی این دو روز دمای هوا با کاهش جدی در حداکثر و حداقل دمای هوا مواجه شده است. به‌طوریکه حداقل دمای هوا به کمترین میزان خود یعنی 16.6°C در 14 July رسیده که از متوسط دمای حداقلی 22 °C نزدیک 5.4 °C کمتر بوده و حداکثر دما در روز 13 July نزدیک 31 °C بوده که نسبت به روز قبل 4°C کاهش و نسبت به ۲ روز قبل نزدیک 8°C کاهش را تجربه می‌کند. (شکل آماری ۱۴). این کاهش دما در درجه اول بروی دمای سطح خارجی دیوار تاثیر گذاشته به‌طوریکه به‌طور مشخص دمای سطح دیوارها در پشت تمامی‌سیستم‌های دیوار زنده کمترین دما در کل دوره دیتا برداری را تجربه می‌کنند. (شکل آماری ۱۵). بنابراین بخشی از افت دمای سطح داخلی به این علت می‌باشد. موضوع دیگر آنکه دمای هوا داخلی اتاق نیز با کاهش محسوس بخصوص در 14 July همراه می‌باشد به‌طوریکه دمای هوای نزدیک دیوار داخلی در 14 July به کمترین میزان خود معادل 22 °C رسیده که طی روزهای قبل همواره بالای 27°C می‌باشد. بنابراین هر دو عامل کاهش دمای هوای داخل و خارج بعلاوه کاهش دمای سطح خارجی دیوار منجر به کاهش شدید در دمای سطح داخلی دیوار طی این ۲ روز می‌شود. اما با توجه به اینکه از 14 July وارد دوره خشکساالی شده که طبق بررسی‌های بالا باعث افزایش دمای سطح دیوار و هوای حفره شده دمای سطح دیوار داخلی نیز روند صعودی در افزایش دما داشته به‌طوریکه طی کمتر از یک هفته ، در تاریخ 20 July بیشترین دما برای تمامی‌بخش‌های دیوار در کل بازه دیتا برداری ثبت می‌شود. (شکل آماری ۱۳). اگر چه باید به این موضوع اشاره کرد که 20 July گرم ترین روز کل بازه دیتا برداری با دمای 40 °C بوده که باعث افزایش شدید در دمای سطوح خارجی دیوار در تمامی‌بخش‌ها شده است. (شکل آماری ۱۴ و ۱۵). در انتها باید ذکر کرد که بیشترین اختلاف دمای بین سطح دیوار داخلی کنترل و دیوارهای زنده مربوط به همان روز آخر یعنی 20 July بوده که اختلافی در حدود 1.4°C با دمای 30.9°C برای دیوار کنترل و دمای 29.7 °C برای دیوارهای دیگر ثبت شده است.



عکس ۵-۱ : تصویر حرارتی در 16 , 17 july در صبح (۸:۳۰ و ۹:۴۰). سطح لایه دیوار زنده خشک بوده و دمای سطح گیاه در LWS 3 با سطح لایه در LWS1-2 تقریبا یکسان هستند. در این ساعات هنوز دیوار در معرض تابش خورشیدی نمی باشد.



عکس ۵-۲ : تصویر حرارتی در 16 , 17 july در بعد از ظهر (۱۴:۱۳ و ۱۸:۱۶). سطح لایه دیوار زنده خشک بوده و اختلاف دمای سطح گیاه در LWS 3 با سطح لایه LWS1-2 بخصوص در ۱۸:۱۶ زیاد می شود.این نشان دهنده این بوده که سطح گیاه در اثر تابش خورشیدی دمای سطحی به مراتب کمتری نسبت به سطح لایه خشک دارد.



عکس ۵-۳ : تصویر حرارتی در 13 July در بعد از ظهر (۱۲:۰۲ و ۱۸:۳۱).سطح لایه دیوار زنده مرطوب بوده و سطح لایه در LWS1-2 به نسبت لایه خشک دمای سطحی به مراتب پایین تری دارد.این اشاره به تاثیر زیاد تبخیر از سطح لایه بروی کاهش دمای سطحی دیوار در طول روز داشته بطوریکه حتی از سطح گیاه نیز دمای سطحی پایین تری دارد.

۵-۸- نتیجه گیری

از بررسی و آنالیز اطلاعات بدست آمده از ۳ سیستم دیوار زنده به تاثیر ۲ فاکتور مهم بروی کارایی حرارتی این سیستم‌ها پی بردیم. فاکتور اول تاثیر میزان تراکم و پوشش گیاه بروی کارایی حرارتی دیوارهای زنده بود. در بسیاری از مقالات کار شده به اهمیت و تاثیر زیاد چگالی شاخ و برگ بروی کارایی گرمایی سیستم‌های سبز عمودی اشاره شده است. در واقع تغییرات در الگوی کاهش حرارت متناظر با چگالی شاخ و برگ می‌باشد. لذا از مقایسه LWS 3 با چگالی شاخ و برگ بالاتر در برابر LWS1-2 با چگالی شاخ و برگ به مراتب پایین تر به دنبال تاثیر این فاکتور بروی کارایی حرارتی سیستم‌های دیوار زنده بودیم. اگرچه قابل ذکر است که تمامی‌سیستم‌های دیوار زنده به دلیل سایه اندازی سطح لایه و خنک کنندگی تبخیری از سطح لایه باعث کاهش شدید دمای سطح دیوار به نسبت دیوار برهنه شدند به‌طوریکه دمای سطح دیوار در طول روز به حداکثر دمایی بین ۴۵ تا ۵۵ درجه در روز رسیده در حالیکه دمای سطح دیوار در پشت دیوارهای زنده با رطوبت سطح لایه همواره زیر ۳۲ درجه بودند. همانطور که گفته شد تراکم گیاه نقشی کلیدی ایفا کرده به‌طوریکه دمای سطح دیوار پشت LWS 3 با پوشش متراکم اختلافی در حدود 2 تا 2.5°C با حداکثر میزان 3.8°C نسبت به ۲ دیوار اول داشته که این اختلاف در بازه خشکسالی که قابلیت تبخیر از سطح لایه گرفته می‌شد به حداکثر اختلاف 5.5 °C رسید. عامل اصلی این اختلاف حرارت در سطح دیوار پشت دیوارهای زنده بخاطر میزان تراکم گیاه می‌باشد. علت اصلی این تفاوت تاثیر گیاهان در میکرو اقلیم ایجاد شده در حفره هوای بین دیوار زنده و سطح دیوار بود. در حقیقت میکرو اقلیم ایجاد شده دارای دمایی پایین تر و رطوبت نسبی بیشتر نسبت به هوای محیط بوده که هر دو عامل رطوبت سطح لایه و میزان تراکم گیاه بروی آن تاثیر گذار بود. در واقع LWS 3 اختلاف دمهوا نسبت به LWS1-2 ایجاد می‌کرد و این اختلاف در دوره خشکسالی بیشتر هم می‌شد. لذا LWS 1-2 با از دست دادن رطوبت لایه قابلیت کاهش حرارت در حفره هوا را تا میزان زیادی از دست داده به‌طوریکه دمای هوای حفره تا حد زیادی به دمای هوا نزدیک

می‌شد. این در حالی بود که حتی در شرایط خشکسالی LWS 3 توانست تا حد زیادی میکرو اقلیم خود راحفظ کرده و اختلاف دمای هوای حفره بین دیوارهای LWS 3 با LWS1-2 به بزرگی°C 8.5 رسید در حالیکه این اختلاف در دوره آبیاری حداکثر 5.5°C بود. همانطور که اشاره شد دومین فاکتور تاثیر گذار میزان رطوبت لایه بود. تاثیر این فاکتور بروی LWS1-2 بیشتر بود ، اگرچه بروی LWS 3 نیز اثر داشت به‌طوریکه دمای سطح دیوارپشتی LWS 3 که در دوره آبیاری همواره زیر°C 28 بود در دوره خشکسالی به 29°C رسیده و در آخرین روز به حداکثر مقدار 30°C نیز رسید. اما این تاثیر برای LWS1-2 بسیار بیشتر بود چراکه رطوبت سطح لایه که در اثر تابش خورشیدی تبخیر شده و هوای پشت دیوار را خنک می‌کرد در دوره خشکسالی بشدت گرم شده و تاثیر معکوس بروی دمای هوای پشت و به‌طور متناظر دمای سطح دیوار می‌گذاشت. این در حالی بود که سطح LWS 3 پوشیده از گیاه تا حد مشخصی گرم می‌شد اما سطح لایه افزایش شدیدتری را تجربه می‌کرد. این تاثیر به خوبی در عکس‌های حرارتی نشان دهنده دمای سطح دیوارهای زنده در دوره آبیاری و خشکسالی می‌باشد.

