

واسنجی روش‌های برآورد تبخیر و تعرق پتانسیل گیاه مرجع (ET_0) و محاسبه‌ی نیاز آبی

گیاه (ET_C) زیتون در استان کرمانشاه

سید حسین میرموسوی* - استادیار گروه جغرافیا، دانشگاه زنجان

حمید پناهی - استادیار دانشگاه علوم انتظامی تهران

حمید اکبری - کارشناس ارشد اقلیم‌شناسی در برنامه‌ریزی محیطی دانشگاه زنجان

یونس اکبرزاده - کارشناس ارشد اقلیم‌شناسی دانشگاه زنجان

پذیرش مقاله: ۱۳۹۰/۱۰/۲۰ تأیید نهایی: ۱۳۹۱/۰۲/۰۸

چکیده

برآورد نیاز آبی، از مهم‌ترین عوامل در مدیریت منابع آب و از ضروریات هر طرح آبیاری و زهکشی به‌شمار می‌رود. برای تعیین نیاز آبی، بایستی تبخیر و تعرق پتانسیل گیاه مرجع (ET_0) را برآورد کرد. با توجه به اینکه روش‌های گوناگونی برای این منظور توصیه شده است، ولی انتخاب روش مناسب یکی از مشکلات تصمیم‌گیری در این مورد است. در این پژوهش از پنج ایستگاه منتخب در استان کرمانشاه با طول دوره‌ی آماری بین ۱۷ تا ۵۴ سال استفاده شده است. روش‌های محاسبه ET_0 به پنج روش فائو - پنمن - مانتیث، ترنت وایت، بلانی کریدل اصلاح شده، هارگریوز و پنمن اصلاح شده بر اساس داده‌های ماهانه و سالانه است. با بررسی مقادیر محاسبه شده برای تبخیر و تعرق پتانسیل و با توجه به توصیه‌های سازمان هواشناسی جهانی، از بین پنج روش فوق، مشخص شد که روش فائو - پنمن - مانتیث، برآورد دقیق‌تری برای ET_0 ارائه می‌کند. همچنین نتایج نشان داد که حداکثر میزان ET_0 ماهانه و سالانه، به ترتیب ۸/۵ و ۴۸/۹ میلی‌متر مربوط به ایستگاه روانسر و حداقل آن به ترتیب ۵/۸ و ۳۸/۴ میلی‌متر مربوط به ایستگاه کنگاور است و بیشترین نیاز آبی سالانه برای ایستگاه روانسر با مقدار ۹۲۳/۳ میلی‌متر به‌دست آمد.

کلیدواژه‌ها: تبخیر و تعرق پتانسیل، نیاز آبی، کرمانشاه، روش ترکیبی فائو-پنمن - مانتیث.

مقدمه

عدم استفاده بهینه از آب آبیاری، محدودیت منابع و نیازهای فزاینده‌ی بشری به آب و غذا، ایجاب می‌کند تا مهندسان آبیاری با اعمال شیوه‌های مدیریتی، به صرفه‌جویی در مصرف آب و افزایش بازده آبیاری اقدام کنند. تبخیر و تعرق یکی از عوامل مهمی است که دانستن مقدار دقیق آن، برای برآورد آب مصرفی گیاه و طراحی سیستم‌های آبیاری ضروری است. تعیین دقیق مقدار آبی که برای تبخیر و تعرق مصرف می‌شود، از عوامل تعیین‌کننده‌ی برنامه‌ریزی برای رسیدن به محصول بیشتر است. در اغلب روش‌هایی که برای تعیین میزان تبخیر و تعرق ارائه شده‌اند، مقدار تبخیر و تعرق پتانسیل گیاه مرجع (ET_0) تخمین زده می‌شود و با استفاده از آن، نیاز آبی گیاه مورد نظر محاسبه می‌شود.

برآورد مقادیر تبخیر و تعرق پتانسیل برای محاسبه‌ی نیاز آبی در راستای برنامه‌ریزی کشاورزی برای محصولات مختلف، از اهمیت زیادی برخوردار است. انتقال آب از سطح خاک به هوا را تبخیر و خارج شدن آن از گیاه را تعرق گویند. این دو پدیده هر دو ماهیت تبخیری داشته و تفکیک آنها از یکدیگر امکان‌پذیر نیست. مجموع تبخیر و تعرق در اصطلاح به نام تبخیر - تعرق در نظر گرفته می‌شود و آن را با نماد ET نشان می‌دهند. منظور از تعیین تبخیر - تعرق، مقدار آبی است که باید به یک پوشش زراعی داده شود تا در طول دوره‌ی رویش، صرف تبخیر و تعرق کرده و بدون اینکه با تنش آبی مواجه شود، رشد خود را تکمیل و حداکثر مقدار محصول را تولید کند (امام‌قلی‌زاده، ۱۳۸۵).

