بسم الله الرحمن الرحيم

دانشگاه زنجان

دانشکده‌ی کشاورزی

گروه علوم مهندسی آب

پایان نامه جهت دریافت درجه کارشناسی ارشد (M.Sc)

در رشته آبیاری و زهکشی

عنـوان:

مقایسه و ارزیابی چند الگوریتم داده‌کاوی در تخمین تبخیر تعرق - پتانسیل دشت قزوین

تحقیق و نگارش:

سید حسن میرهاشمی

استاد راهنما:

دکتر مهدی پناهی

استاد مشاور:

دکتر فرهاد میثاقی

تابستان ۱۳۹۲

تقدیم به

پدر و مادر عزیزم که عاشقانه

زیستن را از آنها آموختم

تشکر و قدردانی

سپاسگزار پروردگار بی همتای بزرگ هستم که نخستین موجود است و پیش از او چیزی نبوده است و آخرین موجود است و بعد از او چیزی نیست. دیده بینندگان از مشاهده او ناتوان است و اندیشه گویندگان از وصف او عاجز است.

از پدر و مادر عزیزم که در تمام مراحل زندگی مرا یاری دادند و صبورانه و صادقانه در تمام مراحل تحصیل مشوق من بوده‌اند خاضعانه سپاسگزارم.

از استاد راهنما و استاد مشاور ارجمند و بزرگوارم، جناب آقای دکتر پناهی و جناب دکتر میثاقی که همیشه مورد لطف و عنایتشان بوده‌ام و اجرای این پایان‌نامه بدون راهنمایی‌های علمی و مساعدت‌های فراوانشان میسر نبود و صبورانه مرا در این پژوهش یاری کردند نهایت سپاس و قدردانی را دارم.

از جناب دکتر شیردل و جناب دکتر کرباسی که داوری این پایان نامه را تقبل نمودند، مراتب تقدیر و تشکر را دارم.

از جناب آقای دکتر مهتابی به عنوان نماینده محترم تحصیلات تکمیلی، سپاس گزارم.

و تمامی دوستانم که در طول مدت اجرای پایان‌نامه از هیچگونه کمکی دریغ نفرمودند، کمال تشکر و سپاسگزاری را دارم.

چکیده

تخمین مناسب تبخیر و تعرق به منظور مدیریت منابع آب، برنامه‌ریزی آبیاری و ارزیابی اثرات تغییر کاربری اراضی بر روی بازده و تامین نیاز آبی گیاهان بسیار مهم و حیاتی می باشد. مدل‌های فیزیکی و نیمه تئوری پیشنهاد شده برای مدلسازی تبخیرتعرق پتانسیل، اغلب پیچیده بوده و به متغیرهای هواشناسی زیادی نیاز دارند. به همین دلیل مدل‌ها و تکنیک‌های دیگری نظیر رگرسیون چندگانه، تحلیل عاملی، شبکه عصبی مصنوعی و روش‌های نوین داده‌کاوی جهت برآورد این کمیت و تعیین عوامل تاثیر گذار به کار می‌روند. اخیرا روش‌های جدید داده‌کاوی به صورت موفقیت‌آمیز در علوم محیطی استفاده شده‌اند. به کمک داده کاوی، می توان مقدار تبخیر و تعرق را تخمین زد که در صورت مورد قبول بودن نتایج، استفاده از آن قابل توصیه خواهد بود. به طور کلی اهداف این تحقیق، انتخاب مناسب‌ترین الگوریتم داده‌کاوی برای پیش‌بینی تبخیرتعرق پتانسیل ماه آتی از بین شش الگوریتم داده کاوی، تعیین موثرترین متغیرهای هواشناسی موثر بر مدلسازی تبخیرتعرق پتانسیل برای ماه آتی می‌باشد. به این منظور از داده‌های ماهانه ایستگاه سینوپتیک قزوین که دارای آمار طویل‌المدت و معتبر سازمان هواشناسی کشور می‌باشد در دوره آماری ۲۰۰۵-۱۹۶۰ استفاده گردید. این داده‌ها شامل: سرعت باد، متوسط رطوبت نسبی، متوسط فشار بخار، ساعات آفتابی و متوسط دما هستند. تبخیرتعرق به روش پنمن- مونتیث و سپس از الگوریتم‌های M5P، Kstar، M5Rules، REPTree، CHAID و CART به منظور برآورد تبخیرتعرق استفاده شد و عملکرد آنها با استفاده از شاخص‌های آماری مورد آزمون قرار گرفت. نتایج نشان داد در تخمین تبخیر تعرق برای ماه آتی در ایستگاه قزوین مدل M5Rules دارای بالاترین عملکرد را بین مدل‌های دیگر داشته داشته و لذا بهترین مدل در تخمین تبخیرتعرق پتانسیل برای ماه آتی می‌باشد.

