مطالعه تغییرات عوامل مختلف هواشناسی در روزهای آبیاری و غیر آبیاری در یک پارک گیاهشناسی مجهز به سیستم آبیاری بارانی

مطالعه موردی: ایستگاه تحقیقاتی پارک گیاهشناسی دانشگاه تهران

مسعود عبداللهی

مدرس گروه مهندسی جغرافیای طبیعی دانشگاه کردستان Email: masoud.abdolahi@gmail.com

دکتر سعید خضری

استادیار گروه مهندسی جغرافیای طبیعی دانشگاه کردستان s_khezri@yahoo.com

چکیده

در این پژوهش به مطالعه تغییرات عوامل مختلف هواشناسی در سه ارتفاع ۱۷۰، ۱۳۰ و ۵ سانتیمتری از سطح و در ساعات ۶:۳۰، ۱۲:۳۰ و ۱۸:۳۰ به وقت محلی (۳:۳۰+ به وقت گرینویچ)، در روزهای آبیاری و غیر آبیاری در پارک گیاهشناسی پردیس کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه تهران به مدت ۶۲ روز در فصل تابستان پرداخته شد که از این تعداد بطور متناوب ۱۵ روز آبیاری توسط سیستم آبیاری بارانی انجام پذیرفت (۷ روز آبیاری در صبح و ۸ روز آبیاری در بعد از ظهر). نتایج بررسی ها نشان داد که آبیاری در صبح (۸ تا ۱۱:۳۰) باعث کاهش دمای خشک و دمای حداکثر و افزایش دمای تر و رطوبت نسبی در تمامی ساعات و ارتفاعات مختلف دیده بانی می گردد در حالی که آبیاری در بعد از ظهر (۱۳ تا ۱۶:۳۰) باعث افزایش دمای خشک، دمای حداقل، دمای حداکثر و کاهش دمای تر و رطوبت نسبی در تمامی ساعات و ارتفاعات مختلف دیده بانی می گردد.

واژگان کلیدی: عوامل هواشناسی، پارک گیاهشناسی، آبیاری بارانی، شرایط میکروکلیمایی.

پژوهشگاه علوم انسانی و مطالعات فرهنگی
پرتال جامع علوم انسانی

مقدمه

گیاهان در طول دوره رشد خود با عوامل متعدد محیطی مرتبط با اقلیم مواجه می شوند که اگر شرایط بگونه ای گردد که این عوامل در سطح نامطلوبی قرار گیرند، گیاه تحت تنش قرار گرفته و رشد و نمو آن مختل می گردد (حیدری، ۱۳۸۶، ص.۱۰). یک از مهمترین آنها، عوامل مختلف هواشناسی (دمای خشک، دمای تر، دمای حداقل ، دمای حداکثر) بوده که بطور مستقیم بر گیاهان تاثیر دارند. در سالهای اخیر موضوع توسعه و اشاعه سیستمهای آبیاری تحت فشار برای استفاده بهینه از منابع آب مطرح شده است که تجربیات علمی نشان می دهد این سیستمها بر عوامل مختلف هواشناسی اثر گذارند. از آنجا که ایران در منطقه ای خشک و نیمه خشک از جهان قرار گرفته (علیجانی، ۱۳۸۷، ص.۴۹)، استفاده از چنین روشهایی روز به روز وسعت می یابد. سیستمهای آبیاری متناوب همانند آبیاری بارانی، یکی از تکنیک های پیشرفته جهت صرفه‌جویی در مصرف آب و مدیریت زمان و میزان آبیاری و کودهی می باشد (لی و رائو، ۲۰۰۳). میزان تولید محصول و راندمان آب مصرفی در چنین مزارعی بیشتر می باشد زیرا سیستم آبیاری بارانی یک میکروکلیمای مطلوب

برای رشد گیاهان بوجود می آورد (یانگ و همکاران، ۲۰۰۰). مطالعاتی که منحصرا به مقایسه دمای هوا در مناطق آبیاری شده با سیستم آبیاری بارانی و مناطق آبیاری نشده پرداخته باشد نادر است.

تولک و همکاران (تالک و همکاران، ۱۹۹۵). در تحقیق خود به این نتیجه رسیدند که در خلال آبیاری بارانی تعرق گیاه بیش از ۵۰ درصد کاهش می یابد. همچنین در مناطقی که از سیستم آبیاری بارانی استفاده می شود میزان فتوسنتز افزایش و تنفس شبانه برگ[1] کاهش می یابد (چن، ۱۹۹۶ - یانگ و همکاران، ۲۰۰۰). در دهه های اخیر مطالعات زیادی در سراسر جهان جهت تحقیق در مورد تبخیر آب و الگوی تغییرات میکروکلیمایی ناشی از آبیاری بارانی صورت پذیرفته است (فراست،۱۹۵۵- دیلا،۱۹۸۳- نرمن،۱۹۸۳- استینر، ۱۹۸۳- کخ،۱۹۸۷- والتر،۱۹۸۸- آیارس،۱۹۹۱- تامسون،۱۹۹۷- لی، ۲۰۰۰- تارجوولو،۲۰۰۰). فرآیند تبخیر قطرات آب در مسیر سقوط، باعث کاهش دمای هوا و اضافه شدن بخار آب به اتمسفر می گردد (کخ و رایت، ۱۹۷۴). تامسون و همکاران (۱۹۹۳a) دریافتند که تبخیر مستقیم از قطرات آب کمتر از ۱ درصد کل آب مصرفی می باشد.