تبخیر و تعرق، پتانسیل یا بالقوه‌ی حداکثر مقدار آبی است که اگر بدون محدودیت وجود داشته باشد، می‌تواند توسط سطوح خاک و گیاه از آنها خارج شود (علیزاده، ۱۳۸۵). یکی از روش‌های بهبود مدیریتی مصرف آب در مزرعه، تخمین دقیق میزان آب مصرفی گیاه از طریق محاسبه‌ی مقادیر ET_0 است. روش‌های که برای محاسبه ET_0 پیشنهاد شده است، هر کدام از نظر داده‌های مورد لزوم نیازهای متفاوتی دارند (ادهمی مجرد، ۱۳۷۳). پس از آنکه تبخیر - تعرق پتانسیل محاسبه شد، ضریب گیاهی محصول K_C نیز محاسبه شده و با ضرب کردن آنها در یکدیگر مقدار نیاز آبی محصول به دست می‌آید.

در ارتباط با نقش متغیرهای اقلیمی و تأثیر آن در گیاهان زراعی، مطالعات زیادی انجام شده است. برای نمونه به بخشی از آنها اشاره می‌شود:

چاهون^۱ و همکاران (۲۰۰۱) در اندازه‌گیری باران و برآورد بارش مؤثر برای محصولات دیم و آبی، بارندگی مؤثر را مقداری از بارندگی دانستند که در منطقه‌ی ریشه‌ی گیاه ذخیره می‌شود. آنان برای برآورد بارش مؤثر دو عامل را دخیل می‌دانند: عامل اول، مقدار کل بارندگی و عامل دوم، مقدار ذخیره شده‌ی رطوبت در منطقه‌ی

ریشه است. آنان در مطالعه‌ی خود برای برآورد بارش مؤثر از روش USDA^۱ (سازمان کشاورزی ایالات متحده) و برای برآورد نیاز آبی و نیاز خالص آبیاری، از مقادیر تبخیر و تعرق پتانسیل و ضرایب رشد گیاهی استفاده کردند.

ایان و ایزا (۲۰۰۳)^۲، در مطالعات خود به این نتیجه رسیدند که درخت زیتون نسبت به تبخیر و تعرق کمتر از ۵ میلی‌متر در روز واکنشی نشان نمی‌دهد؛ ولی با افزایش مقدار تبخیر و تعرق، عکس‌العمل نشان خواهد داد، در این هنگام برای جبران کم‌آبی، نیاز به آبیاری است. در این پژوهش بر نقش مدیریت منابع آب در مزارع زیتون در فصولی که تبخیر و تعرق بالاست تأکید شده است.

چن و همکاران (۲۰۰۵) در مطالعات خود در زمینه‌ی تعیین بهترین روش برای برآورد تبخیر تعرق پتانسیل در کشور تایوان، از روش‌هایی چون، پنمن - مانیتیت و فائو استفاده کردند و به این نتیجه رسیدند که روش پنمن - مانیتیت برآورد دقیق‌تری نسبت به روش‌های دیگر ارائه می‌دهد.

رائو و همکاران (۲۰۱۱) در مطالعه‌ای به مدل‌سازی تبخیر و تعرق پتانسیل در کارولینای شمالی آمریکا پرداختند. در این مطالعه از روش‌های فائو، مدل هامون^۳ و مدل پریستلی - تیلور استفاده کردند و به این نتیجه رسیدند که مدل پریستلی - تیلور^۴ نتایج بسیار دقیقی از میزان تبخیر و تعرق پتانسیل را ارائه می‌دهد. فرشی و همکاران (۱۳۷۴) نیاز آبی گیاهان را در ایران با استفاده از عوامل هواشناسی مؤثر در تبخیر و تعرق پتانسیل و روش‌های تجربی مورد بررسی قرار داده و نتایج کار خود را بر اساس محاسبات رایانه‌ای به‌صورت جداولی برای گیاهان زراعی ارائه کردند.