کلمات کلیدی: تبخیرتعرق پتانسیل، الگوریتم‌های داده‌کاوی، داده‌های هواشناسی.

فهرست مطالب

عنوان صفحه

فصل اول : تعریف و کلیات ۱
مقدمه ۲
۱-۱- مقدمه ۲
۱-۲- روش‌های برآورد تبخیرتعرق پتانسیل ۵
۱-۲-۱- روش‌های مستقیم تعیین تبخیرتعرق ۸
۱-۲-۲- روش‌های محاسباتی تعیین تبخیرتعرق ۹
۱-۲-۳- معادله‌های تجربی ۱۱
۱-۲-٤- روش‌های ترکیبی ۱۱
فصل دوم: پیشینه تحقیق ۱۳
۲-۱- مقدمه ۱٤
۲-۲- روش‌های برآورد تبخیرتعرق ۱٤
۲-۳- روش‌های نوین داده‌کاوی ۱٤
۲-٤- مطالعات دما ۱۵
۲-٤-۱- مرور منابع داخلی ۱۵
۲-٤-۲- مرور منابع خارجی ۱٦
۲-۵- مطالعات مدلسازی تبخیرتعرق پتانسیل ۱٦
۲-۵-۱- مرور منابع داخلی ۱٦
۲-۵-۲- مرور منابع خارجی ۱۷
۲-٦- جمع‌بندی مطالعات گذشته ۲۲
فصل سوم: مواد و روش‌ها ۲٤
۳-۱- مقدمه ۲۵
۳-۲- طرح کلی ۲۵
۳-۳- منطقه مطالعاتی ۲٦
۳-٤- داده‌های مورد استفاده ۲۷

عنوان | صفحه

۳-۵- روش‌های محاسباتی برآورد تبخیرتعرق پتانسیل..... ۲۷
۳-۵-۱- معادله فائو پنمن-مونتیث..... ۲۷
۳-٦- مفاهیم مربوط به داده‌کاوی..... ۲۸
۳-٦-۱- تعاریف داده‌کاوی..... ۲۸
۳-٦-۲- آماده‌سازی داده‌ها..... ۲۹
۳-٦-۲-۲- داده‌های گمشده..... ۲۹
۳-۷-۱- درخت تصمیم ۳۲
۳-۷-۲- ساخت درخت تصمیم..... ۳۳
۳-۷-٤-۳- پیش‌بینی عددی..... ۳٤
۳-۷-٤-۱- مدل‌های درختی..... ۳۵
۳-۷-٤-۲- ساخت مدل درختی..... ۳۷
۳-۷-٤-۲- ۱- هرس نمودن درختی..... ۳۷
۳-۷-٤-۲-۲- مقادیر گمشده..... ۳۹
۳-۷-٤-۳- قوانین از مدل درختی..... ٤۰
۳-۸- داده‌کاوی..... ٤۲
۳-۸-۱- الگوریتم M5P..... ٤۲
۳-۸-۲- الگوریتم M5Rules..... ٤۳
۳-۸-۳- الگوریتم REPTree..... ٤۳
۳-۸-٤- الگوریتم KStar ٤٤
۳-۸-۵- الگوریتم CART..... ٤٤
۳-۸-٦- الگوریتم CHAID..... ٤۵
۳-۹- ارزیابی نتایج مدل‌ها..... ٤٦
۳-۹-۱- نرم افزارهای مورد استفاده..... ٤۷
۳-۹-۱-۱- نرم افزارهای داده‌کاوی وکا..... ٤۷
۳-۹-۱-۲- نرم افزار داده‌کاوی SPSS Clementine..... ۵۲
۳-۹-۱-۲-۱- صفحه آغازین نرم افزار کلمنتاین..... ۵۲

