

ارزیابی چند مدل تجربی برآورد طول دوره خیزی سطح برگ

نوذر قهرمان^{۱*} و آذر صحرانگرد

دانشیار گروه مهندسی آبیاری و آبادانی دانشگاه تهران؛ nghahreman@ut.ac.ir

دانش آموخته هواشناسی کشاورزی دانشگاه تهران؛ sahraazar@ut.ac.ir

چکیده

طول دوره خیزی برگ (Leaf Wetness Duration) یک پارامتر هواشناسی تأثیرگذار در بیلان آبی گیاه است. وجود آب بر روی سطوح گیاهی ناشی از عوامل مختلف مانند بارندگی، شبنم و غیره نتیجه برهم کنش‌های موجود بین جو و تاج پوشش گیاه است و تداوم خیزی برگ بستگی به خصوصیات برگ و تاج پوشش گیاه دارد. این متغیر به وسیله حسگرهای الکترونیکی موجود قابل اندازه‌گیری است اما به این دلیل که اندازه‌گیری آن دشوار است روش‌های مختلفی برای برآورد آن با استفاده از داده‌های هواشناسی توسعه پیدا کرده است. از میان مدل‌های مختلفی که برای برآورد LWD استفاده می‌شود مدل‌های تجربی با وجود محدودیت‌ها کاربرد گسترده‌ای دارند. هدف این مطالعه، مقایسه دو مدل تجربی بر مبنای کاربرد رطوبت نسبی در برآورد LWD در ایستگاه کشاورزی پالیز خورشید استان فارس است. ساده‌ترین مدل تجربی تنها از رطوبت نسبی استفاده می‌کند زمانی که رطوبت نسبی از یک آستانه معین بیشتر شود خیزی رخ می‌دهد بر اساس مطالعات مختلف در شرایط مختلف و برای گیاهان مختلف آستانه ۸۷٪ برای این منظور تعیین گردیده است. عموماً مدل‌های تجربی زمانی که آستانه‌های رطوبتی برای منطقه یا ایستگاه مورد نظر اصلاح و بهینه شوند، عملکرد بهتری دارند بنابراین این آستانه برای سایت مورد نظر اصلاح گردید و به عنوان آستانه بهینه معرفی شد. در این تحقیق مدل آستانه رطوبتی بهینه نسبت به مدل آستانه رطوبتی توسعه یافته و مدل آستانه رطوبتی در حالی که آستانه بهینه سازی نشده بود برای هر دو فصل گرم و سرد در ایستگاه مورد نظر نتایج بهتری ارائه داد.

واژه‌های کلیدی: رطوبت نسبی، حسگر خیزی سطح برگ، مدل تجربی

مقدمه

وجود یا عدم خیزی و مدت زمان تداوم آن به عنوان اولین مسئله در شناسایی این مناطق مهم است. در مراحل بعدی می‌توان به مسائلی همچون نرخ تراکم بخار آب، محتوای بخار آب در جو و میزان شبنم ایجاد شده پرداخت. در غیاب بارندگی و آبیاری، بویژه در مناطق خشک و نیمه خشک سه مکانیسم اصلی وجود دارد که توسط آنها مقداری آب به بالاترین لایه خاک اضافه می‌شود که شامل جذب مه، شکل‌گیری شبنم و جذب مستقیم بخار آب از جو است (آگام و همکاران، ۲۰۰۶).

بخار آب موجود در هوا در صورت تراکم می‌تواند به عنوان یک منبع آبیاری در مقیاس کوچک مورد استفاده قرار گیرد. تأثیر آب ایجاد شده بر تاج پوشش گیاه و خاک در غیاب بارندگی به ویژه در مناطق خشک و نیمه خشک بسیار حائز اهمیت است. در برخی از این مناطق میزان شبنم‌نشینی حتی از مقدار بارندگی تجاوز نموده تا حدی که به عنوان یک منبع آبی قابل استفاده می‌تواند نیازهای آبی گیاه را مرتفع سازد. بنابراین یافتن مناطق دارای پتانسیل با تشخیص پارامتر

^۱ آدرس نویسنده مسئول: کرج - پردیس کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه تهران، گروه مهندسی آبیاری و آبادانی کدپستی ۳۱۵۸۷۷۷۸۷۱

* دریافت: تیر، ۱۳۹۱ و پذیرش: اردیبهشت، ۱۳۹۲

در بسیاری از نقاط، وضعیت توپوگرافی و شرایط حاکم بر پارامترهای هواشناسی به گونه‌ای است که علی‌رغم خشکی و کم بارانی منطقه، معمولاً در قله کوه‌ها به صورت دائمی مه و ابرهای قله‌ای مشاهده می‌شود. مشاهدات نشان داده است که گیاهان و بوته‌هایی که از ارتفاع مناسبی برخوردار هستند، می‌توانند با عمل تراکم قطره‌های موجود در مه و ابرهای قله‌ای را جمع کرده و مورد استفاده قرار دهند. برای مثال از دو درخت زیتون کوچک مجاور هم در ناحیه ظفار عمان در سال ۱۹۸۹، به طور متوسط ۸۶۰ لیتر در روز برای یک دوره ۷۹ روزه، آب استحصال شد. این درختان در یک محیط بادخیز قرار گرفته بودند و مرتباً در معرض مه و باران ریزه قرار داشتند. درختان موجود در ناحیه ظفار مقدار آب بیش از حد نیاز خودشان را در این محیط مرطوب تولید کردند و رواناب سطحی قابل ملاحظه‌ای نیز در زیر این درختان دیده شد. سرعت سقوط قطره‌های مه آنقدر کم است که در هنگامی که بادهای خیلی آرام می‌وزند، حرکت قطره‌ها تقریباً افقی است و این بدین معنی است که یک سطح قائم می‌تواند مناسب‌ترین جمع‌کننده قطره‌های آب مه در چنین ناحیه‌ای باشد. مشاهدات نشان داده است که درختان سبز با ارتفاع و آرایش مناسب، می‌توانند جمع‌کننده‌های خوبی باشند. با استفاده از اطلاعات هواشناسی بویژه در مناطقی که تداوم خیزی طولانی دارند می‌توان نقاط دارای این پتانسیل را شناسایی کرد و آنها را به آب شیرین و گوارا تبدیل نمود. بعد از پتانسیل سنجی رطوبت هوا و محاسبه نقطه شبنم در طرح استحصال، سیستم جمع‌کننده مه و رطوبت هوا ضروری است.