نادری و همکاران (۱۳۷۸) در پژوهش خود به مقایسه‌ی روش‌های مختلف برآورد تبخیر و تعرق پتانسیل با داده‌های لایسیمتر در مشهد با استفاده از داده‌های هواشناسی مقادیر ET_0 با چند روش معتبر اقدام کردند. مقایسه‌ی این روش‌ها با نتایج لایسیمتر نشان داد که روش‌های پنمن - مانیتیت - فائو، جنسن - هیز و پنمن کیمبولی، برآورد دقیق‌تری برای ET_0 ارائه می‌کند.

فرهودی و شمسی‌پور (۱۳۷۹)، مقادیر تبخیر و تعرق پتانسیل را در ایستگاه‌های منتخب منطقه‌ی بلوچستان جنوبی با استفاده از روش‌های ترنت وایت - بلانی کریدل و تشتک تبخیر محاسبه کردند. بر اساس این پژوهش، بیشترین میزان تبخیر و تعرق پتانسیل سالانه در ایستگاه قصر قند و کمترین آن مربوط به ایستگاه کهیر و طبس است.

علیزاده و همکاران (۸۰-۱۳۷۹) به بررسی دقت عملکرد تعرق پتانسیل با روش‌های هارگریوز - سامانی و

1. United States Department of Agriculture
2. Ian Nubrg and Isa Yunsa
3. Hamon
4. Priestley-Taylor

تشتک تبخیر در خراسان پرداختند که یافته‌های آنها نشان داد که روش تشتک تبخیر در برآورد تبخیر و تعرق پتانسیل نتایج قابل قبولی ارائه می‌کند.

بداق جمالی و همکاران (۱۳۸۱) به بررسی نیاز خالص آبیاری در استان خراسان بر مبنای مقادیر تبخیر و تعرق پتانسیل به روش هارگریوز اقدام کردند و به این نتیجه رسیدند که رابطه‌ی مستقیمی بین تولید محصول و شاخص تنش آب وجود دارد. آنان استان خراسان را از نظر نیاز خالص آبیاری پهنه‌بندی کردند. عزیززاده و همکاران (۱۳۸۳) در مطالعه‌ای به ارزیابی روش‌های برآورد تبخیر و تعرق در مناطق خشک ایران اقدام کردند. نتایج مقایسه‌ی روش‌های مختلف برآورد تبخیر و تعرق گیاه مرجع با اندازه‌گیری از لایسمتر وزنی نشان داد که روش‌های پنمن - مانیتیت، پنمن - فائو اصلاح شده، دارای بهترین برآورد و روش جنسن - هیز دارای کمترین دقت است.

محمدیان و همکاران (۱۳۸۵) نیز در مطالعات خود به بررسی اثرات خشکی، دما، رطوبت و تبخیر و تعرق مرجع در منطقه‌ی مشهد و گرگان روی محصولات زراعی پرداختند. این پژوهش با استفاده از روش فائو - پنمن - مانیتیت به بررسی نیاز آبی گیاهان منطقه پرداخته است و نتایج آن نشان داد که ایستگاه گل‌مکان به شرایط مرجع بسیار نزدیک است.

روشن و همکاران (۱۳۹۰) در مطالعات خود در زمینه‌ی ارزیابی مدل مناسب تبخیر و تعرق بالقوه در ایران، از چهار روش تورنت وایت، جنسن - هیز، بلانی - کریدل و هارگریوز - سامانی استفاده کردند و به این نتیجه رسیدند که روش بلانی - کریدل همخوانی بهتری با شرایط ایران دارد.

به‌طور کلی می‌توان گفت اهداف این پژوهش عبارتند از:

۱. تعیین بهترین روش برآورد تبخیر و تعرق پتانسیل برای گیاه زیتون با توجه به شرایط اقلیمی استان کرمانشاه.
۲. برآورد نیاز آبی و نیاز آبیاری زیتون در طول دوره‌ی رشد گیاه جهت مدیریت بهینه‌ی آبیاری گیاه.
۳. شناسایی پتانسیل‌های اقلیمی استان در زمینه‌ی کشت زیتون.
۴. ارائه‌ی راهکارها و پیشنهادها مناسب برای کشت زیتون و مدیریت بهینه‌ی آبیاری این گیاه.