عنوان | صفحه

۳-۹-۱-۲-۲- فراخوانی داده ها..... ۵۳
۳-۹-۱-۲-۳- آمار توصیفی و استنباطی ۵٤
۳-۹-۲- شاخص‌های ارزیابی..... ۵۵
۳-۹- جمع‌بندی..... ۵٦
فصل چهارم: نتایج و بحث..... ۷۳
٤-۱- مقدمه..... ۵۸
٤-۲- انتخاب متغیرها..... ۵۸
٤-۳- ارزیابی نتایج حاصل از مدلسازی تبخیرتعرق پتانسیل با استفاده از داده‌کاوی..... ۵۸
٤-۳-۱- مدلسازی بین تبخیرتعرق پتانسیل محاسبه شده با روش پنمن-مونتیث با متغیرهای هواشناسی به روش داده‌کاوی..... ۵۸
٤-۳-۱-۱- مدل تبخیرتعرق ایستگاه قزوین..... ۵۹
٤-٤- نتیجه‌گیری..... ٦٤
٤-۵- پیشنهادها..... ٦٤
منابع..... ۱۱۵

فهرست جداول

عنوان **صفحه**

جدول۳-۱ شش داده هواشناسی متوسط سالانه ایستگاه هواشناسی سینوپتیک قزوین بین دوره آماری.....۲۶
جدول ٤-۷: مقایسه عملکردهای مدل‌های مختلف در تخمین تبخیرتعرق پتانسیل ماه آتی در ایستگاه قزوین..... ٦٠
جدول ٤-۸: تحلیل حساسیت مدل درختی M5Rrules..... ٦٢

فهرست شکل‌ها

عنوان صفحه

شکل۳-۱- طرح کلی اجرای تحقیق..... ۲۵
شکل۳-۲- صفحه آغازین WEKA ۵۰
شکل ۳-۳- محیط Explorer در نرم‌افزار WEKA..... ۵۱
شکل۳-٤- WEKA پس از بارگذاری داده‌ها..... ۵۲
شکل ۳-۵- نمودار ستونی برای فراوانی مقادیر مختلف ستون‌ها در بازه‌هایی با طول یکسان..... ۵۲
۳-٦- اجرای مدل رگرسیون روی داده‌ها..... ۵۳
شکل۳-۷- صفحه آغازین نرم افزار کلمنتاین..... ٥٤
شکل ۳-۸- فراخوانی داده ها در نرم افزار کلمنتاین..... ۵۵
شکل۳-۹- انواع برنامه‌های آماری برای توصیف واستنباط برای داده‌ها..... ۵۵
نمودار ٤-۱- مقایسه بین شش الگوریتم برای تخمین تبخیرتعرق پتانسیل ماه بعد برای ایسگاه هواشناسی سینوپتیک قزوین..... ٦۱
شکل ٤-۲۳ نمودار خطی مدل درختی M5Rrules برای پیش‌بینی تبخیرتعرق پتانسیل برای ماه بعد در ایستگاه هواشناسی قزوین..... ٦۳
شکل ٤-۲٤ نمودار الگوریتم M5rulesبرای پیش‌بینی تبخیرتعرق پتانسیل ماه بعد برای ایستگاه هواشناسی قزوین..... ٦٤
شکل ٤-۲۵ نمودار الگوریتم M5P برای پیش‌بینی تبخیرتعرق پتانسیل ماه بعد برای ایستگاه هواشناسی قزوین..... ٦٤
شکل ٤-۲٦ مودار الگوریتم REPTree برای پیش‌بینی تبخیرتعرق پتانسیل ماه بعد برای ایستگاه هواشناسی قزوین..... ٦٤
شکل ٤-۲۷ نمودار الگوریتم Kstar برای پیش‌بینی تبخیرتعرق پتانسیل ماه بعد برای ایستگاه هواشناسی قزوین..... ٦۵
شکل ٤-۲۸ نمودار الگوریتم CART برای پیش‌بینی تبخیرتعرق پتانسیل ماه بعد برای ایستگاه هواشناسی قزوین ٦۵
شکل ٤-۲۹ نمودار الگوریتم CHAID برای پیش‌بینی تبخیرتعرق پتانسیل ماه بعد برای ایستگاه هواشناسی قزوین..... ٦۵

فصل اول

کلیات

۱-۱- مقدمه

پیش‌بینی نیاز آبی برای آبیاری شامل محاسبه چندین فاکتور مانند رواناب، سهم آب‌زیرزمینی، بارندگی و تبخیر و تعرق است. تخمین صحیحی نیاز آبی گیاه برای طراحی آبیاری، برنامه‌ریزی آبیاری، مدیریت منابع آب و مدلسازی سیستم‌های گیاهی لازم است و از آنجا که محدودیت آب برای آبیاری یکی از مسائل اصلی زیست محیطی موثر در تولیدات کشاورزی در مناطق خشک و نیمه‌خشک جهان است. بنابراین تبخیرتعرق (ET[1]) جزء مهمی از چرخه هیدرولوژی است. تخمین صحیح این کمیت در بسیاری از مطالعات مانند مدیریت آب کشاورزی، تخمین اجزاء بیلان آب و تعیین اثر تغییر کاربری اراضی بر پاسخ هیدرولوژی حوضه و ..... است.