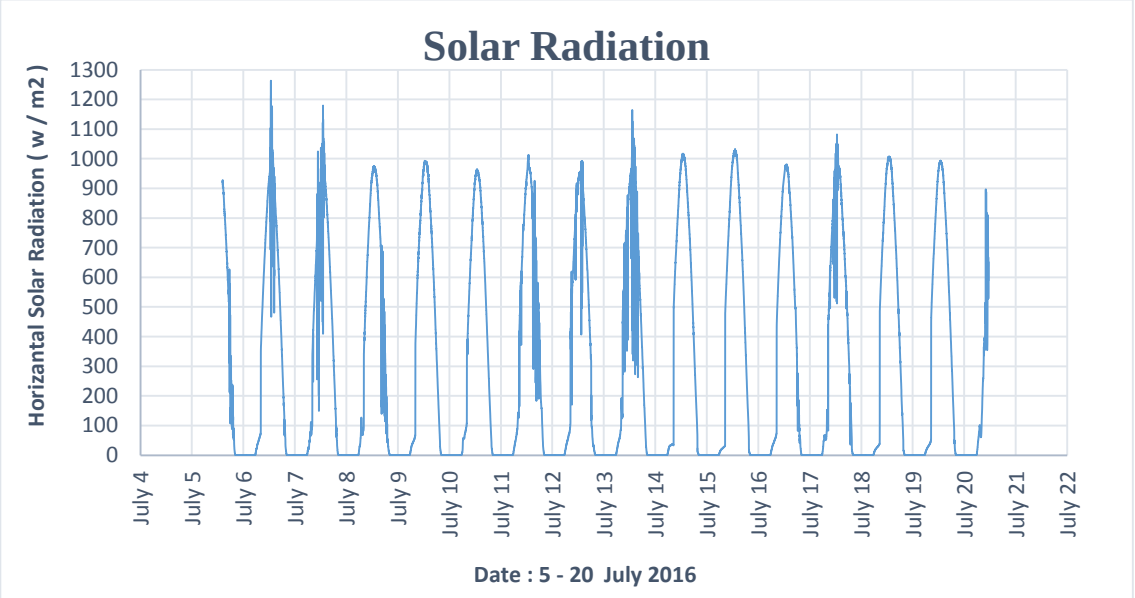
۵-۹- توصیه‌ها

سیستم‌های دیوار زنده در اقلیم گرم وخشک دارای راندمان بالایی برای کاهش حرارت دیوارهای خارجی ساختمان داشته و می‌توانند کاهشی محسوس در حداکثر دمای سطح دیوار بخصوص در طول روزهای گرم تابستان در نماهای آافتاب گیر ساختمان ایجاد کنند. همانطور که در این تحقیق اشاره شد فاکتورهایی همچون میزان تراکم و پوشش گیاه در درجه اول و مقدار مناسب رطوبت بروی کارایی حرارتی سیستم‌های سبز تاثیر گذارند. بعلاوه رشد مناسب و سلامت گیاهان عامل کلیدی در کارایی مناسب و بقای سیستم‌های سبز می‌باشند. با توجه به اینکه این پژوهش بروی دیوار غربی ساختمان در شرایطی که گیاهان در طول روز تحت تاثیر تابش شدید خورشیدی بوده تاکید می‌کنیم می‌بایست تنها

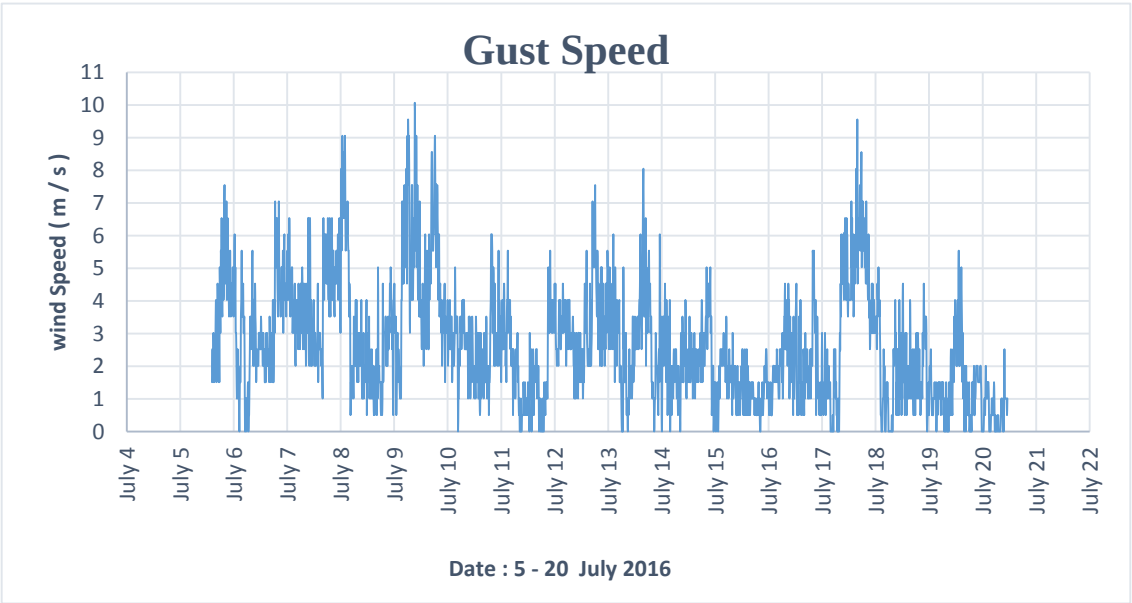
از گیاهانی بروی این جهت دیوار استفاده شده که تحمل چنین شرایط سختی را داشته و بتوانند به بقای خود ادامه دهند. اگر چه بیشترین بهره وری در کاهش حرارت بروی این جهت دیوار بعلت دریافت حداکثر تابش خورشیدی اتفاق می‌افتد اما موضوع مهم دیگر در نظر گرفتن شرایط گیاه و سلامت آن‌ها می‌باشد. لذا تحقیق و پژوهش بروی گیاهانی که قابلیت کاشت و رشد مناسب بروی دیوارهای زنده و تحمل شرایط سخت در فصول مختلف را داشته یکی از توصیه‌های پژوهش‌های آینده می‌باشد. به علاوه بررسی سیستم‌های سبز عمودی بروی دیگر جهت‌های ساختمان با گونه‌های مختلف گیاهان و بررسی حرارتی آنها در فصول مختلف و بازه زمانی طولانی تر اطلاعات کامل تری از قابلیت‌های این سیستم‌ها در اختیار ما قرار می‌دهند. در واقع برای ارتقا دانش سیستم‌های سبز عمودی و تاثیر آن بر کارایی حرارتی ساختمان می‌بایست علوم مختلف مرتبط با شناخت گیاه و شرایط آنها در کنار تکنولوژی‌های ساخت سیستم‌های سبز و مصرف انرژی در ساختمان بصورت میان رشته ای به تحقیق و پژوهش پرداخته تا بتوان در راستای بهینه سازی و بهره وری بیشتر در این سیستم‌ها قدم برداشت.