همانگونه که ذکر شد شبنم یکی دیگر از عوامل ایجادکننده خیزی است. با شکل‌گیری شبنم در طول شب و قرار گرفتن قطرات آب بر روی برگ‌های گیاه، بعد از طلوع آفتاب روزه‌ها باز می‌شوند و گیاه بدون هیچ محدودیتی به دلیل مقاومت روزه‌ای پایین، شروع به جذب رطوبت می‌نماید که این موضوع به رشد گیاه کمک می‌کند. در حقیقت فرآیند شبنم نشینی سبب می‌شود کمبود

فشار بخار در اطراف قطرات شبنم کاهش یافته و منجر به بازماندن روزه‌ها و انجام فرآیند فتوسنتز گردد. با وجود اینکه میزان آب ایجاد شده در فرآیند شبنم نشینی، بسیار اندک است اما بعد از یک تلفات آبی شدید، نقش مهمی در بازیابی محتوای آبی گیاه دارد (اسلاتیر، ۱۹۶۷).^۱ سطح خاک زنده نیز در زمان جذب خالص دی اکسید کربن توسط پوسته خاک می‌تواند یک فاز نسبتاً طولانی فتوسنتز را از یک منبع کم رطوبتی در ساعات اولیه صبح فراهم کند (لانگ و همکاران، ۱۹۹۲).^۲ به طور کلی مطالعات مربوط به شبنم نشینی از دو جهت حائز اهمیت است یکی طول دوره شبنم‌نشینی و دیگری مقدار آب حاصل از شبنم که سیستم خاک و گیاه می‌تواند طی این فرآیند کسب کند. از گذشته دستگاه‌های متعددی برای اندازه‌گیری مقدار خیزی توسعه پیدا کرده است برخی از آنها طول دوره خیزی را اندازه‌گیری می‌کنند و برخی دیگر مقدار آن را و دستگاه‌هایی نیز وجود دارند که هر دو پارامتر را باهم در نظر می‌گیرند. اندازه‌گیری طول مدت خیزی وابسته به پاسخی است که حسگر به میزان تغییر وزن، طول و یا مقاومت الکتریکی در مقابل نشست رطوبت می‌دهد. پدرو گیلسپای (۱۹۸۲)^۳ با استفاده از شبکه‌های مقاومت الکتریکی طول مدت خیزی ثبت شده را نزدیک به برگ واقعی مجاور آن شبیه‌سازی کردند. در مطالعات دیگری حسگرهای ساخته شده از صفحات طلا مورد استفاده قرار گرفتند (کیدرون و همکاران، ۲۰۰۰).^۴ به دلیل دقت نسبتاً زیاد این حسگرها در ثبت طول مدت شبنم نشینی، نمونه‌های متعددی از آنها توسعه پیدا کردند.

اما روش‌های اندازه‌گیری مقدار شبنم‌نشینی کاملاً متفاوت است. روش‌ها و تکنیک‌های اندازه‌گیری شبنم از سال ۱۹۶۵ بر پایه سه رهیافت اصلی استوار بوده‌اند: لایسیمترهای وزنی، دستگاه توزین شبنم و بلوک‌های Duvdevani (بلوک‌های نوری) که به همین منظور ساخته شده‌اند. از

1. Slatyer

2. Lange

3. Pedro & Gillespie

4. Kidron

در اوایل صبح تبخیر می‌شود یک چرخه روزانه آبی در بالاترین لایه خاک ایجاد می‌کند. این چرخه تحت تاثیر تبدلات شار حرارت نهان تبخیر بین خاک و جو است و بر بیلان انرژی در سطح خاک تاثیر می‌گذارد. بیلان انرژی سطح خاک نقش مهمی در مطالعات خرد اقلیمی ایفا می‌کند که اطلاعات اندکی به صورت روزانه از جزئیات این متغیر وجود دارد. در فقدان این اطلاعات شار حرارت نهان را ساده‌تر می‌توان محاسبه کرد. هر چند که مقدار آب حاصل از شب‌نم بر روی تاج پوشش گیاهی و سطح خاک بسیار متفاوت است اما چرخه ایجاد شده بین گیاه، خاک و جو می‌تواند بر تعادل آبی گیاه بسیار تاثیر گذار باشد. و محاسبه مقدار و طول مدت خیسی ناشی از هر عاملی به غیر از بارندگی بویژه در مناطق خشک و نیمه خشک بسیار کمک کننده است.

جذب مستقیم بخار آب توسط خاک نیز زمانی رخ می‌دهد که دمای سطح بالاتر از دمای نقطه شب‌نم باشد و رطوبت نسبی منافذ خاک کمتر از رطوبت نسبی دمای هوا باشد.

طول دوره خیسی برگ (LWD) دوره زمانی است که قطرات آب حاصل از شب‌نم، بارندگی، مه و یا آبیاری بر سطوح گیاهان حضور دارند. تامپسون^۳ (۱۹۸۱) گزارش کرد که بعد از وقوع بارندگی یا رخداد شب‌نم تا زمانی که رطوبت نسبی بالاتر از ۹۰ درصد باشد برگ‌ها خیسی باقی می‌مانند همچنین، یک مدل چند لایه‌ای برای تاج پوشش‌های گیاهی ارائه داد. این مدل بر مبنای کاربرد معادله پنمن-مانتیت برای تعدادی از لایه‌های افقی تاج پوشش محصول بود. متغیرهای مورد نیاز معادله پنمن-مانتیت در این مدل شامل تابش، شار حرارتی خاک، دمای هوا، رطوبت و سرعت باد بودند که برخی از آنها به راحتی در ایستگاه‌های هواشناسی قابل دسترس نبودند. پدرو و گیلپسای (۱۹۸۲) تداوم شب‌نم نشینی را با استفاده از داده‌های خرد اقلیمی هواشناسی برای سه تاج پوشش مختلف محصولات زراعی با استفاده از یک

میان این سه روش تنها لایسیمتر است که می‌تواند فرآیند جذب را نیز نشان دهد دو روش دیگر به این دلیل که فرآیند تراکم بر روی سطوح مصنوعی صورت می‌گیرد قادر به ثبت آن نیستند. اما روش‌هایی نیز وجود دارد که مقدار و مدت شب‌نم‌نشینی را به طور همزمان ثبت می‌کند. برای این کار روشی برای اندازه‌گیری تداوم لازم است. یک نمونه دستگاه ثبت کننده شب‌نم مدل Kessler-Fuel است که شامل یک صفحه آلومینیومی سیاه رنگ مخروطی است که مدت و مقدار شب‌نم را همزمان ثبت می‌کند (نافسینگر، ۱۹۶۵)^۱.

اساساً شب‌نم در مرز بین جو و سطوح طبیعی مانند خاک لخت، تاج پوشش گیاهان و سنگ‌ها رخ می‌دهد پس باید برای محاسبه مقدار آن فرآیندهای انتقال انرژی در هر دو مرز مورد توجه قرار گیرد. در این زمینه دو رهیافت، یکی معادلات انتقال انرژی و دیگری محاسبه شار حرارت نهان در جو مورد توجه است. مقایسه مقادیر بدست آمده از این مدل‌ها با داده‌های لایسیمتری نتایج قابل قبولی ارائه داده است. در اکوسیستم‌های طبیعی عوامل متعددی تعیین می‌کنند که آیا شب‌نم تشکیل خواهد شد یا نه؟ تبدلات تابشی بین سطح زمین و جو، تلاطم حرارت و انتقال بخار آب در لایه مرزی پایین‌تر و در تاج پوشش گیاهی در صورت وجود و انتقال حرارت و بخار آب در لایه زیرین خاک از جمله این عوامل هستند (آتزما و همکاران، ۱۹۹۰)^۲. تراکم طبیعی رطوبت جو با دو شرایط متضاد جوی در ارتباط است. برای نشست شب‌نم، سرد شدن تابشی سطح نیاز است. نرخ سرد شدن بستگی به قابلیت نشر آسمان دارد که به نوبه خود بستگی به میزان بخار آب موجود در جو داشته باین معنی که غلظت بخار کمتر، سرد شدن تابشی بیشتر و نهایتاً نرخ بالاتری از شکل‌گیری شب‌نم را به دنبال دارد (آگام، ۲۰۰۶). از آنجائیکه شب‌نم پدیده فیزیکی است که تحت تاثیر بیلان انرژی بین خاک، گیاه و جو است به نظر می‌رسد که یک منبع مهم انتقال انرژی به ویژه در اوایل صبح است. در خاک لخت، شب‌نم شبانه که

¹. Noffsinger

². Atzema

³. Thompson

تکنیک بیلان انرژی در ترکیب با تئوری انتقال حرارت با استفاده از یک حسگر صفحه تخت برآورد کردند. تداوم شبنم نشینی حدود ۳۰ دقیقه در برگ‌های در معرض نور کمتر از برگ‌های سایه دار بود.