با مطالعه تبخیر قطرات آب پاشیده شده از آبپاشها در مسیر باد، مشخص گردید که معمولا دمای هوا کمتر از ۱ درجه سانتیگراد کاهش و فشار بخار آب به میزان ۰/۸ هکتو پاسکال افزایش می یابد (کخ و رایت، ۱۹۷۴). تالک و همکاران (۱۹۹۵) در تحقیقی دریافتند که کمبود فشار بخار[2] و دمای هوا در مجاورت کانوپی[3] بطور قابل ملاحظه ای در خلال آبیاری بارانی و بعد از آن کاهش می یابد. تامسون و همکاران (۱۹۹۳a) نشان دادند که دمای هوای مجاور کانوپی در ۱۰ دقیقه آغازین آبیاری بارانی به سرعت کاهش می یابد و به میزان ۷-۴ درجه سانتیگراد کمتر از دمای منطقه خارج از محدوده آبیاری می گردد. همچنین دمای دماسنج خشک در مجاورت کانوپی ۶۰ دقیقه بعد از آبیاری تقریبا همان دمای خارج از محدوده آبیاری می گردد.

چن (۱۹۹۶) در مطالعه ای نشان داد که در خلال آبیاری بارانی، متوسط روزانه فشار بخار و رطوبت نسبی افزایش می یابد در حالی که دمای هوا در مجاورت کانوپی و دمای خاک کاهش می یابد. چند مدل برای شبیه سازی میکروکلیمای ناشی از آبیاری بارانی ارائه گردیده است (واشنگتن و لاری، ۱۹۸۸a,b- تامسون و همکاران، ۱۹۹۳a,b). لیو و همکاران (۲۰۰۴) با اطلاع از رابطه بین آبیاری بارانی و میکروکلیمای ناشی از آن، با استفاده از سیستم آبیاری بارانی اقدام به آبیاری منطقه نموده و اثر آن را در محافظت مزارع از خشکی، گرما و باد مورد مطالعه قرار دادند.

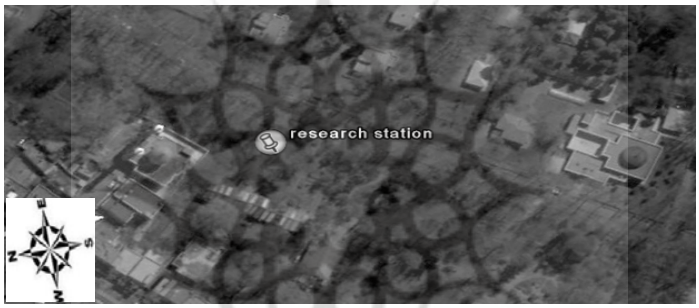
بعضی از مطالعات نیز به مقایسه الگوی میکروکلیمایی بین مناطق آبیاری شده با سیستم آبیاری بارانی و آبیاری سطحی پرداخته اند (لیو و همکاران، ۲۰۰۶). درهرصورت، نتایج تحقیقات و یافته های مختلف حاکی از ایجاد تغییرات میکروکلیمایی در خلال آبیاری بارانی و اندکی بعد از آن دارد. بنابراین تحقیقات بیشتری لازم است تا اثر فاصله از زمان آبیاری بارانی بر روی میکروکلیمای منطقه آبیاری شده مورد مطالعه قرار گیرد. در پژوهش حاضر سعی گردید تا به بررسی اثر فاصله از زمان آبیاری بر عوامل مختلف هواشناسی (دمای خشک، دمای تر، رطوبت نسبی، دمای حداقل و دمای حداکثر) پرداخته شود.

[1] Respiration rate in night
[2] vapor pressure deficit (VPD)
[3] تاج پوشش

مواد و روش ها

الف) مواد: ایستگاه تحقیقاتی پارک گیاهشناسی که صرفا جهت انجام این پژوهش احداث گردید و در ادامه از آن با عنوان ایستگاه پارک گیاهشناسی یاد می شود. این ایستگاه در پارک گیاهشناسی پردیس کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه تهران، با ارتفاع ۱۳۱۳ متر از سطح دریا در عرض جغرافیایی ۳۵ درجه و ۴۸ دقیقه شمالی و طول جغرافیای ۵۱ درجه شرقی قرار دارد (شکل۱و۲).