مواد و روش‌ها

در این بررسی اطلاعات هواشناسی (روزانه و ماهانه) ایستگاه‌های منتخب سینوپتیک استان کرمانشاه از سازمان هواشناسی کشور دریافت شد. این استان با گستره‌ای به مساحت ۲۵۲۵۹ کیلومتر مربع در غرب کشور قرار گرفته که بین ۳۳ درجه و ۴۰ دقیقه تا ۳۵ درجه و ۱۷ دقیقه‌ی عرض شمالی و ۴۵ درجه و ۲۴ دقیقه تا ۴۸ درجه و ۳۰ دقیقه طول شرقی از نصف‌النهار گرینویچ قرار گرفته و ارتفاع متوسط آن از سطح دریا ۱۲۰۰

متر است. مشخصات ایستگاه‌ها در جدول شماره ۱ نشان داده شده است.

جدول ۱. مشخصات و موقعیت جغرافیایی ایستگاه‌های منتخب استان کرمانشاه

ردیف	نام ایستگاه	عرض جغرافیایی	طول جغرافیایی	ارتفاع (متر)	طول دوره‌ی آماری
۱	کرمانشاه	۳۴ درجه و ۳۰ دقیقه	۴۷ درجه و ۹ دقیقه	۱۳۱۸	۱۹۵۱-۲۰۰۵
۴	کنگاور	۳۴ درجه و ۳۰ دقیقه	۴۷ درجه و ۵۹ دقیقه	۱۴۶۸	۱۹۸۷-۲۰۰۵
۵	اسلام‌آباد غرب	۳۴ درجه و ۷ دقیقه	۴۶ درجه و ۲۸ دقیقه	۱۳۴۸	۱۹۸۷-۲۰۰۵
۶	روانسر	۳۴ درجه و ۴۳ دقیقه	۴۶ درجه و ۳۹ دقیقه	۱۳۷۹	۱۹۸۸-۲۰۰۵
۷	سرپل ذهاب	۳۴ درجه و ۲۷ دقیقه	۴۵ درجه و ۵۲ دقیقه	۵۴۵	۱۹۸۶-۲۰۰۵

برای بازسازی نقایص آماری ایستگاه‌ها از روش تفاضل و نسبت‌ها و برای آزمون همگنی داده‌ها، از آزمون ناپارامتری RUNS در نرم‌افزار SPSS استفاده شده است. براساس نتایج این آزمون تمام داده‌ها در سطح ۰/۰۵ همگن بودند. سپس با استفاده از نرم‌افزار Crop water و روش‌های مرسوم تجربی بر مبنای آمار متوسط دما، حداقل و حداکثر دما (سلسیوس)، میانگین رطوبت نسبی (درصد)، میانگین سرعت باد (متر در ثانیه در ارتفاع ۲ متری)، تعداد ساعت‌های آفتابی بر اساس داده‌های روزانه، مقادیر تبخیر - تعرق پتانسیل با استفاده از پنج روش متداول فائو - پنمن - مانتیث، پنمن اصلاح شده، بلانی کریدل اصلاح شده، ترنت وایت و هارگریوز به‌دست آمد که این روش‌ها را اکثر محققان برای کشور ایران مورد استفاده قرار دادند. در ادامه نیاز آبی محصول زیتون محاسبه و بر اساس همین مقادیر، نقشه‌های هم تبخیر و تعرق پتانسیل و نیاز آبی سالانه به‌کمک نرم‌افزار Arc/GIS رسم شد.

روش فائو - پنمن - مانتیث

روش فائو - پنمن - مانتیث یکی از معتبرترین روش‌ها برای تخمین ET_0 به‌شمار می‌رود و مورد توجه متخصصان قرار دارد. پژوهش‌های انجام گرفته در نقاط مختلف جهان، بیان‌کننده‌ی این نکته است که دقت مقادیر تبخیر و تعرق برآورد شده با معادله‌ی فائو - پنمن - مانتیث در مقایسه با مقادیر اندازه‌گیری شده لایسمتری از دیگر معادله‌های تخمین بهتر است (آلن^۱ و همکاران، ۱۹۹۸). این معادله به‌منزله‌ی تنها روش استاندارد برای محاسبه‌ی تبخیر و تعرق گیاه مرجع و نیز برای ارزیابی دیگر روش‌ها پیشنهاد شده است (هارگریوز^۲، ۱۹۹۴).