۵-۱۰-شکلهای آماری

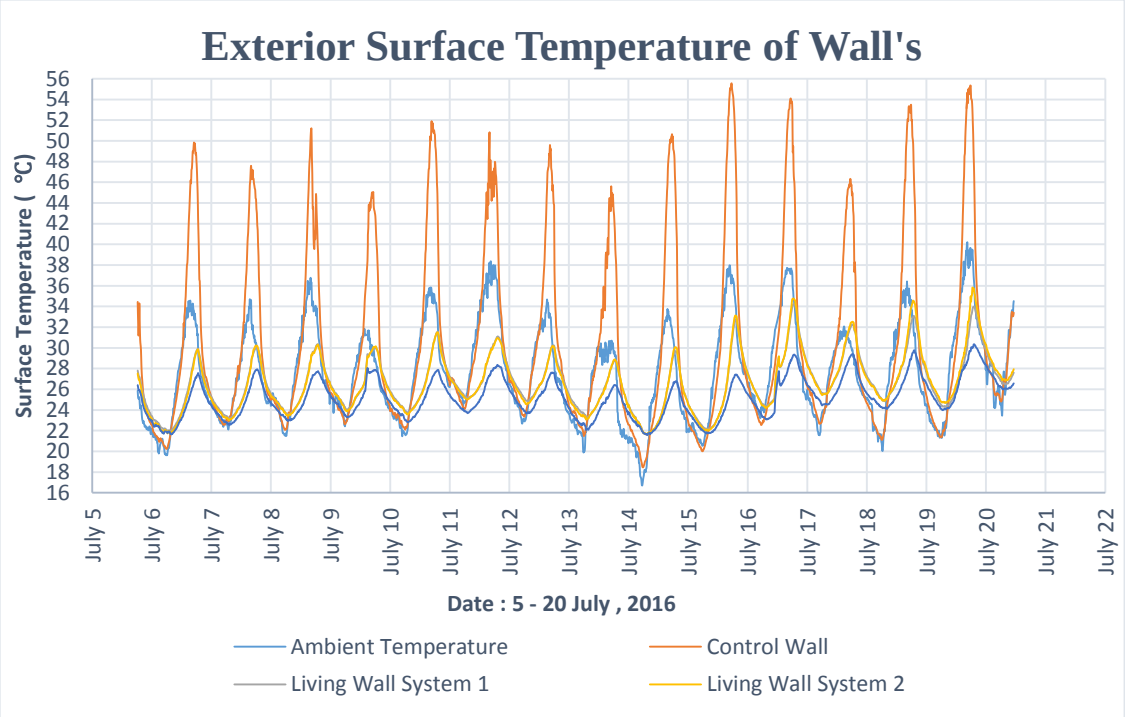
شکل آماری۱ : میزان تابش خورشیدی



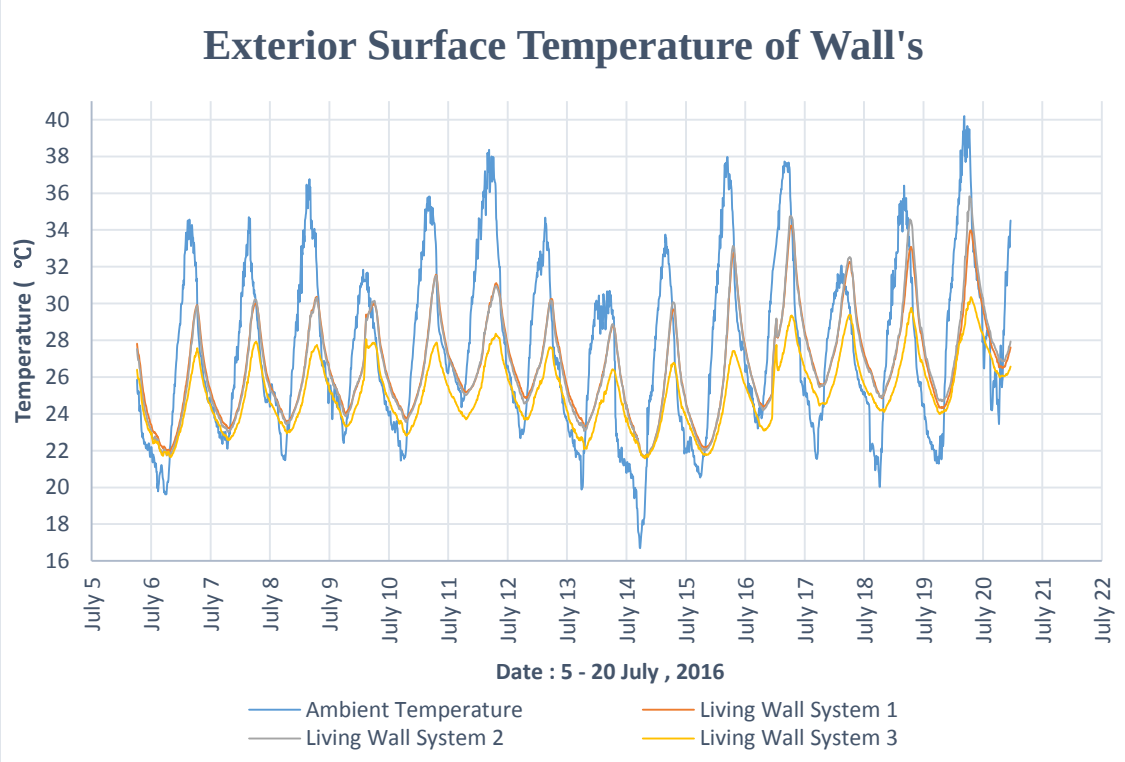
شکل آماری ۲ : سرعت باد (حدس سرعت)



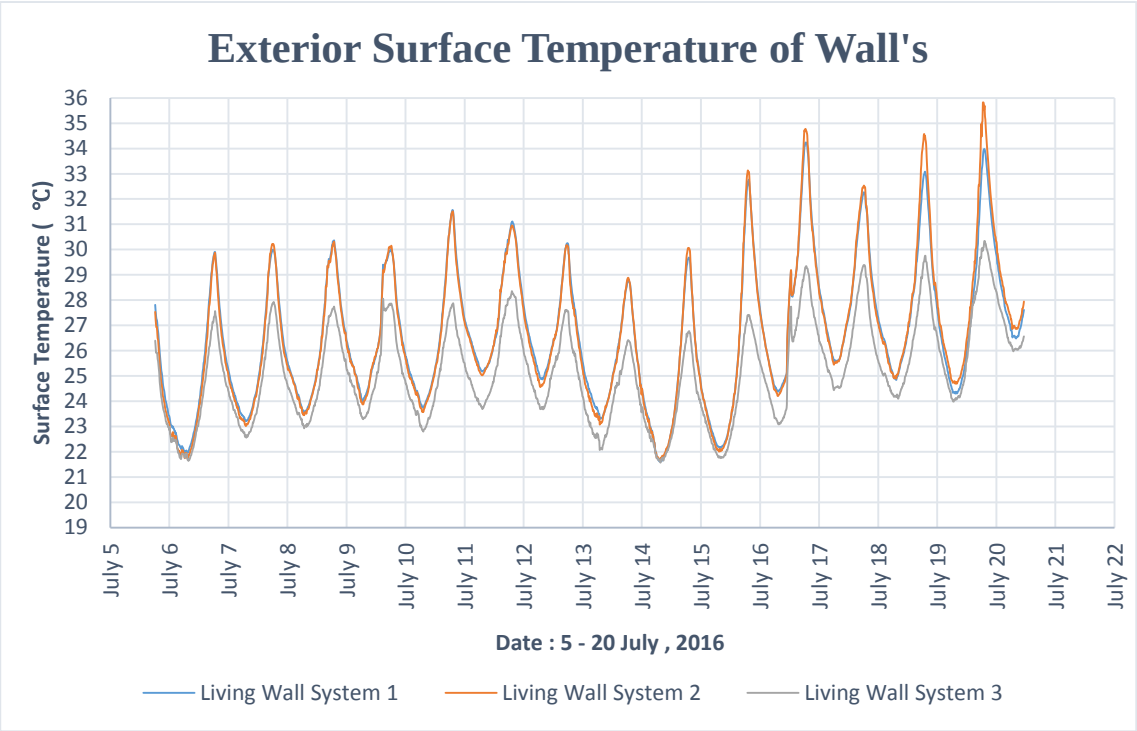
شکل آماری ۳ : دمای سطح دیوار بیرونی پشت دیوارهای زنده بهمراه دیوار کنترل و دمای هوا



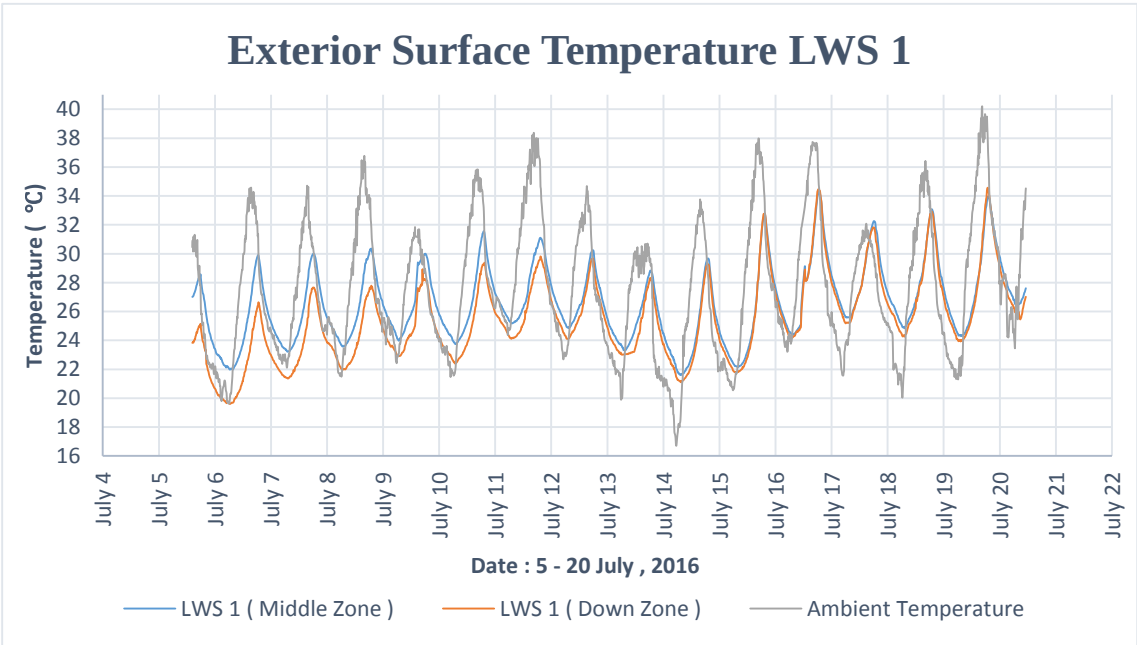
شکل آماری ۴ : دمای سطح دیوار بیرونی پشت دیوارهای زنده بدون دمای سطح دیوار کنترل