شکل ۱- نمایی از ایستگاه تحقیقاتی پارک گیاهشناسی پردیس کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه تهران



شکل ۲- تصویر ماهواره‌ای[1] ایستگاه تحقیقاتی پارک گیاهشناسی پردیس کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه تهران

در این پژوهش تعداد ۳ عدد دماسنج معمولی، ۳ عدد دماسنج تر، ۳ عدد دماسنج حداقل، ۳ عدد دماسنج حداکثر استفاده گردید که همگی ساخت شرکت لامبرخت[2] آلمان و با دقت ۰/۱ درجه سانتیگراد بودند. کلیه دماسنجها با همکاری معاونت امور فنی و استاندارد سازمان هواشناسی کشور در مدت ۲ هفته کالیبره گردید. در ایستگاه تحقیقاتی ۳ عدد جعبه اسکرین نوع انگلیسی[3] در ارتفاعات ۱۷۰، ۱۳۰ و ۵ سانتیمتری سطح نصب و در هر اسکرین یک دماسنج خشک، یک دماسنج تر، یک دماسنج حداقل و یک دماسنج حداکثر مستقرگردید.

ب) روش ها: دیده‌بانی عوامل مختلف هواشناسی (دمای خشک، دمای تر، دمای حداقل، دمای حداکثر) در ایستگاه مورد مطالعه از تاریخ اول مرداد ۱۳۸۶ لغایت ۳۱ شهریور ۱۳۸۶ هر روز سه مرتبه و در ساعات ۰۶:۳۰، ۱۲:۳۰ و ۱۸:۳۰ به وقت محلی[4] (۰۳:۰۰، ۰۹:۰۰ و ۱۵:۰۰ به وقت گرینویچ[5]) به مدت ۶۲ روز انجام گرفت. در این مدت در پارک گیاهشناسی پردیس کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه تهران، جمعاً ۱۵ روز آبیاری بارانی انجام گرفت که از این تعداد ۷

[1] منبع: تصاویر دریافتی از Google Earth از ارتفاع ۱۳۳۸ متری سطح زمین
[2] Lambrecht
[3] Stevenson screen
[4] Local Mean Time
[5] Greenwich Mean Time

روز آبیاری در صبح (۸ تا ۱۱:۳۰) و ۸ روز آبیاری در بعد از ظهر (۱۳ تا ۱۶:۳۰) صورت پذیرفت. سری زمانی روزهای آبیاری در صبح و سری زمانی روزهای آبیاری در بعد از ظهر بطور جداگانه تشکیل گردید و هر سری با سری زمانی روزهای غیرآبیاری (سری ۴۷ روزه) در ایستگاه پارک مورد مقایسه و تجزیه و تحلیل قرار گرفت تا به تفکیک، به بررسی اثر آبیاری در صبح و بعد از ظهر بر عوامل مختلف هواشناسی پرداخته شود. رطوبت نسبی نیز با استفاده از داده های دمای خشک و تر محاسبه گردید. این مطالعه در مورد سه ارتفاع ۱۷۰، ۱۳۰ و ۵ سانتیمتری از سطح زمین انجام شد. در این پژوهش جمعاً ۲۲۳۲ داده برداشت شد و بوسیله نرم افزارهای Excel 2007 و Minitab14 مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت.

یافته ها

تجزیه و تحلیل داده های دیده بانی شده نشان داد که آبیاری بارانی، فارغ از زمان انجام، بر عوامل مختلف هواشناسی اثر می‌گذارد. بیشترین و کمترین اثر آبیاری بارانی در صبح (۸ تا ۱۱:۳۰) و بعدازظهر (۱۳ تا ۱۶:۳۰) بر عوامل مختلف هواشناسی در جداول ۱ و ۲ آورده شده است. همچنین با افزایش فاصله زمانی از انجام آبیاری، تاثیرپذیری عوامل مختلف از آبیاری بارانی تغییر می کند که نتایج کامل در جدول ۳ آورده شده است.

نتایج نشان می دهد که بیشترین اثر آبیاری بارانی در صبح (۸ تا ۱۱:۳۰) بر دمای حداکثر در ارتفاع ۵ سانتیمتری بوده که باعث کاهش ۱/۷℃ آن نسبت به میانگین روزهای غیرآبیاری در همان ساعت و همان ارتفاع گردیده است. همچنین بیشترین اثر آبیاری بارانی در بعدازظهر (۱۳ تا ۱۶:۳۰) بر دمای حداقل در ارتفاع ۱۷۰ سانتیمتری بوده که باعث افزایش ۱℃ آن نسبت به میانگین روزهای غیرآبیاری در همان ساعت و همان ارتفاع گردیده است (جداول ۲ و ۳ را ببینید). اثر آبیاری بارانی در صبح و بعد از ظهر بر میانگین عوامل مختلف هواشناسی در سه ارتفاع ۱۷۰، ۱۳۰ و ۵ سانتیمتری در شکل های ۳، ۴ و ۵ آمده است.