مادریا^۱ و همکاران (۲۰۰۰) برای برآورد رخدادهای شبنم از روش آنالیز بیلان انرژی استفاده کردند آنها با دو روش متفاوت مقدار تابش طول موج بلند به سمت پایین را محاسبه کردند. در روش اول با استفاده از داده‌های پوشش ابر و ارتفاع ابر دمای آسمان را محاسبه کردند و در روش دوم تنها از داده پوشش ابر برای برآورد قابلیت نشر آسمان استفاده نمودند. این مدل‌ها به ترتیب در ۹۱٪ و ۸۸٪ موارد رخداد شبنم را به درستی پیش‌بینی کرده بود.

به طور کلی عدم قطعیت‌های زیادی در مدل‌های برآورد خیزی سطح برگ و تداوم آن وجود دارد. آنالیز حساسیت رهیافت شبیه‌سازی شبنم‌نشینی پیشنهاد پدرو و گلسپای (۱۹۸۲) نشان می‌دهد که حساسیت هر متغیری تا حد زیادی بستگی به مقادیر متغیرهای دیگر دارد بنابراین از نظر زمانی و مکانی بسیار تغییر پذیر است. این متغیر تابعی از خرد اقلیم گیاه است و از عواملی مانند سطح برگ، ساختار گیاه، سیستم کشت یا نحوه قرار گرفتن گیاهان در مزرعه، ارتفاع محصول، عوامل هواشناسی و بسیاری از عوامل دیگر تأثیر می‌پذیرد. عوامل ذکر شده بر میزان جذب تابش و بیلان آن تأثیر می‌گذارند و تعیین کننده مقادیر دما، رطوبت و رژیم‌های باد درون تاج پوشش محصول هستند. متغیرهای خرد اقلیمی که هدایت‌کننده فرآیندهای تراکم و تبخیر آب بر سطوح گیاهی هستند تداوم خیزی را کنترل می‌کنند و در زمان‌های مختلف به بخش‌های مختلف برگ‌ها و تاج پوشش اجازه می‌دهند خیس و یا خشک باشند.

خیزی سطح معمولاً بوسیله حسگرهای الکترونیکی اندازه‌گیری می‌شود که برای این کار به‌بایستگاه خودکار هواشناسی در محل نیاز است اما حتی در صورت وجود این ایستگاه‌ها LWD به ندرت در آنها اندازه‌گیری

می‌شود و زمانیکه اندازه‌گیری‌های LWD در ایستگاه‌های هواشناسی قابل دسترس است اغلب به دلیل فاصله مکان مورد نظر از ایستگاه هواشناسی و به علت قابلیت تغییرپذیری مکانی رخدادهای خیزی اندازه‌گیری‌های متغیر مورد نظر قابل استناد نیستند و خیزی را در محل به خوبی نشان نمی‌دهند. روش‌های شبیه‌سازی خیزی سطح، رویکردی قابل قبول برای برآورد متغیر تداوم خیزی برگ هستند. مدل‌ها به دو شاخه تجربی گلیسن^۲ و همکاران (۱۹۹۴) و فیزیکی پدرو و گلسپای (۲۰۰۶) بر مبنای معیارهای کشاورزی و هواشناسی تقسیم بندی شده‌اند. بعد از این مدل‌ها، تلاش‌هایی برای ایجاد رهیافت‌های ترکیبی مانند شبکه عصبی مصنوعی و منطق فازی (سو کیم و همکاران^۳، ۲۰۱۰) که از اصول فیزیکی در ترکیب با مدل‌های تجربی استفاده می‌کنند صورت گرفته است.

مدل‌های فیزیکی بر مبنای اصول بیلان انرژی هستند. انرژی قابل دسترس برای فرآیندهای تبخیر و تراکم توسط داده‌های تابش خالص و پوشش ابر برای اندازه‌گیری شار حرارت نهان و محسوس محاسبه می‌شوند. این مدل‌ها می‌توانند بسیار دقیق و دارای قابلیت انتقال به مناطق اقلیمی و جغرافیایی مختلف باشند اما محدودیتهایی برای این مدل‌ها وجود دارد. مدل‌های فیزیکی به متغیرهای ورودی مانند پوشش ابر، که بر مبنای مشاهدات عینی و همراه با خطا می‌باشد نیاز دارند.

مدل‌های تجربی می‌توانند LWD را با استفاده از روابط ساده این متغیر با پارامترهای اندازه‌گیری شده در ایستگاه‌های هواشناسی کشاورزی استاندارد شبیه‌سازی کنند. موفقیت این مدل‌ها بستگی به دقت داده‌های هواشناسی استفاده شده به عنوان ورودی دارد و این مدل‌ها نسبت به مدل‌های فیزیکی بیشتر وابسته به محلی هستند که برای آن توسعه پیدا کرده‌اند. این مدل‌ها عموماً شامل مقادیر آستانه برای یک یا چندین متغیر وابسته هستند که این مقادیر آستانه از مکانی به مکان دیگر تغییر

². Gleason

³. S00 Kim

¹. Maderia

استان فارس، دهستان سیاخ، روستای کدنگ در عرض جغرافیایی ۲۹ درجه و ۳۶ دقیقه و طول جغرافیایی ۵۲ درجه و ۳۰ دقیقه در ارتفاع ۱۷۲۲ متر از سطح دریا قرار گرفته است. درختان کشت شده در سایت مورد تحقیق شامل گردو، سیب گلاب و زردآلو در سه قسمت به عنوان کشت اصلی است و فاصله‌های درختان اصلی با گونه‌های مناسب آلو، هلو و آلبالو، کشت شده است. سیستم آبیاریاز نوع قطره ای است. ضمناً در بین درختان از گیاه پوششی یونجه استفاده شده است.

در شکل (۱) میزان دمای نقطه شبنم و دمای هوا، در شکل (۲) فراوانی بارندگی و در نمودار (۱) فراوانی شبنم شینی در دوره‌های آماری مورد استفاده در این تحقیق، در سال‌های ۲۰۰۷ و ۲۰۰۸ (در ماه‌هایی که آمار موجود بوده است) نشان داده شده است.

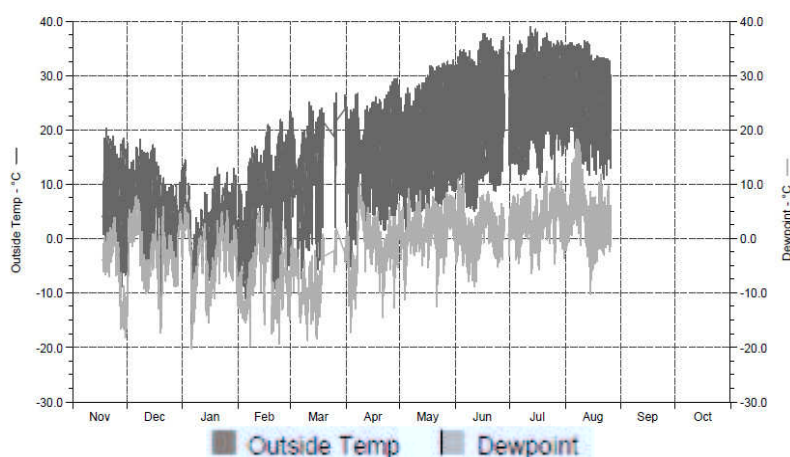
کرده و نیاز به بهینه‌سازی برای شرایط مختلف محلی دارند.