علیرغم کاربرد وسیع مفهوم تبخیرتعرق، ابهاماتی در استفاده ار چنین عباراتی مانند تبخیرتعرق پتانسیل و تبخیرتعرق گیاه مرجع وجود دارد. برای رفع این، سازمان خوار و بار کشاورزی ملل متحد[2] نشریه شماره ۵۶ را منتشر نموده است (Allen et al., 1998). بین کلیه روش‌ها، این روش در تفسیر و استفاده از عبارات مختلف مانند تبخیرتعرق پتانسیل و تبخیرتعرق گیاه مرجع، نوعی استاندارد معرفی نمود. فائو ۵۶ استفاده از عبارت تبخیرتعرق پتانسیل را بدلیل ابهام در تعریف آن توصیه نمی‌کند. در ضمن فائو پیشنهاد نموده است که سطح مرجع فرضی، دقیقا مانند سطح وسیعی از چمن سبز با ارتفاع یکنواخت، رشد فعال، سایه‌اندازی کامل زمین و با آب کافی (آلن و همکاران، ۱۹۹۸) به عنوان سطح مرجع در نظر گرفته شود. در رهیافت فائو، مشخصات سطح که بر تبخیرتعرق موثرند بصورت واضح کمی شده‌اند(Itenfisu et al., 2003).

نرخ تبخیرتعرق از سطح مرجع، بدون کمبود آب تبخیرتعرق گیاه مرجع یا تبخیرتعرق مرجع نامیده شده و به صورت ET_O نامیده می‌شود(Allen et al., 1998). سطح مرجع، چمن فرضی با مشخصات خاص می‌باشند.

1 -Evapotranspiration
2 -FAO

همچنین تبخیرتعرق گیاه تحت شرایط استاندارد (ET_C) مربوط به تبخیر و تعرق از یک مرزعه با مدیریت عالی، دور از بیابان، وسیع و به خوبی آبیاری شده مربوط می‌شود که تحت شرایط اقلیمی معین به تولید محصول کامل دست یابد. همچنین، به دلیل مدیریت نیمه بهینه‌ی گیاه و محدودیت‌های محیطی که بر رشد گیاه اثر گذاشته و تبخیرتعرق را محدود می‌کند، ET_C تحت شرایط غیر استاندارد به یک تصحیح نیاز دارد.

تبخیرتعرق می‌تواند با لایسیمتر یا رهیافت بیلان آب اندازه‌گیری شود و یا از داده‌های اقلیم‌شناسی تخمین زده شود. اندازه‌گیری تبخیرتعرق با لایسیمتر زمانبر بوده و به برنامه‌ریزی دقیق نیاز دارد. نصب و حفاظت لایسیمتر به مهارت فرد، ابزار و امکانات مالی نیاز دارد. به خاطر همین دلایل، روش‌های غیرمستقیم بر پایه‌ی داده اقلیم-شناسی به صورت مکرر برای تخمین ET_O استفاده شده‌اند.

معادلات تبخیرتعرق مرجع فراوانی بسته به قابل دسترس بودن داده‌ی هواشناسی، توسعه و استفاده شده‌اند. این معادلات از معادلات پیچیده مانند معادلات تجربی بر مبنای تابش خورشید یا دما تا معادلات پیچیده براساس فرآینده‌های فیزیکی مانند روش ترکیبی پنمن[1](۱۹۶۵) وجود دارند. روش ترکیبی، دینامیک تبخیر را با شار تابش خالص و ویژگی‌های انتقال آئرودینامیکی یک سطح طبیعی مرتبط می‌نماید. براساس مشاهدات ساقه‌ی گیاهان، انتقال گرمای نهان تنها با این عوامل هوازی تحت تاثیر قرار نمی‌گیرد، مونتیث [2](۱۹۶۵) نخستین بار با ارایه مفهوم مقاومت سطح تاثیر پاسخ روزنه‌ها به شرایط رطوبتی محیط را در معادله پنمن تلفیق نمود. این معادله اصلاح شده‌ی پنمن به طور گسترده‌ای به عنوان معادله‌ی پنمن–مونتیث [3] شناخته شده است.