جدول ۱- اثر آبیاری درصبح بر عوامل مختلف هواشناسی در ایستگاه پارک گیاهشناسی

زمان آبیاری	عوامل هواشناسی	بیشترین اثر آبیاری بر ارتفاع	کمترین اثر آبیاری بر ارتفاع	ملاحضات	اثر کلی
صبح ساعت ۸ تا ۱۱:۳۰	دمای خشک	۱۷۰cm به میزان ۱℃ کاهش در ساعت ۱۲:۳۰	۱۷۰cm به میزان ۰/۵℃ کاهش در ساعت ۱۸:۳۰	هرچه فاصله از زمان آبیاری بیشتر گردد دمای خشک اثر کمتری می‌پذیرد.[1]	کاهش
	دمای تر	۵cm به میزان ۰/۵℃ افزایش در ساعت ۱۸:۳۰	۱۷۰cm و ۵cm به میزان ۰℃ در ساعت ۱۲:۳۰	هرچه فاصله از زمان آبیاری بیشتر گردد دمای تر اثر بیشتری می‌پذیرد.	افزایش
	دمای حداکثر	۱۷۰cm به میزان ۱/۷℃ کاهش در ساعت ۱۸:۳۰	۱۳۰cm به میزان ۰/۹℃ کاهش در ساعت ۱۸:۳۰	بطور کلی آبیاری بارانی باعث کاهش دمای حداکثر شده است.	کاهش
	رطوبت نسبی	۱۳۰cm به میزان ۵/۷ ٪ افزایش در ساعت ۱۸:۳۰	۱۳۰cm به میزان ۲/۳ ٪ کاهش در ساعت ۱۲:۳۰	هرچه فاصله از زمان آبیاری بیشتر گردد رطوبت نسبی اثر بیشتری می‌پذیرد.	افزایش

[1] استثناء: دمای خشک در ساعت ۱۸:۳۰ در ارتفاع ۵ سانتیمتری نه تنها افزایشی نداشته است بلکه به میزان ۰/۱ درجه سانتیگراد کاهش را نشان می‌دهد.

جدول ۲- اثر آبیاری در بعد از ظهر بر عوامل مختلف هواشناسی در ایستگاه پارک گیاهشناسی