هدف این مطالعه، ارزیابی و مقایسه دو مدل تجربی در برآورد تداوم خیسی برگ و شبنم نشینی درمقایسه با حسگر اندازه‌گیری خیسی برگ خودکار در ایستگاه پالیز خورشید واقع در یک مزرعه تحقیقاتی در استان فارس است.

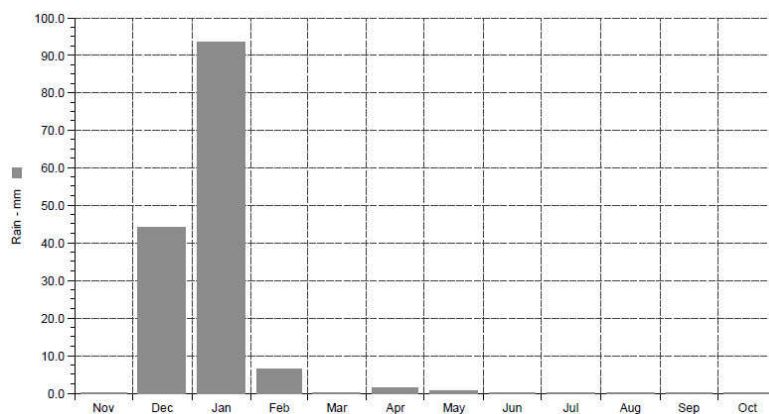
مواد و روش‌ها

منطقه مطالعاتی

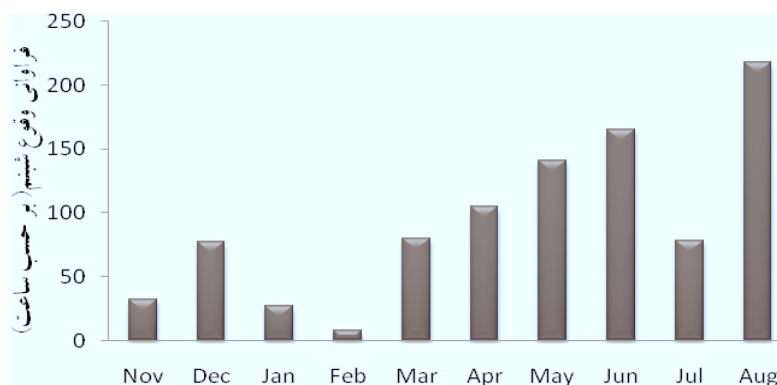
در انجام این طرح، داده‌های هواشناسی در مقیاس ساعتی در سایت مجهز به ایستگاه هواشناسی خودکار واقع در استان فارس، ایستگاه پالیز خورشید به همراه متغیر تداوم خیسی برگ و طول دوره شبنم‌نشینی جمع آوری گردید. ایستگاه مورد نظر در بخش مرکزی



شکل ۱- دمای نقطه شبنم و دمای هوا در دوره آماری مورد بررسی (از نوامبر ۲۰۰۷ تا اگوست ۲۰۰۸)



شکل ۲- فراوانی بارندگی ماهانه در دوره آماری مورد بررسی (از نوامبر ۲۰۰۷ تا اگوست ۲۰۰۸)



نمودار ۱- فراوانی وقوع شبنم در دوره آماری ۲۰۰۷ و ۲۰۰۸

همکاران^۴ (۲۰۰۴) در یک مزرعه کتان در برزیل نشان دادند که برآوردهای تداوم خیزی از مدل‌های ساده آستانه رطوبتی بر مبنای رطوبت نسبی می‌تواند بسیار دقیق‌تر از بسیاری از مدل‌های پیچیده فیزیکی باشد. در این مطالعه، ابتدا از یک مقدار آستانه رطوبتی برابر و بزرگتر از ۸۷٪ پیشنهاد ویچینگ کرویت و همکاران^۵ (۲۰۰۸) استفاده شد و سپس یک آستانه بهینه برای ایستگاه مورد نظر ارائه گردید.

۲- مدل آستانه ثابت رطوبتی توسعه یافته

این مدل که یک روش توسعه یافته نزدیک به روش آستانه رطوبت نسبی است و RH-EXT نامیده می‌شود، اولین بار توسط ویچینگ کرویت و همکاران (۲۰۰۴) تشریح شد. این تخمین بر مبنای آستانه رطوبت نسبی، ۸۷٪ است که بیشتر از این آستانه برگ‌ها خیس فرض می‌شوند. وقتی RH کمتر از ۷۰٪ است فرض می‌شود که برگ‌ها خشک‌اند برای RH بین ۷۰ و ۸۷٪ اگر RH یک افزایش سه درصدی در ۳۰ دقیقه داشت برگ‌ها خیس و با کاهش دو درصدی در ۳۰ دقیقه برگ‌ها خشک فرض می‌شوند. تداوم خیزی برگ تعداد ساعات بین ساعت ۱۳ روز n ام و ۱۲ روز n+1 ام است که مدل حضور خیزی را برآورد می‌کند.

آنالیز آماری داده‌ها

حسگر استفاده شده برای اندازه‌گیری طول دوره‌های خیزی و شبنم‌نشینی حسگر شرکت Scientific Campbell می‌باشد. این حسگر برگ مانند قادر است کوچکترین مقادیر آب یا یخ را بر روی سطح خود ثبت کند و اندازه‌گیری‌های خود را به وسیله ثبت تغییرات ثابت دی الکتریک انجام می‌دهد. این دستگاه طوری طراحی شده است که هم در تاج پوشش و هم بر روی دکل‌های هواشناسی قابل نصب است و با انواع دیتالاگرهای شرکت کمبل قابلیت انطباق دارد. در سایت آزمایشی مورد نظر حسگر بر روی درختان نصب شده است. به منظور آماده‌سازی داده‌ها، کنترل کیفی بر روی داده‌ها انجام گردید و داده‌های ناهمخوان با سایر داده‌ها حذف شد.

تشریح مدل‌ها

۱- مدل آستانه ثابت رطوبتی

در این روش که با عنوان آستانه ثابت RH نامیده می‌شود فرض می‌شود که LWD برابر با تعداد ساعاتی است که رطوبت نسبی بزرگتر یا مساوی با یک آستانه ثابت است. فان جارسولد^۲ (۲۰۰۴) از یک مقدار آستانه ۸۷ درصدی در یک مدل انتقال اتمسفری در هلند استفاده کرد. این مقدار در ابتدا از اندازه‌گیری‌های خیزی در جنگل‌های سپیدار نشأت گرفت و بعداً برای همه انواع گیاهان به کار گرفته شد. رائو و همکاران^۳ (۱۹۹۸) با برآورد LWD در مزرعه ذرت در کانادا و سنت‌لهاس و