معادله‌ی پنمن–مونتیث بر مبنای فیزیک است زیرا تلاش می‌کند ویژگی‌های فیزیکی و آئرودینامیکی سطح مرجع را شرکت دهد. در حالیکه استفاده از روش پنمن اصلاح شده (Doorenbos and Pruit, 1977) به وسیله

1 - Penman
2 - Monteith
3 - Penman-Monteith

فائو پیشنهاد شده بود، مطالعات اخیر پیشنهاد نموده‌اند که این روش تبخیرتعرق را بیش برآورد می‌کنند (Sudheer et al., 2003). فائو اکنون استفاده از روش پنمن برای محاسبه‌ی تبخیرتعرق مرجع از سطح چمن را پیشنهاد نموده و یک معادله‌ی تبخیرتعرق مرجع چمن تعیین نموده است (Allen et al., 1998). مطالعات اخیر بوسیله‌ی آلن و همکاران (۱۹۹٤ و ۱۹۹۸)، ونتورا[1] و همکاران (۱۹۹۹)، هول[2]و همکاران (۲۰۰۰) و رایت[3] و همکاران (۲۰۰۰) نشان داده‌اند که تبخیرتعرق مرجع محاسبه شده با استفاده از معادله‌ی پنمن–مونتیث تخمین-های می‌دهد که به مقادیر تبخیرتعرق مرجع مشاهده شده نزدیک است.

بسیاری از دانشمندان قابلیت معادله پنمن–مونتیث برای تخمین ET_O را مطالعه نموده‌اند(آلن و همکاران، ۱۹۹۸؛ دی یودر و همکاران ۱۹۹۵). جنسن[4] و همکاران(۱۹۹۰) عملکرد ۲۰ روش مختلف را در مقابل تبخیرتعرق اندازه‌گیری شده برای ۱۱ ایستگاه واقع در مناطق اقلیمی مختلف جهان تحلیل نمودند. روش پنمن –مونیث به عنوان بهترین روش برای تمامی شرایط اقلیمی رتبه‌بندی شد. آلن و همکاران (۱۹۹٤) بعدا بیان نمودند که معادله پنمن – مونتیث فائو ٥٦ باید از داده ET_O اندازه‌گیری شده توسط لایسیمتر طی کالیبراسیون معادلات ET_o مورد ملاحظه قرار گیرد.

کابرد معادله پنمن–مونتیث فائو ٥٦ به داده تابش خورشید، سرعت باد، دمای هوا، فشاربخار و رطوبت نیاز دارد. اما تمامی این متغیرهای ورودی در هر مکانی به آسانی در دسترس نیستند. در کشورهای در حال توسعه، با مشکلات جمع آوری داده صحیح تمامی متغیرهای اقلیمی مواجه هستند و این می‌تواند در کابرد معادله پنمن – مونتیث فائو ٥٦ مشکل جدی به حساب آید. در بین ورودی‌های مورد نیاز، داده دما به صورت روتین اندازه-گیری می‌شود و تابش خورشید می‌تواند صحت مختلفی تخمین زده شود. اما سایر متغیرها در مکان‌های کمی

1 - Ventura
2 - Howell
3 - Wright
4 -Jensen

اندازه‌گیری می‌شود. متغیرهای هواشناسی که در معادله پنمن–مونتیث فائو۵۶ استفاده می‌شوند می‌توانند به صورت بالقوه مقادیر خطای اندازه‌گیری شده و محاسبه شده را نتیجه دهند و خطای تجمعی در محاسبه‌ی ET_O را بدست دهند. در واقع، خطاهای تصادفی و یا سیستماتیک در متغیرهای هواشناسی در تخمین ET_O، باعث خطاهای معنی‌دار می‌شوند(Meyer et al., 1989).