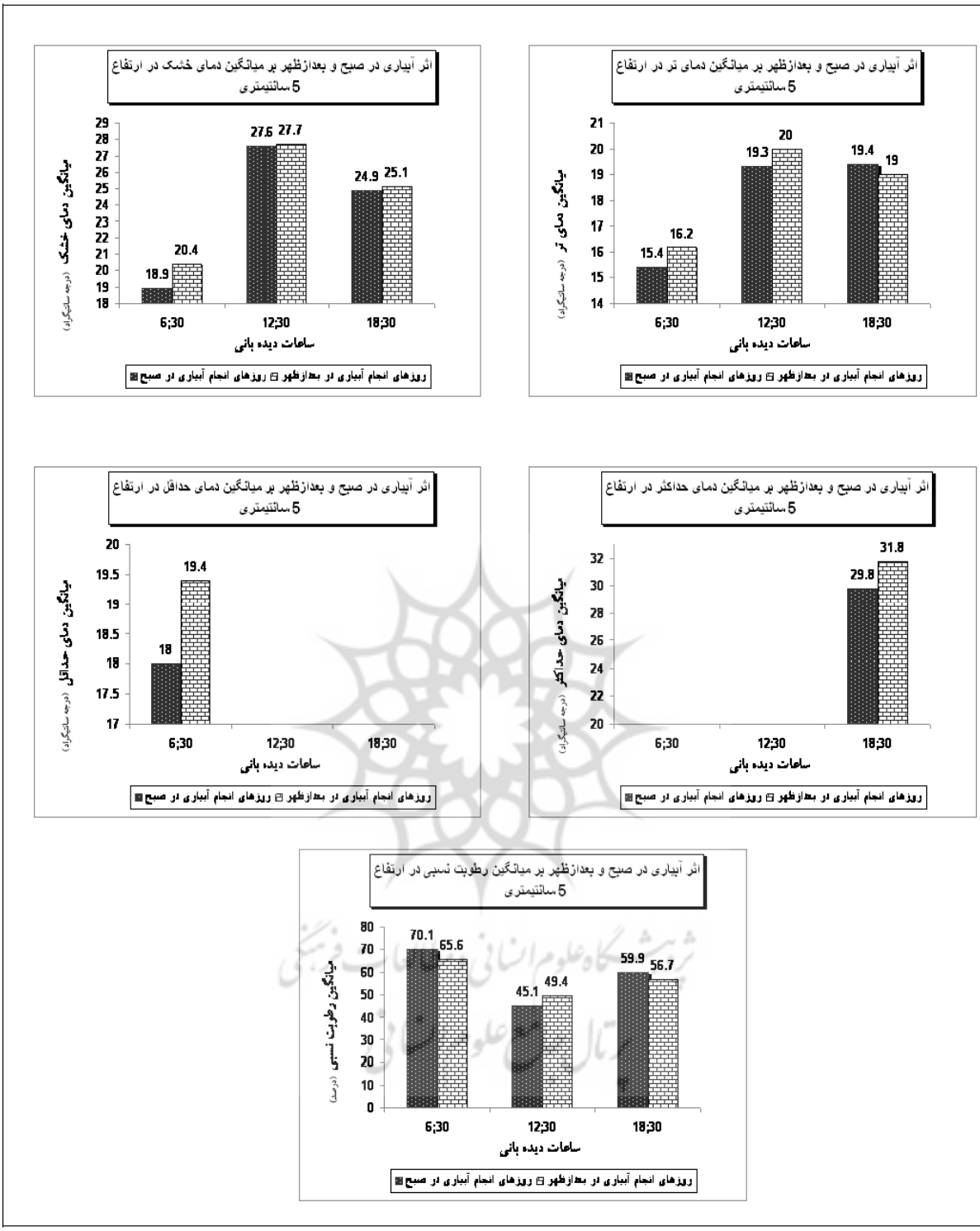
زمان آبیاری	عوامل هواشناسی	بیشترین اثر آبیاری بر ارتفاع	کمترین اثر آبیاری بر ارتفاع	ملاحضات	اثر کلی
بعد از ظهر ساعت ۱۳ تا ۱۶:۳۰	دمای خشک	۱۷۰cm و ۱۳۰cm به میزان ۰/۷℃ افزایش در ساعت ۰۶:۳۰ روز بعد	۵cm به میزان ۰/۳℃ افزایش در ساعت ۱۸:۳۰	هرچه فاصله از زمان آبیاری بیشتر گردد دمای خشک اثر بیشتری می‌پذیرد.	افزایش
	دمای تر	۱۳۰cm به میزان ۰/۴℃ کاهش در ساعت ۱۸:۳۰	۱۳۰cm به میزان ۰℃ در ساعت ۰۶:۳۰ روز بعد	هرچه فاصله از زمان آبیاری بیشتر گردد دمای تر اثر کمتری می‌پذیرد.[1]	کاهش
	دمای حداقل	۱۷۰cm به میزان ۱℃ افزایش در ساعت ۰۶:۳۰ روز بعد	۵cm به میزان ۰/۷℃ افزایش در ساعت ۰۶:۳۰ روز بعد	بطور کلی آبیاری بارانی باعث افزایش دمای حداقل شده است.	افزایش
	دمای حداکثر	۵cm به میزان ۰/۶℃ افزایش در ساعت ۱۸:۳۰	۱۳۰cm به میزان ۰℃ در ساعت ۱۸:۳۰	بطور کلی آبیاری بارانی باعث افزایش دمای حداکثر شده است.	افزایش
	رطوبت نسبی	۱۷۰cm به میزان ۴/۹ ٪ کاهش در ساعت ۰۶:۳۰ روز بعد	۵cm به میزان ۰/۳ ٪ کاهش در ساعت ۱۸:۳۰	هرچه فاصله از زمان آبیاری بیشتر گردد رطوبت نسبی اثر بیشتری می‌پذیرد.	کاهش

جدول ۳- اثر کلی آبیاری بارانی و تاثیر فاصله از زمان آبیاری بر عوامل مختلف هواشناسی در ایستگاه پارک گیاهشناسی[2]