⁴. Sentelhas
⁵. Wichink Kruit

¹. Datalogger
². Van Jaarsveld
³. Rao

که در روابط فوق:

$$LWD = P_i \text{ برآورد شده}$$

$$LWD = O_i \text{ اندازه گیری شده}$$

$$O_m = \text{میانگین } LWD \text{ اندازه گیری شده}$$

$$N = \text{تعداد کل داده ها}$$

شاخص های ارزیابی مقایسه ساعتی

برای مقایسه مقادیر اندازه گیری شده و برآورد شده مدل، از یک روش آنالیز آماری داده (ویلکز، ۱۹۹۵) استفاده می شود. این روش بینش درستی به کاربر می دهد تا بتواند تشخیص دهد مدل استفاده شده توانسته رخدادهای خیسی را به درستی پیش بینی کند یا نه. این جدول که به جدول وابستگی^۷، (جدول ۱) معروف است یک جدول ۲x۲ با چهارگروه مختلف است. مطابق جدول (۱) وقتی پیش بینی ها درست هستند دو وضعیت مختلف پیش می آید یکی موفقیت (hit) در این حالت هم مدل و هم داده های مشاهداتی رخداد خیسی را پیش بینی می کنند حالت دیگر، زمانی است که مدل عدم وجود خیسی را بدرستی پیش بینی کرده است (correct rejection) و دو حالت دیگر مربوط به زمانی است که پیش بینی ها نادرست هستند، یکی زمانی است که مدل خیسی را پیش بینی کرده اما خیسی رخ نداده است (False alarm) و در حالت (Miss) مدل خیسی را پیش بینی نکرده اما خیسی رخ داده است. یک سیستم پیش بینی بی عیب تنها قسمت (a) hit و (d) correct rejection را دارد و سلول های دیگر آن (b) و (c) صفر هستند. با ترکیب چهار کلاس مختلف این جدول، امتیازهای آماری مختلفی را می توان محاسبه کرد که ما را قادر می سازد تا در مورد کارائی مدل قضاوت کنیم. امتیازهای آماری به کار گرفته شده بطور خلاصه در ادامه ارائه شده است.

در این تحقیق مقادیر برآورد شده LWD از مدل های مختلف به دو روش مورد تحلیل و بررسی قرار گرفته است:

۱- مقایسه روزانه LWD برآورد شده با LWD مشاهده شده به وسیله آنالیز رگرسیونی

۲- مقایسه ساعتی LWD برآورد شده با LWD مشاهده شده به وسیله جدول توافق ویلکز^۱ (۱۹۹۵)

شاخص های ارزیابی مقایسه روزانه

پس از بدست آوردن مقادیر برآورد شده LWD توسط مدل های ذکر شده، برای مقایسه روزانه مقادیر برآورد شده با مقادیر مشاهده شده از چندین شاخص ارزیابی استفاده گردید. ضریب تبیین (R²) که دقت برآوردها را نسبت به مقادیر اندازه گیری شده نشان می دهد، شاخص توافق ویلمت^۲ و همکاران^۳، (D) ۱۹۸۵ از دامنه صفر (بدون توافق) تا یک (با توافق کامل) که میزان درستی و صحت برآوردها (۱) را نشان می دهد. شاخص اطمینان (C) (کامارگو^۳ و سنتلهاس، ۱۹۹۷) (۲) یک شاخص متداول برای ارزیابی توأمان دقت و صحت مدل است. دامنه این شاخص نیز بین صفر تا یک است. متوسط خطا (ME)^۴ که جهت تمایل خطا را (۳) تشریح می کند، میانگین خطای مطلق (MAE)^۵ که بزرگی میانگین خطا (۴) را نشان می دهد و ماکزیمم خطای مطلق (MAXE)^۶ مقدار ماکزیمم خطا (۵) را نشان می دهد..

(۱)

$$D = 1.0 - \left\{ \frac{\sum(O_i - P_i)^2}{\sum(P_i - O_m \parallel O_i - O_m)^2} \right\}$$

$$C = D\sqrt{R^2} \quad (۲)$$

$$ME = \frac{\sum(P_i - O_i)}{N} \quad (۳)$$

$$MAE = \frac{\sum(P_i - O_i)}{N} \quad (۴)$$

$$MAXE = \text{MAX}(|P_i - O_i|) \quad (۵)$$

1. Wilks

2. Willmott

3. Camargo

4. Mean Error

5. Mean Absolute Error

6. Maximum Error

7. Contingency

جدول ۱- جدول وابستگی بین مشاهدات و مدل تداوم خیزی سطح برگ

	خیزی مشاهدات	عدم خیزی مشاهدات	
خیزی مدل	Hit (a)	False Alarm (b)	Pm
عدم خیزی مدل	Miss (c)	Correct Rejection (d)	1-Pm
	Po	1-Po	n

Pm: رخدادهای مدل، Po: رخدادهای مشاهده شده، n: تعداد کل رخدادها

4

$$POD = a / (a + c) \quad (9)$$

ETS (Equitable Threat Score) وابسته به تعداد رخدادهای موفقیتی (hit) است که احتمال دارد تصادفی رخ داده باشد. دامنه این شاخص بین منفی یک سوم تا یک است که رتبه کامل آن برابر یک و در پیش‌بینی‌های غیر دقیق صفر است و با رابطه زیر محاسبه می‌شود:

$$ETS = (a - ar) / (a + b + c - ar) \quad (10)$$

ar تعداد موفقیت‌ها برای پیش‌بینی‌های تصادفی است.

$$ar = (a + b)(a + c) / n \quad (11)$$

یکی از امتیازهای آماری معمول در خلاصه‌سازی جدول ۲x۲ وابستگی HSS (Heidke skill score) است. در این رتبه آماری، دقت اندازه‌گیری (PC) به برطرف سازی پیش‌بینی‌هایی که احتمال دارد به صورت تصادفی درست ثبت شده باشد اشاره دارد. دامنه HSS از منفی بی‌نهایت تا یک است، رتبه کامل آن یک است و در پیش‌بینی که مناسب نیست برابر با صفر است. با استفاده از شمارش سلول‌ها می‌توان این رتبه را از رابطه زیر محاسبه کرد:

$$HSS = 2(ad - bc) / \{(a+c)(c+d) + (a+d)(b+d)\} \quad (12)$$

تعیین آستانه بهینه رطوبتی

برای تعیین آستانه بهینه برای هر ایستگاه از روش ویچینگ کرویت (۲۰۰۸) در این زمینه استفاده گردید نتیجه تغییر آستانه‌ها در مدل‌های تجربی تغییر امتیازهای آماری مطابق با جدول ویلکز است با تغییر آستانه RH می‌توان یک آستانه بهینه برای این متغیر پیدا کرد. برای این کار نموداری رسم می‌شود که محور x های آن مقادیر Bias و محور y های آن مقادیر PC است. آستانه بهینه آستانه‌ای است که اریب آن نزدیک یک باشد

اریب بودن (Bias) فراوانی مدل را (Pm) با فراوانی مشاهدات (Po) خیزی برگ مقایسه می‌کند و به وسیله معادله (۶) محاسبه می‌شود. دامنه B از صفر تا بی‌نهایت است و یک رتبه نارایی برابر یک است. اگر اریب بیشتر از یک باشد تعداد رخدادها با بیش برآورد همراه است. یک اریب کوچکتر از یک بدین معنی است که مدل رخدادها را کم برآورد کرده است. بنابراین یک روش خوب می‌بایست یک اریب نزدیک به یک داشته باشد. یعنی وقتی برابر یک است نشان‌دهنده عدم تمایل و یا نارایی است.

$$B = (a + b) / (a + c) = Pm / Po \quad (6)$$

PC (Proportion correct) بیشترین اطلاعات را در مورد دقت یک سیستم پیش‌بینی ارائه می‌دهد که از رابطه (۷) به دست می‌آید. دامنه PC از صفر تا یک است و یک رتبه مناسب آن برابر با یک است. این رتبه می‌بایست در بالاترین مقدار قرار داشته باشد. اما مقدار ماکزیمم آن برابر با یک است. بنابراین این رتبه برای مدل‌های دقیق‌تر می‌بایست در بالاترین حد ممکن باشد.

$$PC = (a + d) / n \quad (7)$$

FAR (False alarm ratio) که از فرمول (۸) محاسبه و این رتبه از صفر تا یک تغییر می‌کند. می‌بایست برای مدل‌های دقیق‌تر در کمترین مقدار ممکن باشد. رتبه کامل آن صفر است.

$$FAR = a / (a + b) \quad (8)$$

POD (Probability of Detection) نسبت رخدادهای مشاهده شده‌ای است که به درستی پیش‌بینی شده‌اند و مطابق فرمول (۹) محاسبه می‌شود، دامنه POD بین صفر تا یک است و رتبه مناسب آن یک است.