ایستگاه‌های هواشناسی خودکار (AWS[1]) که امروزه در کشورهای توسعه یافته برای اندازه‌گیری متغیرهای اقلیمی استفاده می‌شوند، در کشورهای دیگر کمیاب است. اغلب اوقات ممکن است یک ایستگاه AWS تنها در هزاران کیلومترمربع یک منطقه وجود نداشته باشد. در چنین شرایطی، ممکن است به اجبار از داده‌های "نزدیک‌ترین" ایستگاه استفاده شود که از حقیقت دور است و در شرایط هیدرومتئورولوژیکی کاملاً متفاوتی قرار دارد. تجربه نشان می‌دهد که برون‌یابی سرعت باد از یک منطقه به منطقه دیگر خطاهای زیادی در پی داشته باشد(Irmak et al., 2003). به علاوه، سرعت‌های باد اندازه‌گیری شده در مناطق غیر زراعی، اراضی خشک بسیار بیشتر از مقادیر اندازه گیری شده سرعت باد د رزمین‌های زراعی می باشد (Burman et al., 1975). برون-یابی سایر متغیرهای اقلیمی نیز به دلیل رفتار منحصر به فرد آنها سوال برانگیز است.

این تحقیق به دنبال تکنیکی است که بتواند با استفاده از روابطی که که در متن داده‌های هواشناسی اندازه‌گیری شده وجود دارد رابطه‌ای برقرار کند، که بتواند تبخیرتعرق پتانسیل را با دقت بالایی برآورد نماید و نیز در برآورد آن در صورت امکان از متغیرهای کمتری استفاده شود. به عبارت دیگر با استفاده از پارامترهای غالب موثر بر تبخیرتعرق پتانسیل بتوان به دقتی مناسب دست یافت.

داده‌کاوی اغلب به صورت فرآیند استخراج اطلاعات قابل فهم، از قبل ناشناخته و معتبر از پایگاه داده‌های بزرگ تعریف می‌شود تا بتواند تصمیمات تجاری را بهبود داده و بهینه نماید. در تعریف دیگر داده‌کاوی به صورت

1 - Automatic Weather System

تشخیص ساختاری جالب در داده تعریف می‌شود که این ساختار، الگوها و مدل‌های پیش‌بینی و آماری از داده-ها و روابط بین بخش‌های داده را طراحی می‌نماید. شاید بتوان گفت داده‌کاوی فرآیند انتخاب، شناسایی و مدلسازی از مقادیر زیاد داده‌ها برای کشف نظم یا رابطه‌ای که در ابتدا ناشناخته هستند با هدف بدست آوردن نتایج مفید و شفاف برای مالک پایگاه داده می‌باشد.

داده‌های هواشناسی به طور کلی داده‌های اقلیمی یا سینوپتیکی، داده‌های زمان واقعی هستند که برای استفاده در مدلسازی، پیش‌بینی و امنیت هوایی تهیه شده‌اند. داده اقلیمی، داده دفتری است که معمولاً پس از انجام کنترل کیفیت بر روی آنها تهیه می‌شوند. شبکه‌های به خصوصی هم در بیشتر کشورهای وجود دارند که می‌توانند در برخی موارد تکمیل داده‌های اقلیمی را انجام دهند.

نرم افزارهای کامپیومتری براساس تکنیک‌های مدلسازی مانند شبکه‌های عصبی مصنوعی[1] برای رشته‌های هیدرولوژی و منابع آب به کار می‌روند. یک الکوریتم شبکه عصبی به پارامترهای یادگیرنده (آموزش داده شده) زیادی نیاز دارد (مثل سرعت آموزش، مومنتوم) و تعداد بهینه گره‌ها در لایه پنهان و تعداد لایه‌ی پنهان به منظور پیچیدگی کمتر شبکه با توانایی کلی‌سازی نسبتاً بهتر لایه‌ها نیاز دارد. طی فرآیند آموزش تعداد زیاد تکرار شبکه عصبی را مجبور به یادگیری مجدد می‌کند که بر توانایی پیش‌بینی مدل اثر می‌گذارد. اخیرا مدل درختی M5P به صورت موفقیت آمیزی در زمینه های مختلف منابع آب به کار برده شده است.

اطلاع از داده‌های هواشناسی منطقه برای مطالعات هواشناسی، آلودگی و کابردهای ابزاری و توسعه ضروری می‌باشند. بویژه دمای هوا برای تعیین رفتار حرارتی (بار گرمایشی، سرمایشی، تلفات حرارتی و حرارت تولید شده) در ساختمان‌ها استفاده شده است (Ashrae ,1993). بخش اصلی دیگری که داده دما اساساً موردنیاز است تخمین پارامترهای زیست هواشناسی در منطقه است.