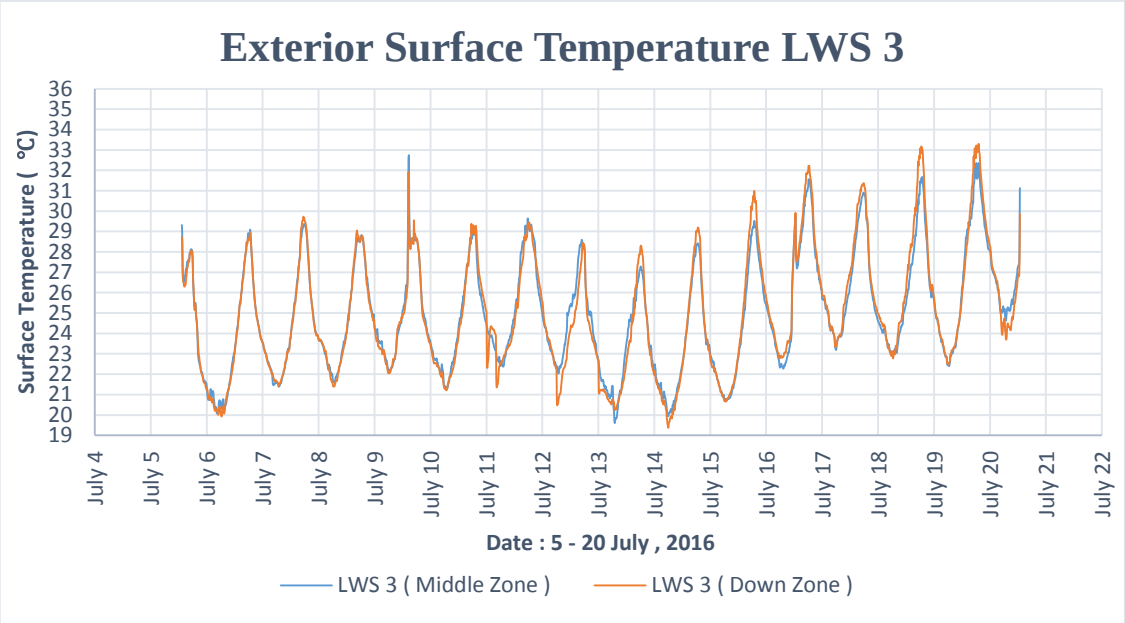
شکل آماری ۵ : دمای سطح دیوار بیرونی پشت دیوارهای زنده بدون دیوار کنترل و دمای هوا



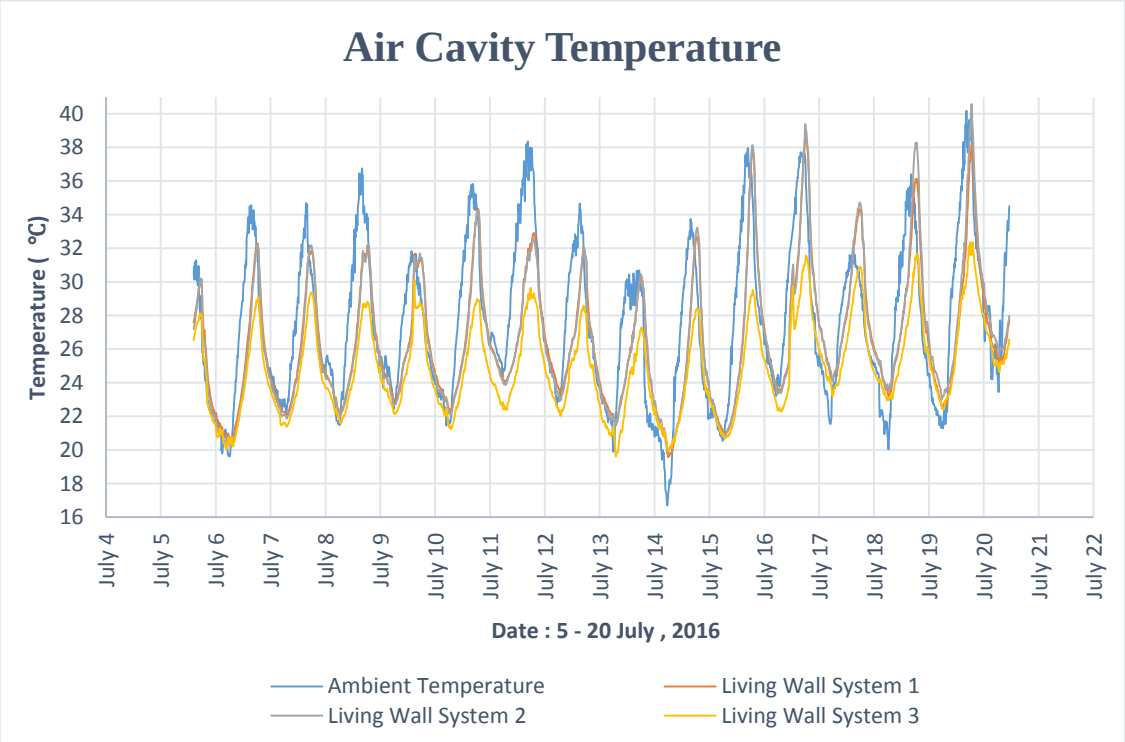
شکل آماری ۶ : دمای سطح دیوار بیرونی پشت دیوار زنده اول (تراز وسط و پایین دیوار) اختلاف در رطوبت



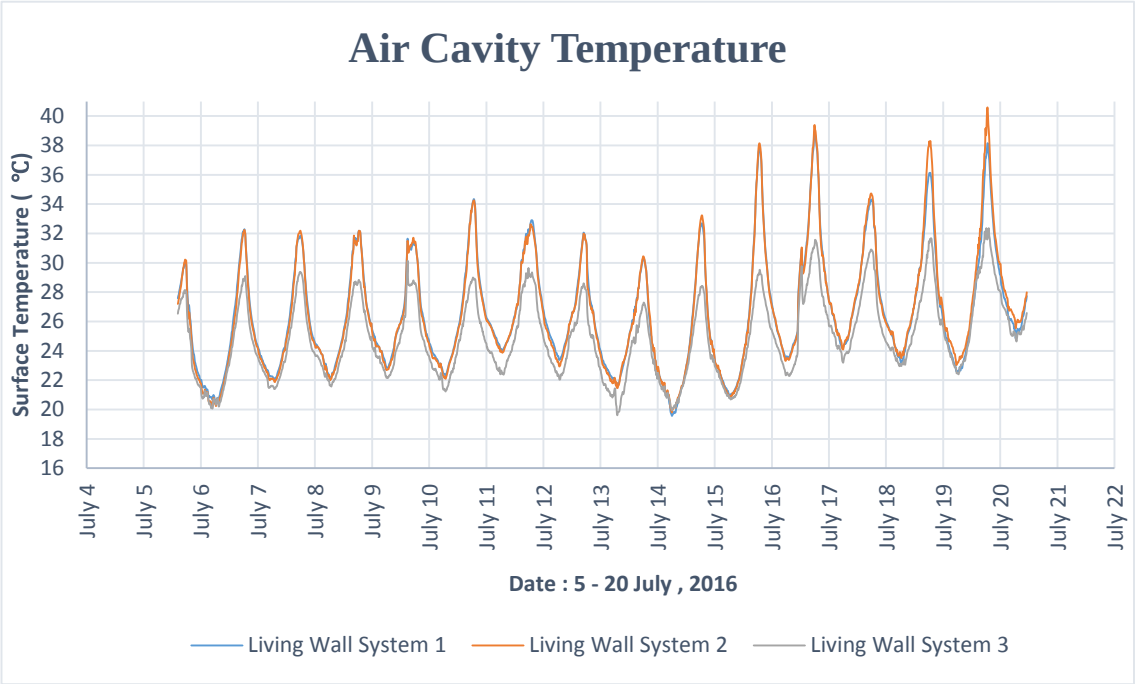
شکل آماری ۷ : دمای سطح دیوار بیرونی پشت دیوار زنده سوم (تراز وسط و پایین دیوار) – اختلاف در رطوبت



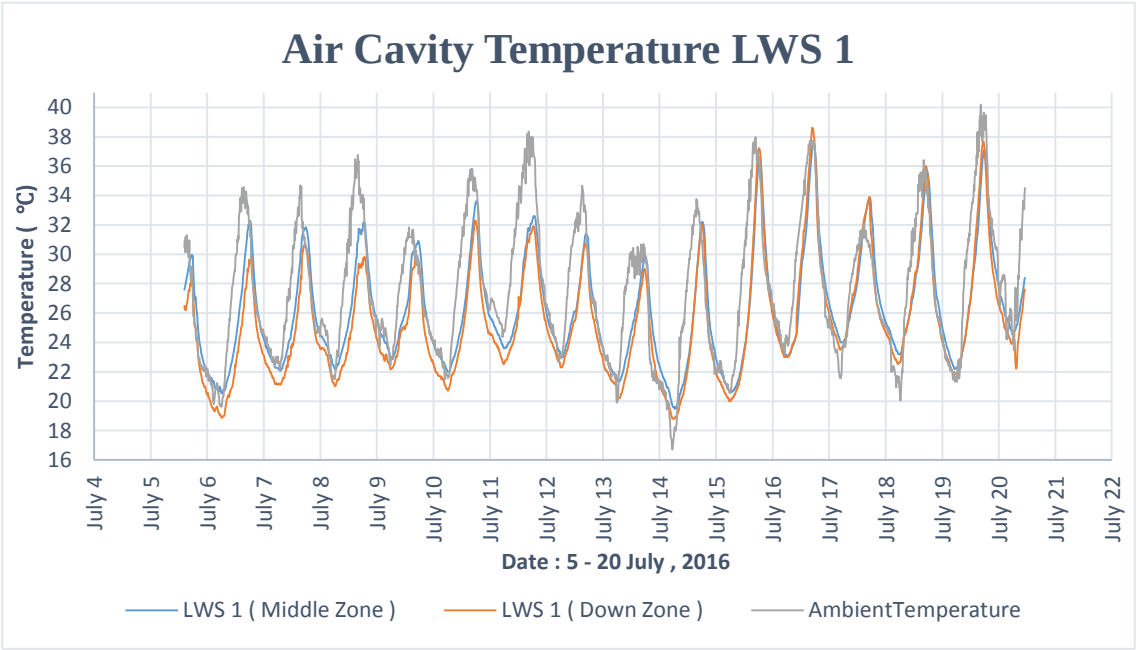
شکل آماری ۸ : دمای هوای حفره پشت دیوارهای زنده بهمراه دمای هوا