معادله‌ی فائو - پنمن - مانتیث به‌شکل رابطه‌ی شماره ۱ است (علیزاده، ۱۳۸۵):

$$ET_o = \frac{0.408 \Delta (R_n - G) + [890 / (T + 273)] U_2 (e_a - e_d)}{\Delta + \gamma (1 + 0.34 U_2)} \quad \text{رابطه‌ی (۱)}$$

که در آن:

ET_o : تبخیر - تعرق گیاه مرجع (mm/day);

R_n : تابش خالص در سطح پوشش گیاهی ($MJm^{-2}d^{-1}$);

T : متوسط دمای هوا در ارتفاع ۲ متری از سطح زمین ($^{\circ}C$);

U_2 : سرعت باد در ارتفاع ۲ متری از سطح زمین ms^{-1} ;

$e_a - e_d$: کمبود فشار بخار در ارتفاع ۲ متری (kpa);

Δ : شیب منحنی فشار بخار ($KPa^{\circ}C^{-1}$);

γ : ضریب رطوبتی ($KPa^{\circ}C^{-1}$);

G : شار گرما به داخل خاک ($MJm^{-2}d^{-1}$).

از آنجا که آمار تابش خالص R_n کمتر در دسترس است، از آمار ساعات آفتابی استفاده شد.

روش پنمن اصلاح شده (فائو)

از زمان ارائه‌ی معادله‌ی اصلی پنمن در سال ۱۹۴۸، اصلاحات بسیاری روی آن انجام شده که غالب این اصلاحات مربوط به ثوابت مرتبط با باد است. یکی از این اصلاحات از سوی فائو (علیزاده و همکاران، ۱۳۸۰-۱۳۷۹) انجام گرفته و به معادله‌ی پنمن اصلاح شده (فائو) مشهور است. این معادله به صورت رابطه‌ی شماره‌ی ۲ است (علیزاده، ۱۳۸۵):

$$ET_o = C_p (WR_n + (1 - W)(0.27)(1 + U/100)(e_s - e_a)) \quad \text{رابطه‌ی (۲)}$$

ET_o : تبخیر - تعرق گیاه مرجع بر حسب میلی‌متر در روز؛

C_p : فاکتور اصلاحی مربوط به حداکثر رطوبت نسبی، تابش خورشیدی، سرعت باد روزانه و همچنین نسبت سرعت باد روزانه به سرعت باد شبانه؛

R_n : تابش خالص بر حسب تبخیر معادل (میلی‌متر در روز)؛

U : سرعت باد ۲۴ ساعته در ارتفاع ۲ متری از سطح زمین برحسب متر در ثانیه که از رابطه‌ی $U_{2m} = U_z [2/Z]^{0.15}$ (علیزاده، ۱۳۸۴) به دست می‌آید

e_s : فشار بخار اشباع به دست آمده در دمای میانگین بر حسب هکتوپاسکال؛

e_a : میانگین فشار بخار واقعی که به صورت مقدار فشار بخار اشباع در میانگین روزانه‌ی دمای نقطه‌ی

شبمن به دست آمده است (برحسب هکتو پاسکال)؛

W : فاکتور وزنی بی‌بعد که با رابطه‌ی شماره‌ی ۳ محاسبه می‌شود:

$$W = (\Delta / (\Delta + \gamma)) \quad \text{رابطه‌ی ۳}$$

Δ : شیب منحنی فشار بخار اشباع تابعی از درجه حرارت در نقطه‌ی مورد نظر، برحسب هکتوپاسکال بر درجه‌ی سانتی‌گراد؛

γ : ثابت رطوبت‌سنجی برحسب هکتوپاسکال بر درجه‌ی سانتی‌گراد.

روش بلانی کریدل اصلاح شده (فائو)

مقادیر تبخیر و تعرق پتانسیل به‌روش بلانی کریدل (فائو) از رابطه‌ی شماره‌ی ۴ محاسبه می‌شود (محمدی و همکاران، ۱۳۷۶).

$$ET_0 = A_B + B_B [P (0.46T + 8)] \quad \text{رابطه‌ی ۴}$$

ET_0 : تبخیر - تعرق گیاه مرجع برحسب میلی‌متر در روز؛

$A_B - B_B$: ضرایب اصلاحی بر مبنای حداقل رطوبت نسبی و برآوردهای تابش خورشیدی و سرعت باد روزانه؛

P : درصد متوسط روزانه‌ی ساعات آفتابی به کل ساعات آفتابی سالانه در ماه معین؛

T : میانگین درجه حرارت هوا در دوره‌ی زمانی برحسب درجه‌ی سانتی‌گراد.