و PC می‌بایست در بالاترین مقدار ممکن باشد.

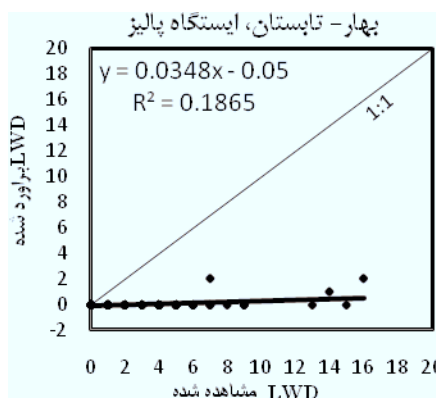
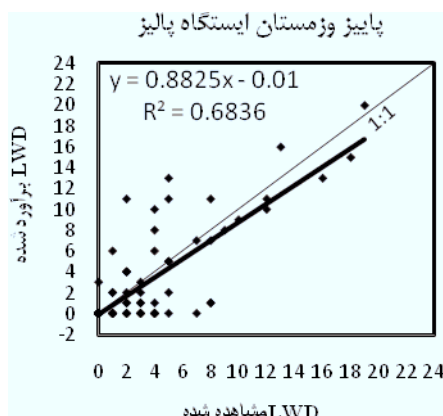
نتایج

مقایسه روزانه

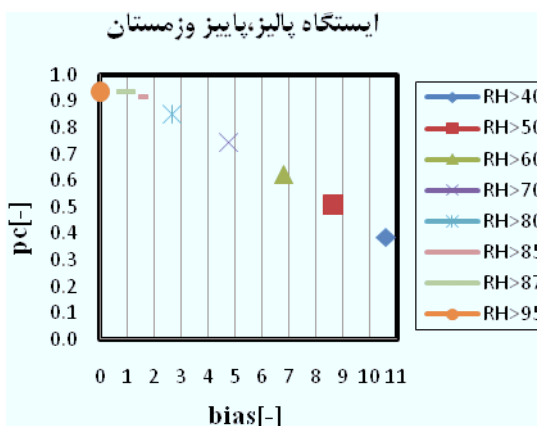
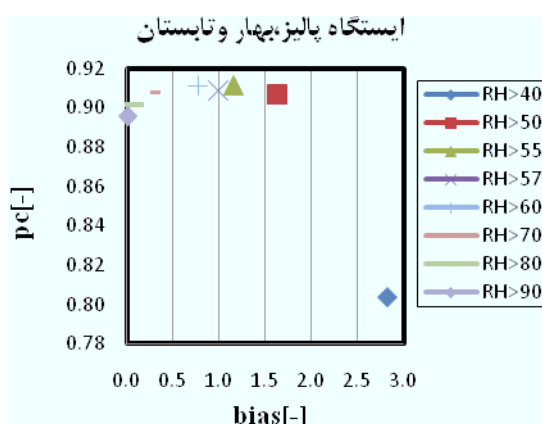
رابطه بین LWD برآورد شده و اندازه‌گیری شده در شکل (۳) نشان داده شده است. برای ایستگاه مورد نظر دو فصل گرم و سرد در نظر گرفته شد. آستانه ۸۷ درصدی در فصل پاییز و زمستان نتیجه بهتری نسبت به تابستان نشان داده است. از آنجائیکه یکی از مهمترین ویژگی‌های مدل‌های تجربی وابسته به مکان بودن آنهاست به همین منظور آستانه بهینه برای محل مورد نظر تعیین شد. شکل (۴) روش تعیین آستانه بهینه را نشان می‌دهد. مطابق شکل در بهار و تابستان ایستگاه پالیز آستانه ۵۷٪ دارای نزدیکترین Bias به یک و PC بالا است آستانه‌های ۵۵ و

۶۰ درصدی به ترتیب بیش‌برآورد و کم برآورد دارند. در پاییز و زمستان، همان آستانه ۸۷٪ هم دارای بیشترین PC است و هم Bias نزدیک به یک دارد. آستانه ۹۵ درصدی با وجود PC برابر کم برآورد در پیش‌بینی خیسی دارد.

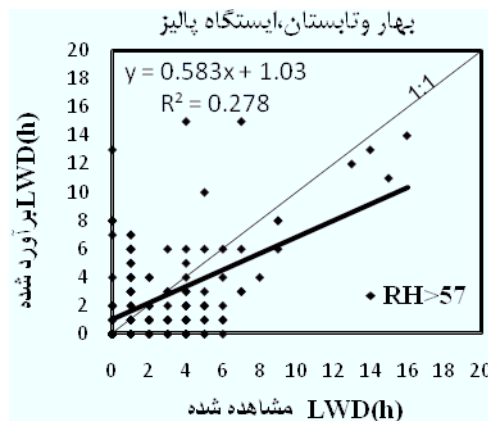
شکل (۵) نشان می‌دهد که رابطه بین LWD برآورد شده و اندازه‌گیری شده و ضریب تبیین بالاتری دارد. شکل (۶) آنالیز رگرسیونی ایستگاه پالیز توسط مدل آستانه رطوبتی توسعه یافته را در فصول مجزا نشان می‌دهد این مدل در منطقه مورد نظر مجدد برای فصل پاییز و زمستان برآورد بهتری از تداوم خیسی برگ نشان می‌دهد.