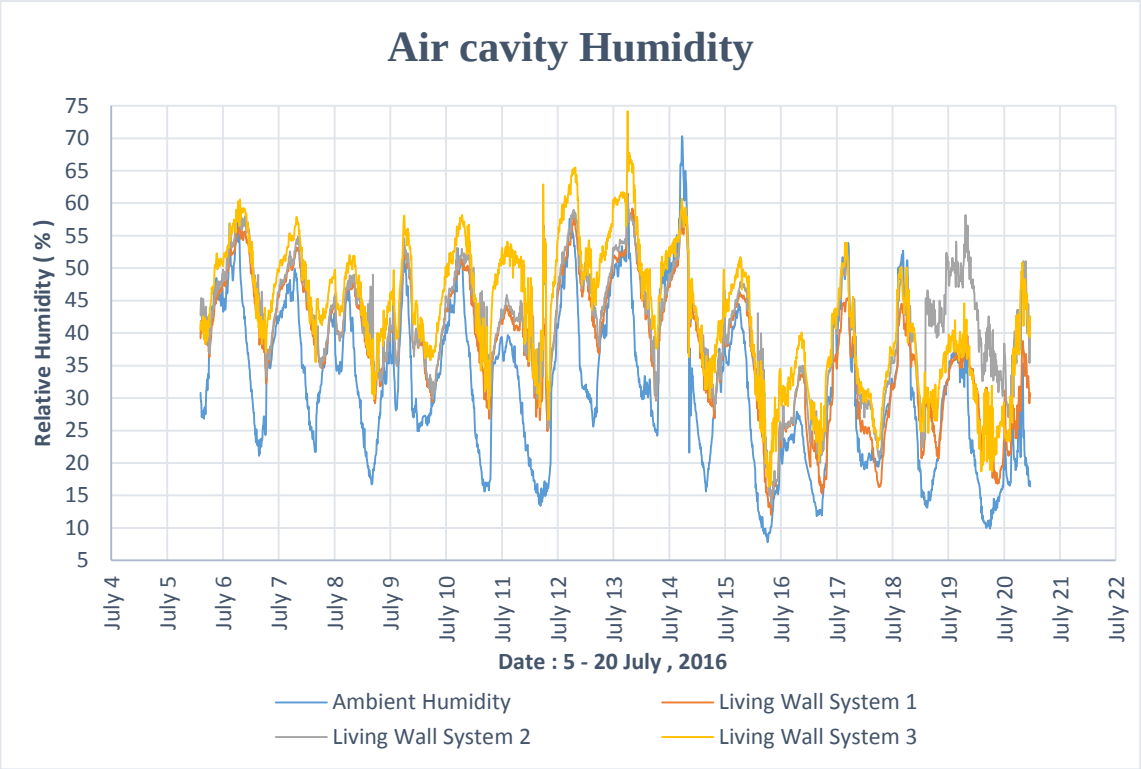
شکل آماری ۹ : دمای هوای حفره پشت دیوارهای زنده بدون دمای هوا



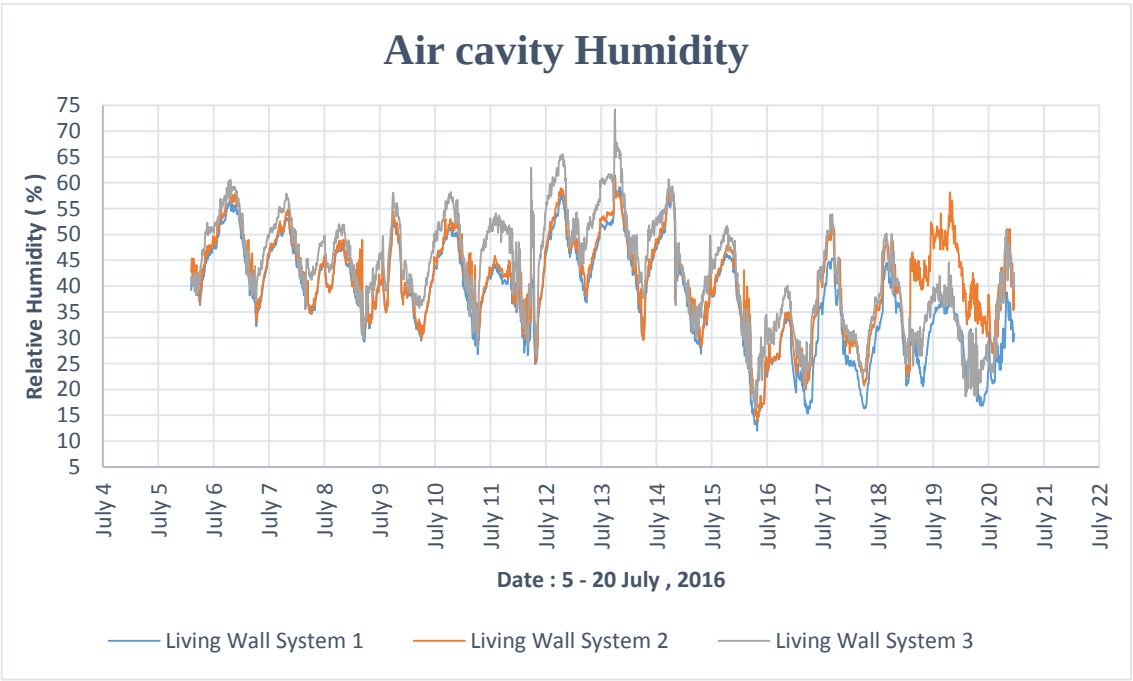
شکل آماری ۱۰ : دمای هوای حفره پشت دیوار زنده اول (تراز وسط و پایین دیوار) – اختلاف در رطوبت لایه



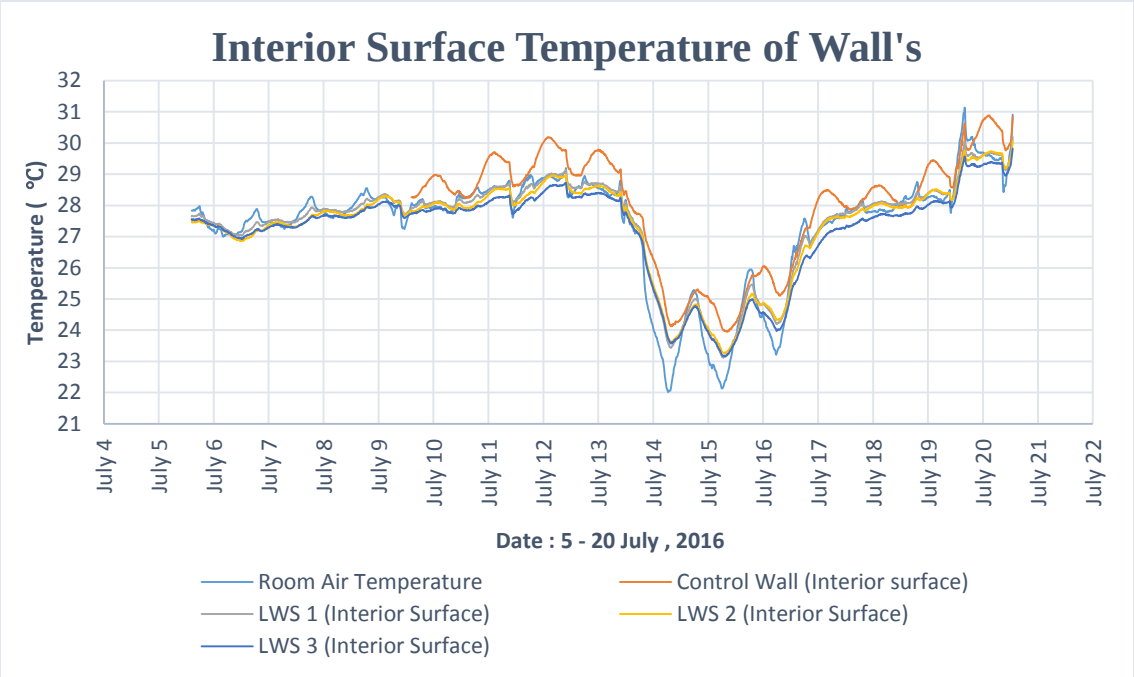
شکل آماری ۱۱ : رطوبت هوای حفره پشت دیوارهای زنده بهمراه رطوبت هوا