روش هارگریوز

از این روش می‌توان برای محاسبه‌ی مقادیر ET_0 استفاده کرد. این معادله به‌شکل رابطه‌ی شماره‌ی ۵ است (فرشی و همکاران، ۱۳۸۲):

$$ET_0 = 0.0023 R_a (T + 17.8) \sqrt{TR} \quad \text{رابطه‌ی ۵}$$

ET_0 : تبخیر - تعرق پتانسیل گیاه مرجع بر حسب میلی‌متر در روز؛

TR : تفاوت حداکثر و حداقل دما برحسب درجه سانتی‌گراد؛

R_a : تابش برون زمینی برحسب تبخیر معادل (میلی‌متر در روز)؛

T : متوسط درجه حرارت روزانه‌ی هوا در ماه مورد نظر برحسب درجه سانتی‌گراد.

روش ترنت وایت

در روش ترنت وایت تبخیر - تعرق پتانسیل برای هر یک از ماه‌های سال محاسبه شد.^۱

تعیین نیاز آبی محصول زیتون

پس از محاسبه‌ی ET_0 با یکی از روش‌های فوق، لازم است برای هر دوره‌ای که ET_0 محاسبه شده است با ضرب کردن در ضریب گیاهی محصول (K_C) نیاز آبی (ET) را به دست آورد.

در این پژوهش محصول اقتصادی زیتون که چند سالی است در رأس برنامه‌های کشاورزی منطقه قرار گرفته است، به عنوان نمونه برای برآورد نیاز آبی انتخاب شد. زیتون یکی از درختان میوه همیشه سبز است که در مناطق اطراف دریای مدیترانه به خوبی رشد می‌کند و در مناطقی که شرایط اقلیمی مناسب داشته باشند، سازگاری خوبی نشان می‌دهد (قلی زاده، ۱۳۷۸).

در این پژوهش نیاز آبی درخت زیتون با استفاده نرم‌افزار Crop water بر اساس رابطه‌ی شماره‌ی ۶ محاسبه شده است:

$$ET = K_C ET_0 \quad \text{رابطه‌ی ۶}$$

ET : نیاز آبی (تبخیر- تعرق) به میلی‌متر

ET_0 : تبخیر- تعرق پتانسیل به میلی‌متر

K_C : ضریب گیاهی محصول زیتون، بر حسب طول دوره رشد

ضریب گیاهی (K_C) ضریبی است که تبخیر و تعرق سطح مرجع را برای محاسبه تبخیر و تعرق زراعی یا باغی اصلاح می‌کند. در تمام روش‌هایی که در آنها ET_0 یا تبخیر و تعرق پتانسیل محاسبه می‌شود، برای اینکه بتوان نتایج حاصله را به سطوح پوشش گیاهی مورد نظر تعمیم داد، باید مقادیر به دست آمده را در ضریب گیاهی ضرب کرد. K_C بستگی به عواملی مانند نوع گیاه، مرحله‌ی رشد و شرایط آب‌وهوایی دارد (علیزاده، ۱۳۸۵). در این پژوهش مقادیر K_C طول دوره‌ی رشد گیاه زیتون بر اساس جدول بندی فائو منظور شده است که در جدول شماره‌ی ۲ نشان داده ملاحظه می‌شود.

جدول ۲. طول دوره‌ی رشد (به روز) و ضریب گیاهی زیتون

مجموع	مرحله‌ی نهایی	مرحله‌ی میانی	مرحله‌ی رشد و تولید	مرحله‌ی ابتدایی رشد	ویژگی گیاه زیتون
۲۷۰	۹۰	۶۰	۹۰	۳۰	طول دوره‌ی رشد (به روز)
۲/۷۰	۰/۷۰	۰/۷۰	۰/۶۵	۰/۶۵	ضریب گیاهی

منبع: سازمان خواروبار جهانی (فائو)

۱. برای آگاهی از جزئیات روش به مرجع (امامقلی زاده، ۱۳۸۵) مراجعه شود.

بارندگی مؤثر

با توجه به اینکه در یک کار پژوهشی می‌بایست همه‌ی جوانب آن مد نظر قرار گیرد، شاخص بارندگی مؤثر نیز، به‌عنوان عامل کشت که ارتباط بسیار نزدیکی با نیاز آبی دارد، در این پژوهش آورده شده است. باران مؤثر به قسمتی از باران سالانه یا فصلی گفته می‌شود که در محل ریزش، به‌طور مستقیم یا غیر مستقیم (بدون استفاده از پمپاژ و مانند آن)، برای تولید محصول مفید واقع می‌شود. اگر از مقدار بارندگی (p) که روی زمین صورت می‌گیرد، مقادیر نفوذ عمقی و رواناب آن کم شود، آنچه باقی می‌ماند باران مؤثر (p_e) است (امامقلی زاده، ۱۳۸۵).

$$Pe = P - (RO_p + DP_p) \quad \text{رابطه‌ی ۷}$$

p_e : بارندگی مؤثر؛

P : مقدار بارندگی؛

RO_p : مقدار نفوذ عمقی.