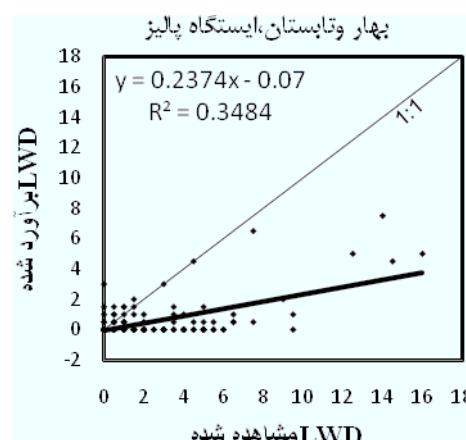
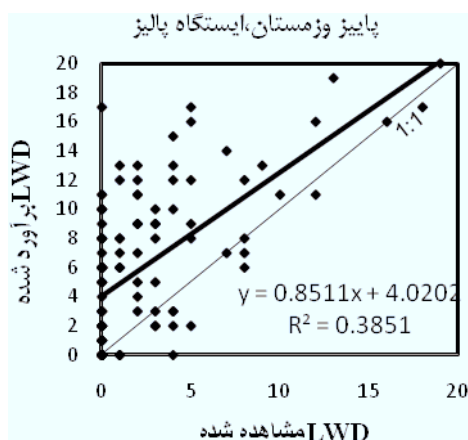
شکل ۳- روابط بین LWD اندازه‌گیری شده و برآورد شده توسط مدل آستانه ثابت رطوبتی (آستانه ۸۷٪)



شکل ۴- رتبه‌های آماری "PC" و "bias" برای آستانه‌های مختلف رطوبت نسبی برای تعیین آستانه بهینه



شکل ۵- روابط بین LWD اندازه‌گیری شده و برآورد شده توسط مدل آستانه ثابت رطوبتی بهینه



شکل ۶- روابط بین LWD اندازه‌گیری شده و برآورد شده توسط مدل آستانه رطوبتی توسعه یافته

آستانه بهینه بهتر از دو مدل دیگر است. مدل آستانه بهینه براساس شاخص C برآورد خوبی دارد. متوسط خطای مدل آستانه بهینه کمتر و دارای کم برآورد است.

مقایسه ساعتی

در جدول (۳) امتیازهای آماری برای برآوردهای دو مدل تجربی و آستانه بهینه برای ایستگاه پالیز نشان داده شده است. امتیازهای آماری در مقایسه با داده‌های اندازه‌گیری شده حسگر مورد استفاده به عنوان مرجع تعیین شده‌اند. مطابق داده‌های این جدول برای فصل بهار و تابستان مدل آستانه بهینه با نزدیکترین bias به یک و امتیازهای آماری بالاتر نسبت به دو مدل دیگر برآورد بهتری از خیزی سطح برگ دارد همچنین در پاییز و زمستان نیز همانگونه که جدول نشان می‌دهد مدل آستانه ثابت رطوبتی با آستانه بهینه شده برآوردهای بهتری از این متغیر دارد.

مطابق جدول (۲) در ایستگاه پالیز، در فصول بهار و تابستان مدل EXT-RH با $R^2 = 0/35$ دقت بیشتری نسبت به دو مدل دیگر دارد. ضریب تبیین مدل رطوبتی با آستانه بهینه نسبت به آستانه ۸۷٪ تقریباً دو برابر اصلاح شد ولی با این وجود دقت آن از دو مدل دیگر کمتر است. از لحاظ صحت برآوردها با توجه به شاخص توافق ویلموت کمترین دقت مربوط به مدل آستانه ثابت و بیشترین دقت مربوط به مدل آستانه بهینه با شاخص توافق ۰/۷۴ بود. از نظر بررسی توامان دقت و صحت مدل بر اساس شاخص C کمترین مربوط به آستانه ثابت و بیشترین مدل آستانه بهینه بود.

برآوردها نشان می‌دهند که در دو فصل پاییز و زمستان دقت مدل با توجه به ضریب تبیین تعیین شده در مدل آستانه بهینه بهتر از دو مدل آستانه ثابت و EXT-RH است. صحت مدل نیز با توجه به مقدار ۰/۹۱ شاخص D در

جدول ۲- شاخص‌های آماری محاسبه شده، بین LWD برآورد شده و اندازه‌گیری شده

شاخص‌های آماری	مدل‌های برآورد خیسی سطح برگ و تداوم آن					
	آستانه ثابت			آستانه رطوبتی بهینه		
	رطوبتی (۸۷٪) (Constant- RH)		پاییز و بهار و زمستان	رطوبتی بهینه		آستانه رطوبتی توسعه یافته (EXT-RH)
	بهار و تابستان	پاییز و زمستان	بهار و تابستان	پاییز و زمستان	بهار و تابستان	پاییز و زمستان
ضریب تبیین (R^2)	۰/۱۸۶	۰/۶۸	۰/۲۸	۰/۶۸	۰/۳۵	۰/۳۹
شاخص توافق ویلموت (D)	۰/۴۴	۰/۹۱	۰/۷۴	۰/۹۱	۰/۵۹	۰/۶۷
شاخص اطمینان کامارگو (C)	۰/۲	۰/۷۵	۰/۳۹	۰/۷۵	۰/۳۸	۰/۳۴
متوسط خطا (ME)	-۲/۵۱	-۰/۲۹	-۰/۰۲	-۰/۲۹	-۱/۹۴	۳/۶۸
متوسط خطای مطلق (MAE)	۲/۵۱	۱/۲۷	۲/۱۳	۱/۲۷	۲/۰۸	۴/۰۳
ماکزیم خطا (MAXE)	۱۵	۹	۱۳	۹	۱۱	۱۷

جدول ۳- امتیازهای شاخص آماری از جدول وابستگی ویلکز

امتیازهای آماری (جدول ویلکز)	مدل‌های برآورد خیسی سطح برگ و تداوم آن					
	آستانه ثابت			آستانه رطوبتی بهینه		
	رطوبتی (۸۷٪) Constant- RH		پاییز و بهار و زمستان	رطوبتی بهینه		آستانه رطوبتی توسعه یافته EXT-RH
	بهار و تابستان	پاییز و زمستان	بهار و تابستان	پاییز و زمستان	بهار و تابستان	پاییز و زمستان
Percentage Correct(PC)	۰/۹	۰/۹۳	۰/۸۹	۰/۹۳	۰/۹۱	۰/۷۵
Bias	-۰/۰۱	-۰/۸۷	۰/۹۹	۰/۸۷	۰/۲۱	۲/۵۹
Probability of Detection(POD)	۰/۰۱	۰/۵۶	۰/۵۶	۰/۵۶	۰/۱۶	۰/۷۷
False alarm ratio(FAR)	۰/۰	۰/۳۶	۰/۴۳	۰/۳۶	۰/۲۱	۰/۷
Equitable threat score (ETS)	-۰/۰۱	۰/۴۲	۰/۳۹	۰/۴۲	۰/۱۶	۰/۲۷
Heidke skill score(HSS)	-۰/۰۲	۰/۵۵	۰/۵۱	۰/۵۵	۰/۲۴	۰/۳۴

درگیر با رخداد خیسی برگ نیستند. با وجود محدودیت‌های موجود، این مدل‌ها در حد قابل قبولی می‌توانند بین LWD برآورد شده و اندازه‌گیری شده ارتباط برقرار کنند. مدل آستانه رطوبتی زمانی که برای مکان مورد نظر کالیبره نشده است نتایج متفاوتی در مقاطع زمانی مختلف نشان می‌دهد. نتایج بدست آمده از این تحقیق با نتایج گیلسپای و همکاران (۱۹۹۳) در مورد برآورد LWD برای گوجه فرنگی در جنوب کانادا و راثو و همکاران در برآوردهای LWD مزرعه ذرت و سنتلهاس و همکاران در برآوردهای مربوط به یک مزرعه پنبه در برزیل توافق دارد و نشان می‌دهد که برآوردهای LWD با

در مجموع می‌توان گفت که برای ایستگاه پالیز برای تمام سال مدل آستانه ثابت رطوبتی که با آستانه بهینه اجرا می‌شود برآوردهای دقیق‌تر و صحیح‌تری از متغیر تداوم خیسی برگ می‌تواند ارائه دهد.