1 -Artificial Neural Network

۱-۲- روش‌های برآورد تبخیرتعرق پتانسیل

در زنجیره آب، خاک، گیاه و اتمسفر آب مستقیما ازسطح خاک و یا توسط گیاه به داخل اتمسفر وارد می‌شود. انتقال آب از سطح خاک به هوا را تبخیر وخارج شدن آن از گیاه را تعرق گویند. این دو پدیده هر دو ماهیت تبخیری داشته و چون تفکیک آن‌هااز یکدیگر امکان‌پذیر نمی‌باشد مجموعا به نام تبخیرتعرق در نظرگرفته شده و با علامت ET نشان داده می‌شود. در کشاورزی آب مورد مصرف زراعت(Consumptive Use, CU) به مجموع مقدار تبخیر از سطح خاک و مقدار آبی گفته می‌شود که توسط ریشه‌های گیاه از خاک جذب می‌شوند. بنابراین اختلاف ET و CU تنها درمقدار آبی است که صرف فتوسنتز و انتقال مواد داخل گیاه می‌شود و یا در ساختمان اسکلت گیاه بکار رفته است. چون این مقدار در قیاس با تعرق بسیار ناچیز است، عملا تبخیرتعرق با آب مورد مصرف در زراعت برابر در نظر گرفته می‌شوند.

منظور از تعیین تبخیرتعرق برآورد مقدار آبی است که باید به یک پوشش زراعی داده شود تا در طول دوره رویش صرف تبخیرتعرق نموده و بدون آنکه با تنش آبی مواجه شود رشد خود را تکمیل نموده و حداکثر مقدار محصول را تولید کند. از جائی که عوامل بسیار زیادی در تبخیرتعرق دخالت دارند، برآورد دقیق تبخیرتعرق اگر نتوان گفت که غیرممکن است کاری است بسیار مشکل. روش‌هایی که برای تخمین تبخیرتعرق بکار برده می‌شود در دو گروه اصلی قرار می‌گیرند که عبارتند از روش‌های مستقیم و روش‌های محاسبه‌ای . در روش مستقیم بخش کوچک و کنترل شده‌ای از مزرعه را مجزا کرده و مقدار تبخیرتعرق در یک دوره زمانی مستقیما اندازه‌گیری می‌شود. حال آنکه در روش‌های محاسبه‌ای که می‌توان آن‌ها را روش غیرمستقیم دانست از عوامل مختلف اقلیمی و گیاهی استفاده شده واز روی ارتباط آن‌ها با تبخیرتعرق و معادله‌هایی که قبلا با روش مستقیم واسنجی شده‌اند تبخیرتعرق پوشش گیاهی مورد نظر تخمین زده می‌شود. همانطور که گفته شد

هیچکدام از این روش‌ها نمی‌توانند تبخیرتعرق را بطور دقیق برآورد نمایند ولی برخی از آن‌ها در بعضی مناطق نتایجی را بدست می‌دهند که بیشتر با واقعیت مطابقت دارد. از نظر علمی روشی مطلوب است که اولا آسان بوده و ثانیا نتایج حاصله از آن واقعی‌تر باشد.

۱-۲-۱- روش‌های مستقیم تعیین تبخیرتعرق

معمول‌ترین روش مستقیم تعیین تبخیرتعرق استفاده از اصل بیلان جرمی در یک حجم کنترل شده از خاک است. براساس این اصل :

$$\Delta s = \text{جریان ورودی} - \text{جریان خروجی} = D_{IZ}(\theta_f - \theta_i) \qquad (۱-۱۶)$$

که در آن جریان ورودی و خروجی = مقدار کل آبی که طی یک دوره زمانی مشخص (مثل یک ساعت یا یک روز و یا یک ماه) به حجم معینی از خاک وارد و یا خارج می‌شود و معمولاً بر حسب میلی‌متر توصیف می‌شوند.

سایر علائم معادله عبارتند از:

Δs = تغییر رطوبت در حجم کنترل شده خاک در طی دوره زمانی مشخص که بر حسب سانتی‌متر یا میلی‌متر توصیف می‌گردد.