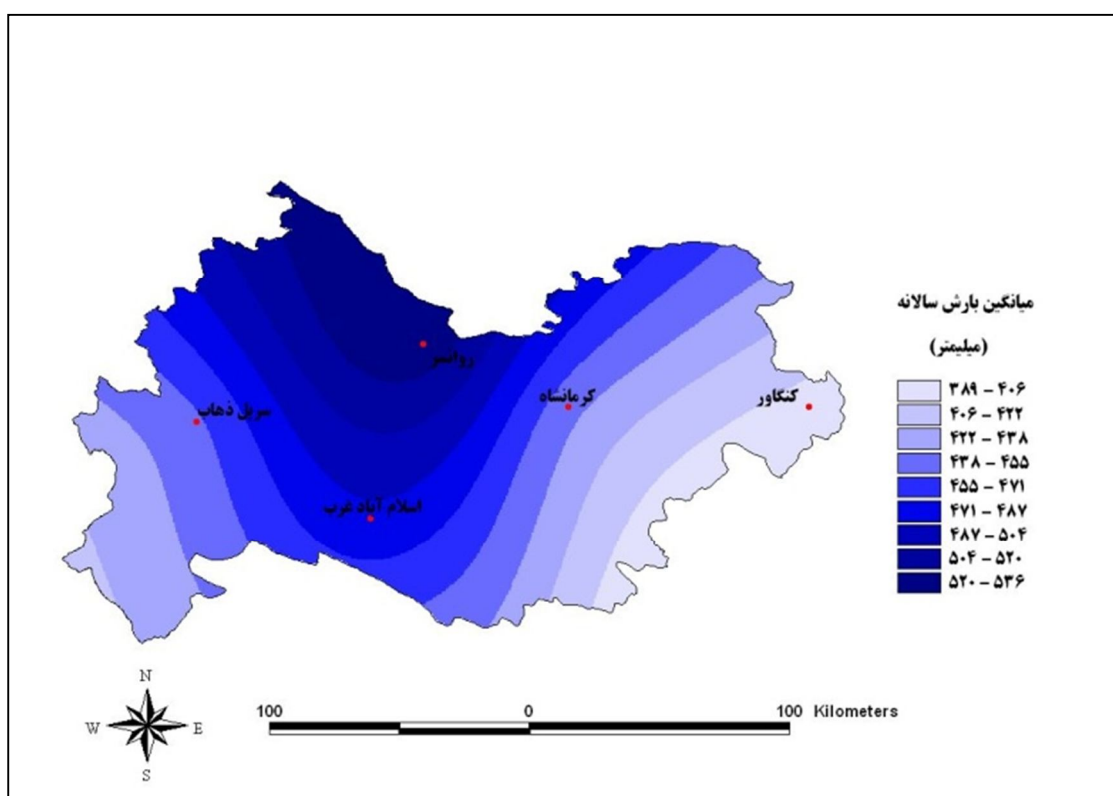
مقایسه‌ی روش‌های محاسبه‌ی تبخیر و تعرق پتانسیل گیاه مرجع و انتخاب بهترین روش برای نیاز آبی مقادیر تبخیر و تعرق پتانسیل روزانه‌ی محاسبه شده بر مبنای پنج روشی که بیان شد، در جدول شماره‌ی ۴ ارائه شده است. با نگاهی به ارقام این جدول معلوم می‌شود که بیشترین مقادیر تبخیر و تعرق پتانسیل متعلق به سه روش هارگریوز، پنمن اصلاح شده و بلانی کریدل اصلاح شده است. کمترین مقدار آن نیز متعلق به روش ترنت وایت و فائو- پنمن - مانیتیت است. شاید منطقی باشد که مقادیر محاسبه شده به‌روش هارگریوز - پنمن اصلاح شده و بلانی کریدل که بیشترین مقادیر را داراست، ملاک عمل قرار گیرد؛ اما بر اساس نتایج پژوهش‌های انجام گرفته در سطح دنیا طی پانزده سال کاربرد، اشکالاتی را برای کارشناسان ایجاد کرده است که از آن جمله، تخمین بیش از اندازه، به‌خصوص در شرایط عدم وجود انتقال انرژی به‌صورت افقی، عدم کارایی ضریب اصلاحی به‌کار رفته در روش‌های فوق و نیاز به تعدیل عامل سرعت باد اشاره کرد (شهاب فر و همکاران، ۱۳۸۳).