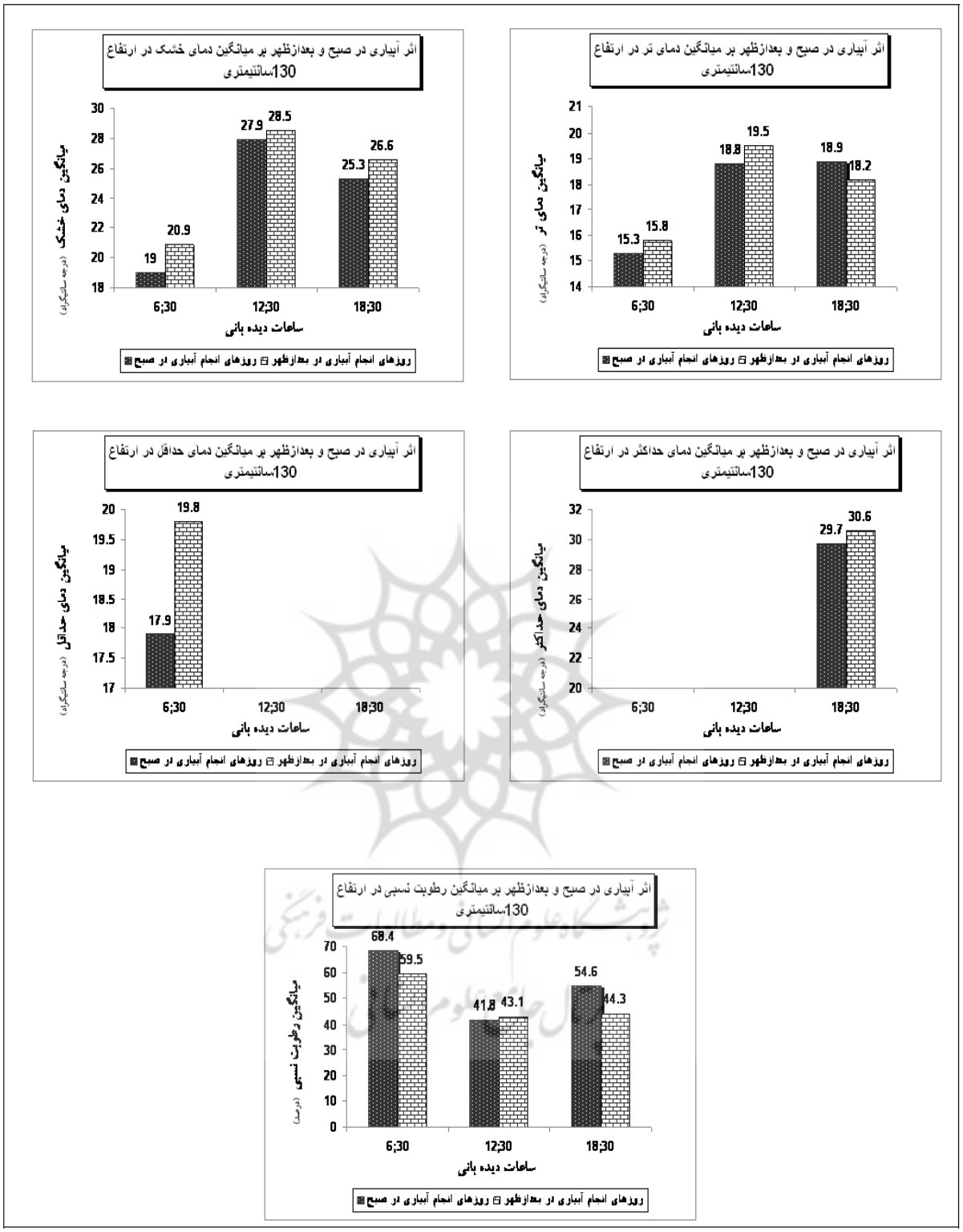
عوامل هواشناسی	تاثیر آبیاری در صبح بر عوامل هواشناسی	تاثیر آبیاری در بعد از ظهر بر عوامل هواشناسی	تاثیر فاصله زمانی پس از آبیاری بر عوامل هواشناسی	
			آبیاری در صبح	آبیاری در بعد از ظهر
دمای خشک	کاهش	افزایش	کمتر	بیشتر
دمای تر	افزایش	کاهش	بیشتر	کمتر
دمای حداکثر	کاهش	افزایش	-	-
رطوبت نسبی	افزایش	کاهش	بیشتر	بیشتر

[1] استثناء: دمای تر در ساعت ۱۸:۳۰ و ۰۶:۳۰ روز بعد در ارتفاع ۵ سانتیمتری نه تنها کاهشی نداشته است بلکه به میزان ۰/۱℃ افزایش را نشان می‌دهد.

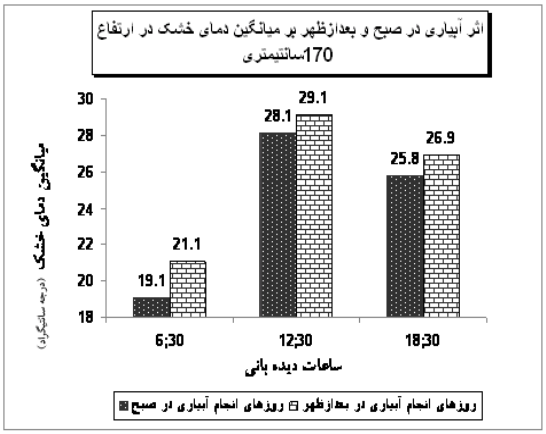
[2] در مورد دمای حداقل نمی‌توان اظهار نظری در جدول ۳ داشت زیرا در مورد آن فقط اثر آبیاری در بعد از ظهر وجود دارد.