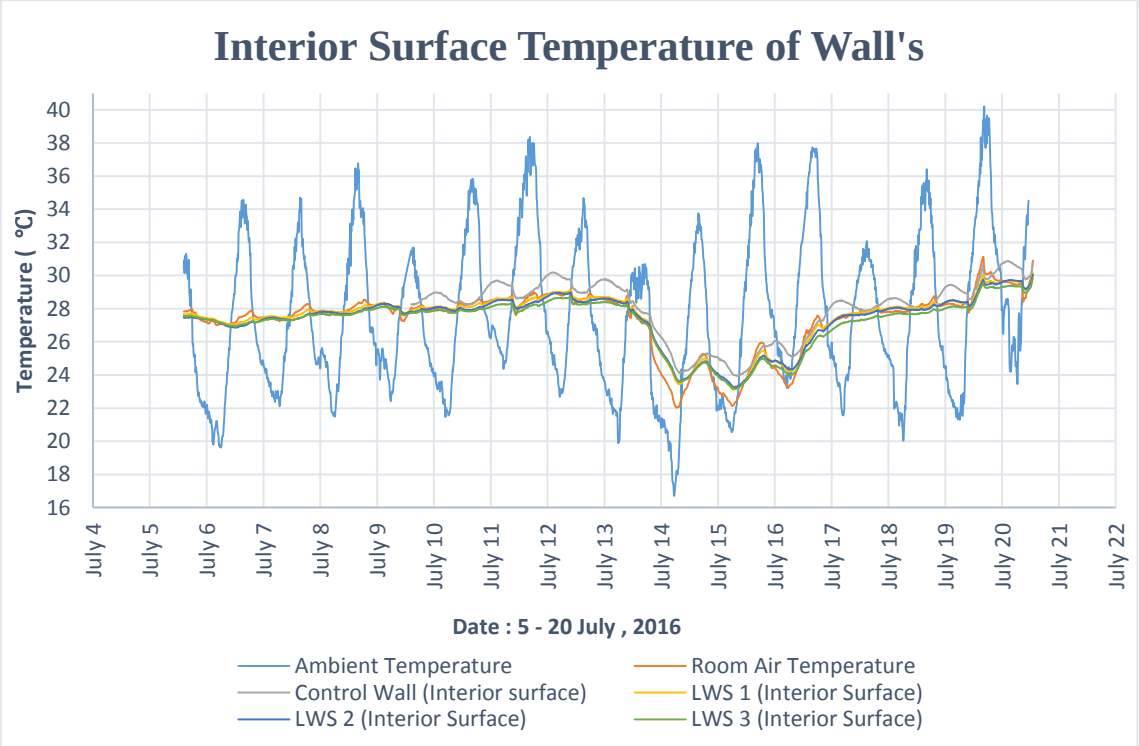
شکل آماری ۱۲ : رطوبت هوای حفره پشت دیوارهای زنده بدون رطوبت هوا



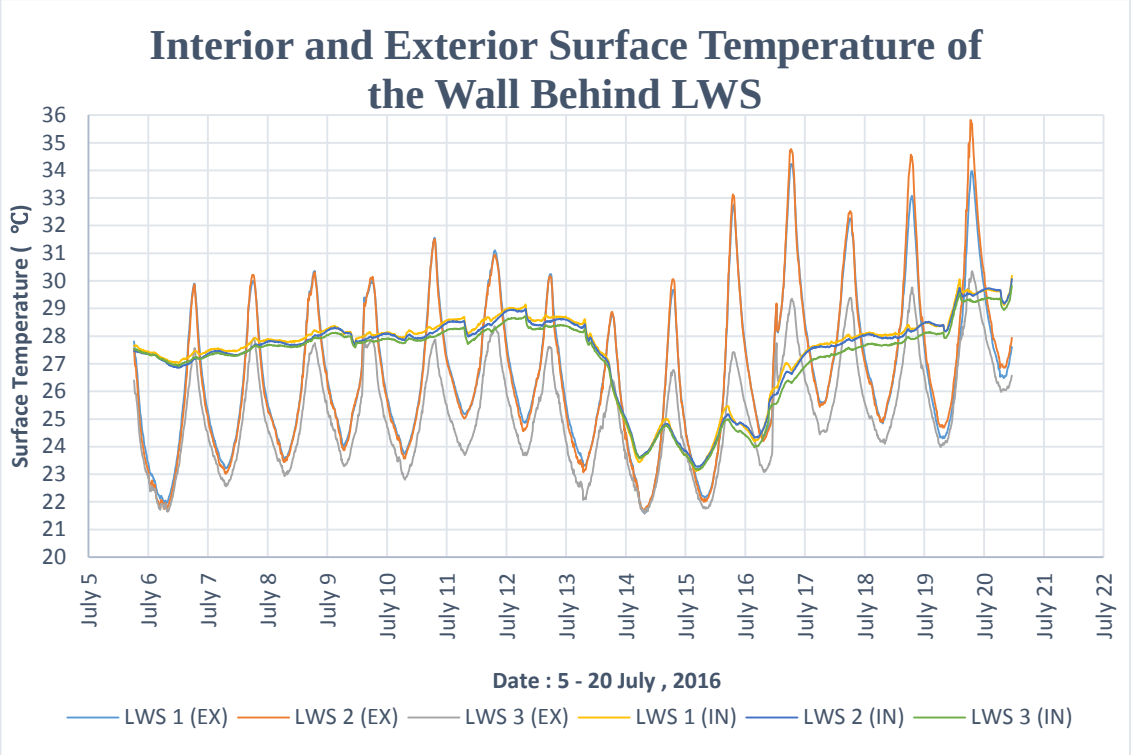
شکل آماری ۱۳ : دمای سطح دیوار داخلی پشت دیوارهای زنده و دیوار کنترل



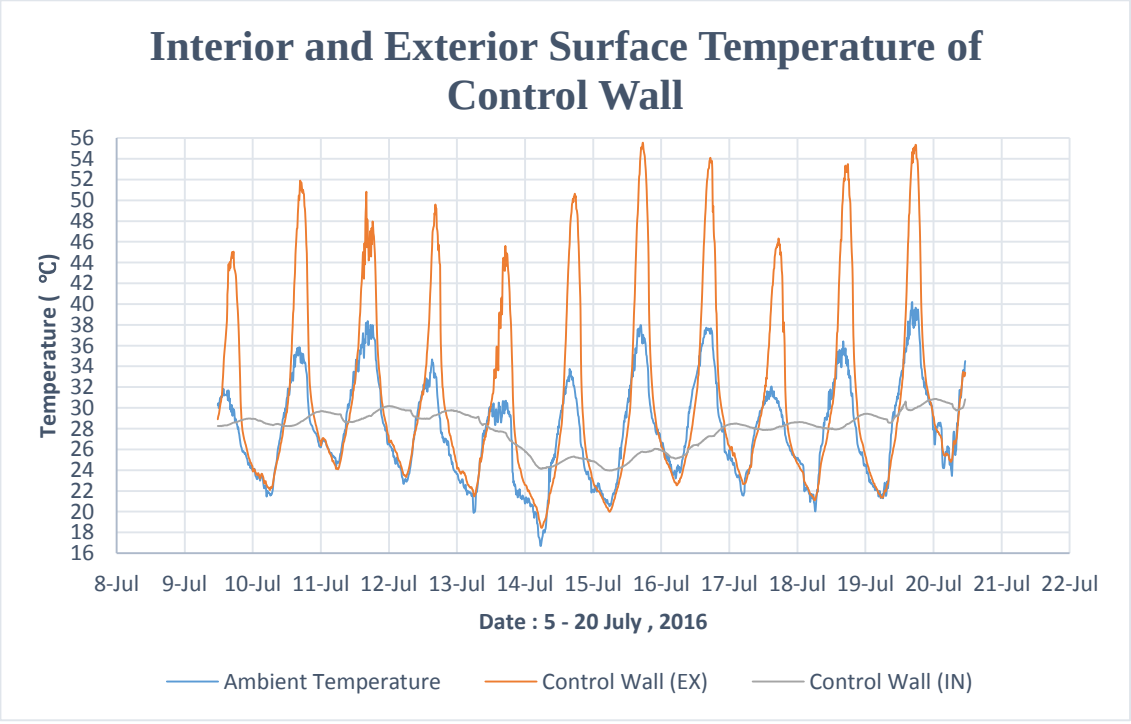
شکل آماری ۱۴ : دمای سطح دیوار داخلی بهمراه دمای هوای خارج