D_{IZ} = عمق توسعه ریشه‌ها

θf = رطوبت حجمی خاک در انتهای دوره مورد نظر (اعشار)

θ_i = رطوبت حجمی خاک در شروع دوره مورد نظر (اعشار)

برای این منظور رطوبت خاک در ابتدا و انتهای دوره معینی اندازه‌گیری و مقادیر آب ورودی و خروجی از زمین نیز اندزه‌گیری و از روی آن‌ها تبخیرتعرق تخمین زده می‌شود. در مقیاس کوچک ساده‌ترین وسیله

لایسیمتر است. لایسیتر یک تانک با ابعاد مشخص است که در داخل خاک قرار گرفته و لذا امکان اعمال معادله در آن وجود دارد. برخی لایسیمترها وزنی بوده و می‌توان Δs را از روی وزن تانک بدست آورد اما لایسیمترهای غیر وزنی تعیین Δs با اندازه‌گیری رطوبت انجام می‌شود.

۱-۲-۲- روش‌های محاسباتی تعیین تبخیرتعرق

روش‌های غیرمستقیم تعیین تبخیرتعرق که به آن‌ها روش‌های محاسباتی گفته می‌شود همگی براساس فرمول زیر استوارند:

$$ET = K_c\, ET_o \qquad (۱۸-۱)$$

ET = تبخیرتعرق گیاه مورد نظر

ET_o = تبخیرتعرق پتانسیل (تبخیرتعرق گیاه مورد مرجع)

K_c = ضریب گیاهی

در فرمول فوق ET_O ممکن است تبخیرتعرق پتانسیل و یا تبخیرتعرق گیاه مرجع باشد. تبخیرتعرق پتانسیل حداکثر مقدار آبی است که اگر بدون محدودیت وجو داشته باشد می‌تواند توسط سطوح خاک و گیاه از خاک خارج شود. تبخیرتعرق پتانسیل بستگی به مقدار انرژی موجود برای عمل تبخیر داشته و از روی به روز دیگر متغیر است. تبخیرتعرق گیاه مرجع همان تبخیرتعرق پتانسیل برای یک پوشش گیاهی بخصوص است که معمولاً چمن یا یونجه انتخاب می‌شود. تعریفی که برای گیاه مرجع چمن شده است این است که ارتفاع این گیاه ۸ تا ۱۵ سانتی‌متر بوده، سطح وسیعی را در برگرفته و بطور کامل و یکنواخت زمین را پوشش داده باشد، سبز و شاداب بوده و بدون محدودیت آب تبخیرتعرق آن صورت گیرد. برای گیاه مرجع یونجه نیز تعریف مشابهی شده است. بدین معنی که بطور یکنواخت مساحت وسیعی را در برگرفته بوته‌ها سبز و شاداب و قائم با

ارتفاع ۲۰ سانتی‌متر باشند و بدون محدودیت آب تبخیرتعرق نمایند. بنابراین تبخیرتعرقی که از یک سطح پوشیده از یک گیاهان زراعی بیشتر مورد علاقه دانشمندان است اما در عمل هنوز هم چمن به عنوان گیاه مرجع کاربردی بیشتری دارد. کاربری گیاه مرجع برای تعیین تبخیرتعرق پتانسیل این است که تبخیرتعرق پتانسیل به دلیل متفاوت بودن گیاهان مختلف از نظر زبری سطح پوشش و ضریب بازتاب انرژی و یا متغیر بودن مکان‌های مختلف از نظر انرژی دریافتی از خورشید و گرمای نهان و محسوسی که از اطراف می‌رسد متفاوت است در صورتی که برای گیاه مرجع نوع چمن شرایط محیطی آن ثابت در نظرگرفته شده است.

روش‌هایی که برای محاسبه ET_o پیشنهاد شده است هر کدام از نظر داده‌های مورد لزوم نیازهای متفاوتی دارند. در برخی از آن‌ها لازم است آمار درجه حرارت روزانه وجود داشته باشد و حال آنکه برای تعدادی از روش‌ها داشتن آمار ماهانه هواشناسی کفایت می‌کند. برخی از روش‌ها علاوه بر دما به آمار رطوبت نسبی و سرعت باد نیز نیاز دارند و برای برخی از روش‌ها باید آمار تابش خورشید یا ساعات آفتابی روز هم وجود داشته باشد و بطور خلاصه تعدادی از روش‌ها اساس فیزیک دارند و تعدادی فقط از روی تجربه بدست آمده‌اند. این روش‌ها را می‌توان کلا در٤ گروه تقسیم کرد که عبارتند از :

۱. روش‌های تجربی
۲. روش‌های مرسوم به آیرودینامیک
۳. روش‌های مرسوم به توازن انرژی
٤. روش‌های که از ترکیب دو روش توان انرژی و آیرودینامیک حاصل شده و به نام روش‌های ترکیبی معروفند.