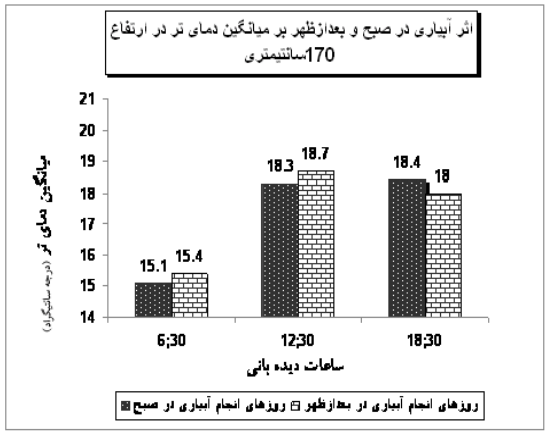


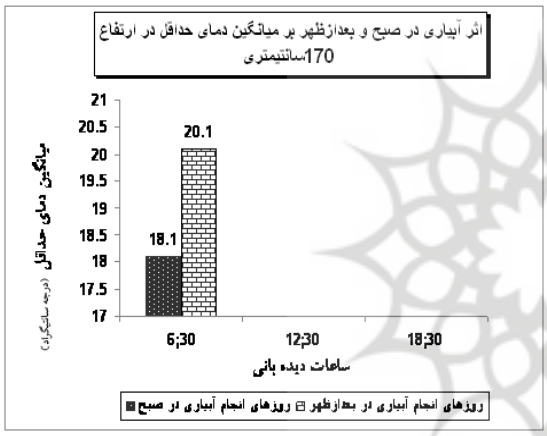
شکل ۳- اثر آبیاری در صبح (۸ تا ۱۱:۳۰) و بعد از ظهر (۱۳ تا ۱۶:۳۰) بر میانگین عوامل هواشناسی در ارتفاع ۵ سانتیمتری

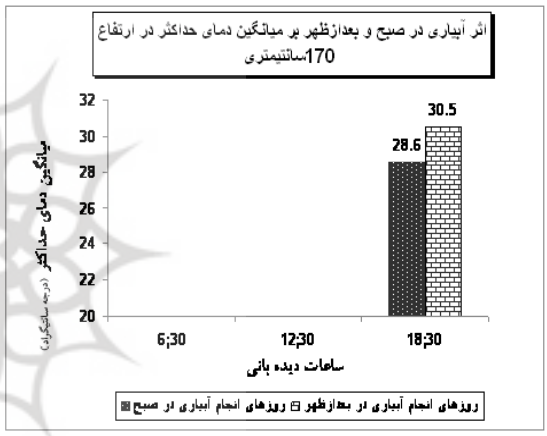


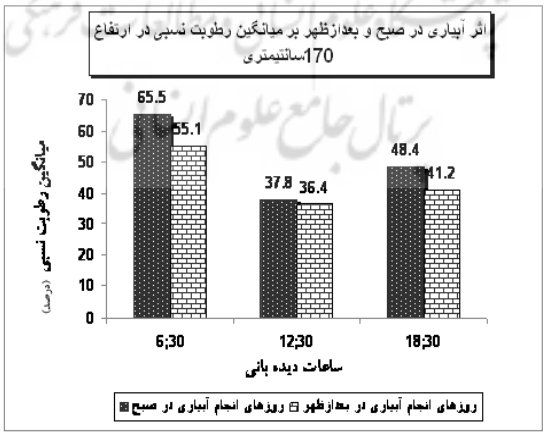
شکل ۴- اثر آبیاری در صبح (۸ تا ۱۱:۳۰) و بعد از ظهر (۱۳ تا ۱۶:۳۰) بر میانگین عوامل هواشناسی در ارتفاع ۱۳۰ سانتیمتری











شکل ۵- اثر آبیاری در صبح (۸ تا ۱۱:۳۰) و بعد از ظهر (۱۳ تا ۱۶:۳۰) بر میانگین عوامل هواشناسی در ارتفاع ۱۷۰ سانتیمتری

بحث و نتیجه گیری

نتایج پژوهش حاضر نشان داد که آبیاری بارانی در ساعات قبل ازظهر (۸ تا ۱۱:۳۰) باعث کاهش دمای خشک و دمای حداکثر می گردد اما دمای تر و رطوبت نسبی را افزایش می دهد. در حالی که آبیاری بارانی در ساعات بعدازظهر (۱۳ تا ۱۶:۳۰) باعث افزایش دمای خشک، دمای حداقل و حداکثر می گردد و رطوبت نسبی را کاهش می دهد.

همچنین با انجام آبیاری بارانی در صبح (۸ تا ۱۱:۳۰)، هرچه فاصله بین زمان آبیاری و زمان دیده بانی بیشتر گردد، تاثیر آبیاری بر دمای خشک کمتر شده اما بر دمای تر و رطوبت نسبی بیشتر می شود. در آبیاری بعدازظهر (۱۳ تا ۱۶:۳۰)، هرچه این بیشتر گردد، تاثیر آبیاری بر دمای خشک و رطوبت نسبی بیشتر می گردد اما اثر آن بر دمای تر کمتر می گردد.

بیشترین اثر آبیاری در صبح، بر دمای خشک در ارتفاع ۱۷۰ سانتیمتری از سطح و در ساعت ۱۲:۳۰ به وقت محلی (۳:۳۰+ گرینویچ) بوده و باعث کاهش ۱°C آن نسبت به میانگین روز های غیرآبیاری در همان ساعت شده است.

مطالعه اثر آبیاری بارانی بر عوامل مختلف هواشناسی در سه ارتفاع ۱۷۰، ۱۳۰ و ۵ سانتیمتری در پارک گیاهشناسی پردیس کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه تهران، نشان می دهد که میانگین دمای خشک، دمای حداقل و دمای حداکثر، در تمامی ساعات و ارتفاعات مختلف دیده بانی، در روزهایی که آبیاری در صبح انجام می‌گیرد کمتر از روزهایی است که آبیاری در بعد از ظهر انجام گرفته است.