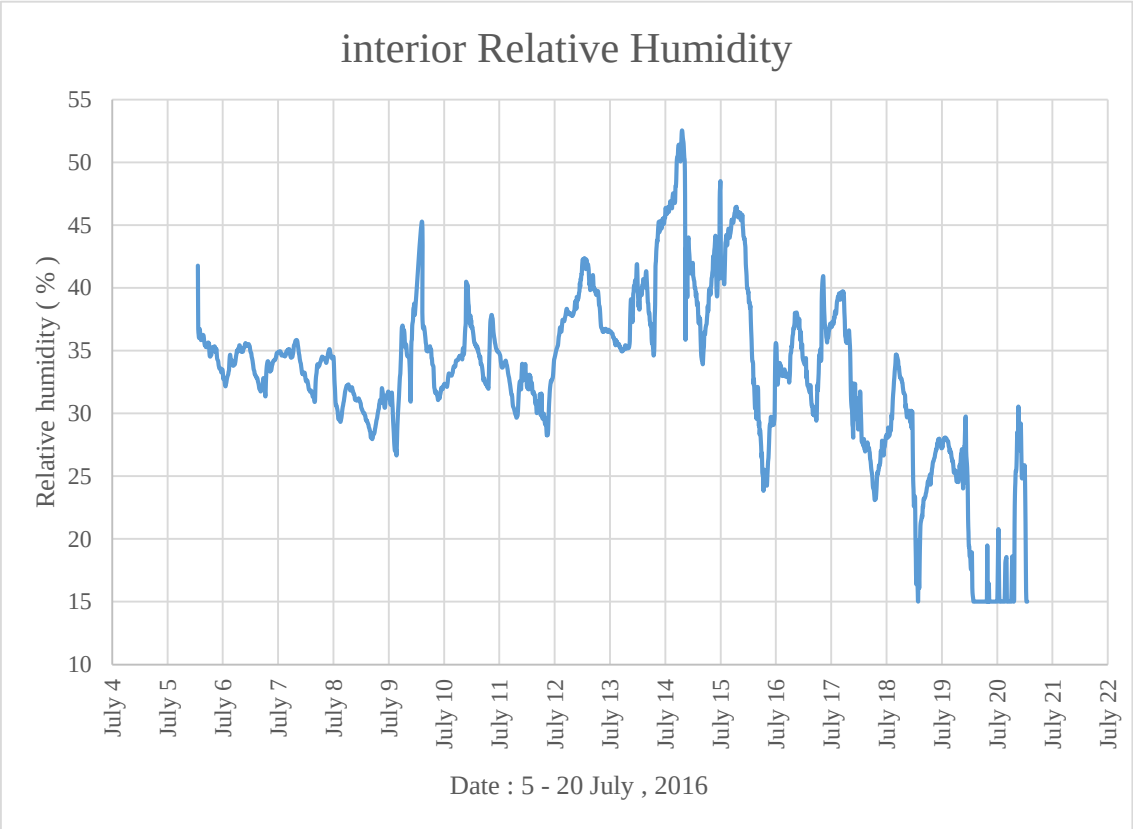
شکل آماری ۱۵ : دمای سطح داخل و خارج دیوار پشت دیوارهای زنده



شکل آماری ۱۶ : دمای سطح داخل و خارج دیوار کنترل بهمراه دمای هوای خارج



شکل آماری ۱۷ : رطوبت هوای داخلی



منابع

A

Akbari, H., Taha, H., 1992. The impact of trees and white surfaces on residential heating and cooling energy use in four Canadian cities. Energy 17, 141.

Akbari, H., Kurn, D.M., Bretz, S.E., Hanford, J.W., 1997. Peak power and cooling energy savings of shade trees. Energy Build. 25, 139–148.

Alexandri E, Jones P (2008) Temperature decrease in a urban canyon due to green walls and green roofs in diverse climates. Build Environ 43:480–493

E. Alexandri, P. Jones, The thermal effects of green roofs and green fac¸ ades on an urban canyon, in: Plea Conference on Passive and Low Energy Architecture, Eindhoven, Netherlands, 2004, pp. 19–22.

A.J. Arnfield, Two decades of urban climate research: a review of turbulence, exchanges of energy and water, and the urban heat island, Int. J. Climatol. 23 (2010) 1–26.

Aziz HA, Ismail Z. Design guideline for sustainable green roof system. Malaysia: IEEE; 2011; 198–203.

B

Bass B. Green roofs and green walls: potential energy savings in the winter. Toronto, Environment Canada: UoT Adaption and Impacts Research Division; 2007.

Bennett J. Looking behind the green facade. Feature 2012;28:4.

D.E. Bowler, L. Buyung -Ali, T.M. Knight, A.S. Pullin, Urban greening to cool town and cities: a systematic review of empirical evidence, Landsc. Urban Plan. 97 (3) (2010) 147–155.

Binabid J. Vertical garden: the study of vertical gardens and their benefits for low-rise buildings in moderate and hot climates [1476132]. United States – California: University of Southern California; 2010.

Blocken, B., Carmeliet, J., 2004. Pedestrian wind environment around buildings: lit- erature review and practical examples. J. Therm. Environ. Build. Sci. 28, 107–159.

Barot, S., Lata, J.C., Lacroix, G., 2012. Meeting the relational challenge of ecological engineering within ecological sciences. Ecol. Eng. 45, 13–23.

Buccola, N., Spolek, G., 2011. A pilot -scale evaluation of greenroof runoff retention, detention, and quality. Water Air Soil Pollut. 216, 83–92.

Blanc P. The vertical garden: in nature and the city. New York: W.W. Norton & Company; 2008.

A. Buyantuyev, J. Wu, Urban heat islands and landscape heterogeneity: linking spatio-temporal variations in surface temperatures to land-cover and socioeconomic patterns, Landsc. Ecol. 25 (1) (2010) 17–33.

O. Buchin, M.-T. Hoelscher, F. Meier, T. Nehls, F. Ziegler, Evaluation of the health-risk reduction potential of countermeasures to urban heat islands, Energy Build. (2015), http://dx.doi.org/10.1016/j.enbuild.2015.06.038

C

Chen, L., Zhang, Z., Li, Z., Tang, J., Caldwell, P., Zhang, W., 2011. Biophysical control of whole tree transpiration under an urban environment in Northern China. J. Hydrol. 402, 388–400.

Cheng CY, Cheung KKS, Chu LM. Thermal performance of a vegetated cladding system on facade walls. Build Environ 2010;45:1779–87.

D

Del Barrio, E.P., 1998. Analysis of the green roofs cooling potential in buildings. Energy Build. 27, 179–193.

Dunnett N, Kingsbury N. Planting green roofs and living walls. Portland, USA: Timber Press; 2008.

Di H, Wang D. Cooling effect of ivy on a wall. Exp Heat Transfer 1999;12:235–45.

E

Eumorfopoulou EA, Kontoleon KJ (2009) Experimental approach to the contribution of plant covered walls to the thermal behaviour of building envelopes. Build Environ 44:1024–1038

F

Figueroa M. Green roof performance in Los Angeles, California [1454104]. United States – California: University of Southern California; 2008.

G

Grimm, N.B., Faeth, S.H., Golubiewski, N.E., Redman, C.L., Jianguo, W., Xuemei, B., Briggs, J.M., 2008. Global change and the ecology of cities. Science 319, 756–760.

H

Honjo T, Takakura T. Simulation of thermal effects of urban green areas on their surrounding areas. Energy Build 1990;15:443–6.

Hoyano A. Climatological uses of plants for solar control and the effects on the thermal environment of a building. Energy Build 1988;11:181–99.

Holm D. Thermal improvement by means of leaf cover on external walls – a simulation model. Energy Build 1989;14:19–30.

Hunter AM, Williams NSG, Rayner JP, Aye L, Hes D, Livesley SJ. Quantifying the thermal performance of green façades: a critical review. Ecol Eng 2014;63:102–13.

I

K. Ip, M. Lam, A. Miller, Shading performance of a vertical deciduous climbing plant canopy, Build. Environ. 45 (1) (2010) 81–88.

J

Jaafar B, Said I, Reba MNM, Rasidi MH. Impact of vertical greenery system on internal building corridors in the tropic. Procedia – Soc Behav Sci 2013;105:558–68.

Jim, C.Y., He, H.M., 2011. Estimating heat flux transmission of vertical greenery ecosystem. Ecol. Eng. 37, 1112–1122.

Jakob Rope Systems, 1988. Inox line. Jakob Rope Systems http://www.jakob.ch/docs/982/content 638 en.pdf

K

Köhler M (2008) Green façades-a view back and some vision. Urban Ecosyst 11:423–436. doi: 10.1007/ s11252-008-0063-x

Köhler M. Rain water management with green roofs and living walls; 2007.

Kontoleon KJ, Eumorfopoulou EA. The effect of the orientation and proportion of a plant-covered wall layer on the thermal performance of a building zone. Build Environ 2010;45:1287–303.

Kim G, Lim HS, Lim TS, Schaefer L, Kim JT. Comparative advantage of an exterior shading device in thermal performance for residential buildings. Energy Build 2012;46:105–11.

L

Lambers, H., Chapin III, F.S., Pons, T.L., 2008. Plant Physiological Ecology. Springer, New York.

Lang S. Green roofs as an urban stormwater best management practice for water quantity and quality in Florida and Virginia [3416693]. United States – Florida: University of Florida; 2010.