بحث

بر مبنای تحقیقات سنتلهاس و همکاران (۲۰۰۸) مدل‌های تجربی برآورد LWD، می‌توانند کارآیی بسیار متفاوتی بسته به شرایط اقلیمی منطقه داشته باشند و بر اساس مطالعات هابر و گیلسپای (۱۹۹۲) این مدل‌ها برای بعضی کاربردها مناسب هستند اما به طور کلی یک پیش‌بینی کننده معمول برای فرایندهای پیچیده خرد اقلیمی

زمانی کوتاهتر ودقیق‌تری طی چندین فصل متمادی انتخاب و آستانه مناسب برای آن تعیین شود.

تشکر و قدردانی

این تحقیق در قالب طرح پژوهشی شماره ۷۳۱۴۸۱۶۰/۱/۰۲ با استفاده از اعتبارات پژوهشی دانشگاه تهران انجام شده است.

داده‌های مربوط به دوره خیزی سطح برگ توسط جناب آقای مهندس سوداگری مجری طرح اتوماسیون هواشناسی در استان فارس تامین شده است. نگارندگان مقاله بدین وسیله از ایشان تشکر و قدردانی می نمایند.

استفاده از مدل‌های ساده تجربی دقت کافی برای برآورد LWD را دارند. مدل آستانه توسعه یافته در مطالعه ویچینگ کروییت و همکاران (۲۰۰۴) نتیجه بسیار خوبی ارائه داد که یک دلیل اصلی آن کوتاه بودن دوره آماری برآورد مدل LWD بود البته در این تحقیق نیز نتایج مربوط به مدل آستانه توسعه یافته قابل قبول است. دقت مدل آستانه ثابت رطوبتی با یافتن یک آستانه جدید برای منطقه افزایش یافت و نسبت به نسخه کالیبره نشده نتایج دقت بیشتری داشتند. نتایج مطالعه سنتلهاس و همکاران (۲۰۰۸) نیز این نکته را تایید می کنند. با تعیین آستانه مناسب مدل برآوردهای بهتری از LWD ارائه می دهد. بنابراین بهتر است که با توجه به نتایج این تحقیق بازه‌های

فهرست منابع:

1. Agam.N., Berliner, P.R. 2006. Dew formation and water vapor adsorption in semi-arid environments—A review. *Journal of Arid Environments* 65 ,572–590.
2. Atzema, A.J., Jacobs, A.F.G., Wartena, L.1990. Moisture distribution within a maize crop due to dew. *Netherlands Journal of Agricultural Science* 38 (2), 117–129.
3. Camargo AP., Sentelhas PC .1997. Performance evaluation of different potential evapotranspiration estimating methods in the State of Saõ Paulo. *Brazil. Rev. Bras. Agrometeorol.*,5: 89–97.
4. Duvdevani, S. 1947. An optical method of dew estimation. *Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society* 73, 282–296.
5. Gleason, M.L., Taylor, S.E., Loughin, T.M., Koehler, K.J.1994. Development and validation of an empirical model to estimate the duration of dew periods. *Plant Disease*, v.78.
6. Gillespie,T.J., Srivastava,B And Pitblado,RE. 1993. Using operational weather data to schedule fungicide sprays on tomatoes in Southern Ontario. *Can. J. Appl. Meteorol.* 32: 567–57.
7. Huber L., Gillespie TJ.1992. Modeling leaf wetness in relation to plant disease epidemiology. *Ann. Rev. Phytopathol.*, 30: 553–577.
8. Jacobs, A.F.G., Van-Boxel, J.H., Nieveen, J. 1996. Nighttime exchange processes near the soil surface of a maize canopy. *Agricultural and Forest Meteorology* 82 (1–4), 155–169.
9. Janssen,L.H.J.M.,Romer,F.G.Kema,N.V.1991.The frequency and duration of dew Occurrence over a year:model results compared with measurements.*Tellus* ., Series B 43B(5):408 -419.
10. Kidron, G.J. 2000. Analysis of dew precipitation in three habitats within a small arid drainage basin, Negev Highlands, Israel. *Atmospheric Research* 55 (3–4), 257–270.
11. Lange, O.L., Belnap, J., Reichenberger, H. 1998. Photosynthesis of the cyanobacterial soil-crust lichen *Collema tenax* from arid lands in southern Utah, USA: role of water content on light and temperature responses of CO₂ exchange. *Functional Ecology* 12 (2), 195–202.
12. Madeira AC., Kim KS., Taylor SE. And Gleason ML.2000. A simple cloud-based energy balance model to estimate dew. *Agric. For. Meteorol.* ,111: 53–63.

13. Noffsinger, T.L. 1965. Survey of techniques for measuring dew. In: Waxler, A. (Ed.), Humidity and Moisture Reinhold, New York, pp. 523–531.
14. Pedro, M.J. and Gillespie, T.J. 1982. Estimating dew duration. I. Utilizing micrometeorological data. *Agricultural Meteorology*, 25: 283–296.
15. Rao, P.S., Gillespie, T.J. and Schaafsma, A.W. 1998. Estimating wetness on maize ears from meteorological observations. *Canadian Journal of Soil Science*, 78: 149–154.
16. Ridley, J., Strawbridge, F., Card, R., Phillips, H. 1996. Radar backscatter characteristics of a desert surface. *Remote Sensing of Environment*, 57 (2): 63–78.
17. Sentelhas, P.C., Gillespie, T.J., Gleason, M.L., Monteiro, J.E. and Helland, S.T. 2004. Operational exposure of leaf wetness sensors. *Agricultural and Forest Meteorology*, 126: 59–72.
18. Sentelhas, P.C. and Gillespie, T.J. 2008. Estimating hourly net radiation for leaf wetness duration modelling using the Penman–Monteith equation. *Theor. Appl. Climatol.*, 91: 205–215.
19. Slatyer, R.O. 1967. *Plant-Water Relationships*. Academic Press, London.
20. Kim, K., Elwynn Taylor, S., Gleason, M.L., Nutter Jr, F.W., Coop, L.B., Pfender, W.F., Seem, R.S., Sentelhas, P.C., Gillespie, T.J., Dalla Marta, A., Orlandini, S. 2010. Spatial portability of numerical models of leaf wetness duration based on empirical approaches. *Agricultural and Forest Meteorology* 150: 871–880.
21. Thompson, N. 1981. The duration of leaf wetness. *Meteorological Magazine* 110, 1–12.
22. Van Jaarsveld, J.A. 2004. The Operational Priority Substances model. Description and validation of OPS-Pro 4.1. RIVM Report 500045001/2004, RIVM, Bilthoven, The Netherlands, 156pp.
23. Wilks, D.S. 1995. *Statistical Methods in the Atmospheric Sciences: An Introduction*. International Geophysics Series, vol. 59. Academic Press, San Diego, 464pp.
24. Willmott, C.J., Ackleson, S.G., Davis, R.E., Feddes, J. J., Klink, K.M., Legates, D.R., O'donnell, J. and Rowe, C.M. 1985. Statistics for the evaluation and comparison of models. *J Geophys Res*, 90: 8995–90.
25. Wichink Kruit R.J., van Pul A.J., Jacobs A.F.G. and Heusinkveld B.G. 2004. Comparison between four methods to estimate leaf wetness duration caused by dew on grassland. In: Conference on Agricultural and Forest Meteorology. American Meteorological Society, Vancouver.
26. Wichink Kruit, R.J., Jacobs, A.F.G., Holtslag, A.A.M. 2008. Measurements and estimates of leaf wetness over agricultural grassland for dry deposition modeling of trace gases. *Atmospheric Environment*, 42: 5304–5316.