منابع

۱- حیدری، مصطفی(۱۳۸۶): واکنش گیاهان به تنشهای محیطی، چاپ اول، تهران، انتشارات ارس رایانه.

۲- علیجانی، بهلول(۱۳۸۷): آب و هوای ایران، چاپ هشتم، تهران، انتشارات دانشگاه پیام نور.

3- Ayars, J.E., Hutmacher, R.B., Schoneman, R.A., Dettinger, D.R., (1991): Influence of cotton canopy on sprinkler irrigation uniformity. Trans. ASAE 34, 890–896.

4- Chen, Z., (1996): Analysis on agro-meteorological effect on mulberry field under sprinkler irrigation condition. J. Hangzhou Univ. (Nat. Sci. Div.) 23 (1), 92–99.

5- Dylla, A.S., Shull, H., (1983): Estimating losses from a rotatingboom sprinkler. Trans. ASAE 26, 123–125.

6- Frost, K.R., Schwalen, H.C., (1955): Sprinkler evaporation losses. Agric. Eng. 36, 526–528.

7- Kohl, K.D., Kohl, R.A., Deboer, D.W., (1987): Measurement of low pressure sprinkler evaporation loss. Trans. ASAE 30, 1071–1074.

8- Kohl, R.A., Wright, J.L., (1974): Air temperature and vapor pressure changes caused by sprinkler irrigation. Agron. J. 66, 85–87.

9- Li, J., Rao, M., (2003): Field evaluation of crop yield as affected by nonuniformity of sprinkler-applied water and fertilizers. Agric. Water Manage. 59, 1–13.

10- Li, J., Rao, M., (2000): Sprinkler water distributions as affected by winter wheat canopy. Irrig. Sci. 20, 29–35.

11- Liu, H.J., Kang, Y., Liu, W., (2004): Regulating field microclimate using sprinkler irrigation under dry-hot wind condition. In: Huang, G.H., Pereira, L.S. (Eds.), Land and Water Management, Proceedings of the Seventh Inter Regional Conference on Environment and Water, vol. I. China Agriculture Press, China, pp. 386–393.

12- Liu, H.J., Kang, Y., Liu, W., (2006): Effect of sprinkler irrigation on microclimate in the winter wheat field in the North China Plain. Agricultural water management. Artical in press.

13- Norman, J.M., Campbell, G., (1983): Application of plant environment model to problems in irrigation. In: Hillel, D. (Ed.), Advance in Irrigation, vol. 2. Academic Press, New York, pp. 155–188.
14- Steiner, J.L., Kanemasu, E.T., Clark, R.N., (1983): Spray losses and partitioning of water under a center pivot sprinkler system. Trans. ASAE 20, 1128–1134.
15- Tarjuelo, J.M., Ortega, J.F., Montero, J., DeJuar, J.A., (2000): Modeling evaporation and drift losses in irrigation with medium size impact sprinklers under semi-arid conditions. Agric. Water Manage. 43, 263–284.
16- Thompson, A.L., Gilley, J.R., Norman, J.M., (1993a): A sprinkler water droplet evaporation and plant canopy model: I. Model development. Trans. ASAE 36, 735–741.
17- Thompson, A.L., Gilley, J.R., Norman, J.M., (1993b): A sprinkler water droplet evaporation and plant canopy model: II. Model application. Trans. ASAE 36, 743–750.
18- Thompson, A.L., Martine, D.L., Norman, J.M., Tolk, J.A., Howell, T.A., Gilley, J.R., Schneider, A.D., (1997): Testing of a water loss distribution model for moving sprinkler system. Trans. ASAE 40, 81–88.
19- Tolk, J.A., Howell, T.A., Steiner, J.L., Krieg, D.R., (1995): Role of transpiration suppression by evaporation of intercepted water in improving irrigation efficiency. Irrig. Sci. 16, 89–95.
20- Walter, L.T., (1988): Sprinkler evaporation loss equation. J. Irrig. Drain. Eng. ASCE 113, 616–620.
21- Washington, L.C.S., Larry, G.J., (1988a): Modeling evaporation and microclimate changes in sprinkler irrigation: 1. Model formulation and calibration. Trans. ASAE 31, 1481–1486.
22- Washington, L.C.S., Larry, G.J., (1988b): Modeling evaporation and microclimate changes in sprinkler irrigation: 2. Model assessment and application. Trans. ASAE 31, 1487–1493.
23- Yang, X., Chen, F., Gong, F., Song, D., (2000): Physiological and ecological characteristics of winter wheat under sprinkler irrigation condition. Trans. Chin. Soc. Agric. Eng. 16 (3), 35–37.

پژوهشگاه علوم انسانی و مطالعات فرهنگی
پرتال جامع علوم انسانی