Loh S, Stav Y. Green a city grow a wall. Proceedings of the subtropical cities 2008 conference: from fault-lines to sight-lines: subtropical urbanism in 20–20. Centre for Subtropical Design, Australia: Queensland University of Technology; 2008; 1–9.

J. Lu, C. Li, C. Yu, M. Jin, S. Dong, Regression analysis of the relationship between urban heat island effect and urban canopy characteristics in a Mountainous City, Chongqing, Indoor Built Environ. 21 (6) (2012) 821–836.

M

Mitsch, W.J., 2012. What is ecological engineering? Ecol. Eng. 45, 5–12

MacIvor J. Green roofs as constructed ecosystems: native plant performance and insect diversity [MR68820]. Canada: Saint Mary's University (Canada); 2010.

McPherson GE, Herrington LP, Heisler Gordon M. Impacts of vegetation on residential heating and cooling. Energy Build 1988;12:41–51.

McPherson, E.G., Simpson, J.R., 2003. Potential energy savings in buildings by an urban tree planting programme in California. Urban For. Urban Green. 2, 73–86.

Mir MA. Green facades and building structures. Delft: Delft University of Technology; 2011.

O

Ottelé M, Van Bohemen H, Fraaij ALA (2010) Quantifyng the deposition of particulate matter on climber vegetation on living walls. Ecol Eng 36:154–162

Ottelé M, Perini K, Fraaij ALA, Haas EM, Raiteri R (2011) Comparative life cycle analysis for green facades and living wall systems. Energy and Buildings. doi: 10.1016/j.enbuild.2011.09.010

Onishi A, Cao X, Ito T, Shi F, Imura H (2010) Evaluating the potential for urban heat-island mitigation by greening parking lots. Urban For Urban Green 9

Ong BL. Green plot ratio: an ecological measure for architecture and urban planning. Landsc Urban Plan 2003;63:197–211.

Ohashi, Y., Genchi, Y., Kondo, H., Kikegawa, Y., Yoshikado, H., Hirano, Y., 2007. In-flu- ence of air -conditioning waste heat on air temperature in Tokyo during summer: numerical experiments using an urban canopy model coupled with a building energy model. J. Appl. Meteorol. Climatol. 46, 66–81.

Oke, T.R., 1988. The urban energy balance. Prog. Phys. Geogr. 12, 471–508.

Oke, T.R., 2009. The need to establish protocols in urban heat island work. In: Eighth Symposium on Urban Environments, Phoenix, Arizona.

Oliveira S, Andrade H, Vaz T. The cooling effect of green spaces as a contribution to the mitigation of urban heat: a case study in Lisbon. Build Environ 2011;46:2186–94.

P

Pérez, G., Rincón, L., Vila, A., González, J.M., Cabeza, L.F., 2011b. Green vertical systems for buildings as passive systems for energy savings. Appl. Energy 88 (December (12)), 4854–4859.

Pérez, G., Rincon, L., Vila, A., Gonzalez, J.M., Cabeza, L.F., 2011a. Behaviour of green facades in Mediterranean Continental climate. Energy Convers. Manag. 52, 1861–1867.

Peck SW, Callaghan C, Bass B, Kuhn ME. Research report: greenbacks from green roofs: forging a new industry in Canada. Ottawa, Canada: Canadian Mortgage and Housing Corporation (CMHC); 1999.

Powe NA, Willis KG (2004) Mortality and morbidity benefits of air pollution (SO2 and PM10) adsorption attributable to woodland in Britain. J Environ Manage 70:119–128

K. Perini, M. Ottelé, A.L.A. Fraaij, E.M. Haas, R. Raiteri, Vertical greening systems and the effect on air flow and temperature on the building envelope, Build. Environ. 46 (2011) 2287–2294.

Papadakis G, Tsamis P, Kyritsis S. An experimental investigation of the effect of shad-ing with plants for solar control of buildings. Energy Build 2001;33:831–6.

Picot X. Thermal comfort in urban spaces: impact of vegetation growth: case study: Pi-azza della Scienza, Milan, Italy. Energy Build 2004;36:329–34.

Price, J.W., 2010. Green Facade Energetics. University of Maryland, MD, USA.
Rayner, J.P., Raynor, K.J., Williams, N.S.G., 2010. Facade greening: a case study from

R

Rayner JP, Raynor KJ, Williams NSG. Façade greening: a case study from Melbourne, Australia. II International Conference on Landscape and Urban Hort; 2010. p. 6.

S

Stec WJ, Van Paassen AHC, Maziarz A. Modelling the double skin façade with plants. Energy Build 2004;37:419–27.

Schmidt M. Energy and water, a descentralized approach to an integrated sustainable urban development. RIO6 World Climate and Energy Event, Rio de Janeiro – RJ, Brazil; 2006.

SenStadt (Senate Department for Urban Development and the Environment), 04.04 Temperature in medium low-exchange nocturnal radiation periods (Edition 2001), 2001 http://www.stadtentwicklung.berlin.de/umwelt/ umweltatlas/e text/eka404.pdf

Sunakorn P, Yimprayoon C. Thermal performance of biofacade with natural ventilation in the tropical climate. Procedia Eng 2011;21:34–41.

Sailor, D.J., 2008. A green roof model for building energy simulation programs. Energy Build. 40, 1466–1478.

Stemberg T, Viles H, Carthersides A, Edwards M (2010) Dust particulate absorption by Ivy (Hedera Helix L.) on historic walls in urban environments. Sci Total Environ 409:162–168

J.F.C. Sham, T.Y. Lo, S.A. Memon, Verification and application of continuous surface temperature monitoring technique for investigation of nocturnal sensible heat release characteristics by building fabrics, Energy Build. 53 (2012) 108–116

T

Taha H (1997) Urban climates and heat islands: albedo, evapotraspiration, and antropogenic heat. Energy and Buildings 25:99–103

H. Takebayashi, M. Moriyama, Surface heat budget on green roof and high reflection roof for mitigation of urban heat island, Build. Environ. 42 (2007) 2971–2979.

Van Renterghem T, Botteldooren D. Reducing the acoustical façade load from road traffic with green roofs. Build Environ 2009;44:1081–7.

W

Wong NH, Tan AYK, Chen Y, Sekar K, Tan PY, Chan D, et al. Thermal evaluation of vertical greenery systems for building walls. Build Environ 2010;45:663–72.

Wong NH, Tan AYK, Tan PY, Wong NC. Energy simulation of greenery systems. Energy Build 2009;41:1401–8.

Wong NH, Chen Y, Ong CL, Sia A. Investigation of thermal benefits of rooftop garden in the tropical environment. Build Environ 2003;38:261–70.

Wong NH, Yu C. Study of green areas and urban heat island in a tropical city. Habitat Int 2005;29:547–58.

Wong NHY, Wong Chen, Tee Siu, Chung Calvin. Exploring the thermal benefits of plants in industrial areas with respect to the tropical climate. In: Proceedings of the 23rd conference on passive and low energy archi-tecture. Geneva, Switzerland; 2006. p. 6.

Wise, A.F.E., Sexton, D.E., Lillywhite, M.S.T., 1965. Studies of air flow around buildings. Architects' J. 141, 1185–1189.

Williams, N.S.G., Rayner, J.P., Raynor, K.J., 2010. Green roofs for a wide brown land: opportunities and barriers for rooftop greening in Australia. Urban For. Urban Green. 9, 245–251.

Y

Yu C, Hien W. Thermal impact of strategic landscaping in cities: a review. Adv Build Energy Res (ABER) 2009;3:237.

Z

Zhou J, Chen Y. A review on applying ventilated double-skin facade to buildings in hot-summer and cold-winter zone in China. Renew Sustain Energy Rev 2010;14:1321–8.

Abstract

Urban development poses multiple problems, including environmental pollution, a reduction in biodiversity, and the disappearance of the natural environment. Man-made environments and structure consume a large amount of limited natural resources through their extensive use of energy and materials. This research explored the use of vegetation in building surface as a potential solution to the problems of urban ecology and the excessive energy consumption in buildings. Vegetated facades have the ability to reduce building energy use, reduce the urban heat island effect, improve air quality, and increase the biodiversity of plants and animals in cities.The goal of this research was to evaluate the effect of green walls on building thermal performance. To compare the thermal performance of building walls covered by vegetation, we used thermocouple and humidity data loggers, weather station and thermal camera to data collection. Location of experimental test is in hot and dry climate of shahrood city in Iran. The experimental test include 3 exterior living walls whit different plant species, was built in shahrood University of technology. The result shown that the vegetation layer whit living walls panels as a substrate, can significantly effect on the exterior surface temperature and heat-related fluctuations on the wall and also reduction the interior wall surface temperature.

Keywords : Green wall, Exterior living wall, Thermal efficiency, reduce energy consumption

Shahrood University of Technology

Faculty of Architectural Engineering and Urbanism

MSc Thesis in Architectural Engineering

EVALUATION OF THE EFFECT OF GREEN WALL'S ON BUILDING THERMAL PERFORMANCE

Farid Mahdipour Tamalli

Supervisor(s):

Dr Taheri Shahrayinni

Dr Bodaghi

February 2017