بنابراین از آنجاکه پنج ایستگاه کرمانشاه، کنگاور، سرپل ذهاب، اسلام آباد غرب و روانسر از تمام عوامل مورد نیاز برای برآورد تبخیر و تعرق پتانسیل به‌روش فائو - پنمن - مانیتیت (شامل متوسط دما، میانگین حداقل و حداکثر دما، میانگین رطوبت نسبی، میانگین سرعت باد و تعداد ساعات روشنایی) برخوردار بود و از سوی دیگر، بنابر پیشنهاد محققان صاحب‌نظر و سایر مراجع معتبر علمی، این روش در برآورد تبخیر و تعرق پتانسیل دارای رتبه‌ی اول و موقعیتی منحصربه‌فرد در سطح جهان است، بنابراین روش فائو - پنمن - مانیتیت به‌عنوان بهترین روش انتخاب شد و بر اساس داده‌های به‌دست آمده از این روش، نیاز آبی محصول زیتون

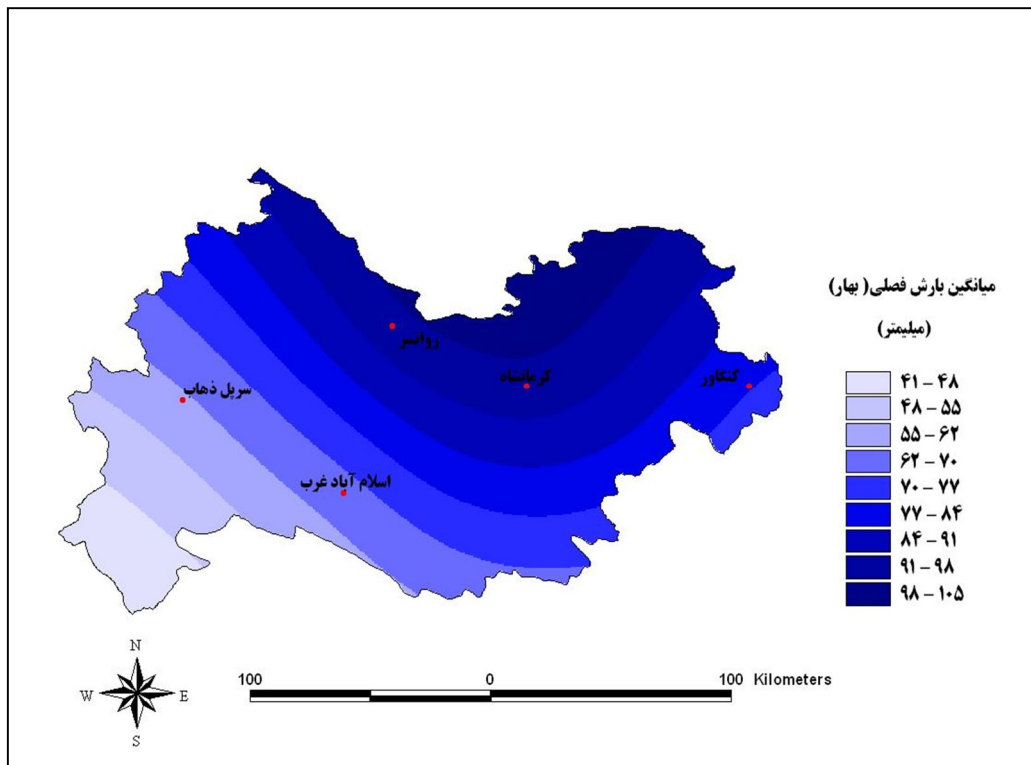
محاسبه (جدول شماره ۶) و سپس نقشه‌های هم تبخیر ماهانه (شکل‌های ۴ و ۵) و نیاز آبی سالانه رسم شد (شکل شماره ۶). در نهایت با در نظر گرفتن میزان بارندگی سالانه، بارندگی مؤثر در هریک از ایستگاه برای مقایسه‌ی مقادیر ریزش بارش سالانه و نیاز آبی محصول زیتون برآورد شد (جدول شماره ۶).

جدول ۳. میانگین بارش سالانه و فصلی (بهار و تابستان) استان کرمانشاه

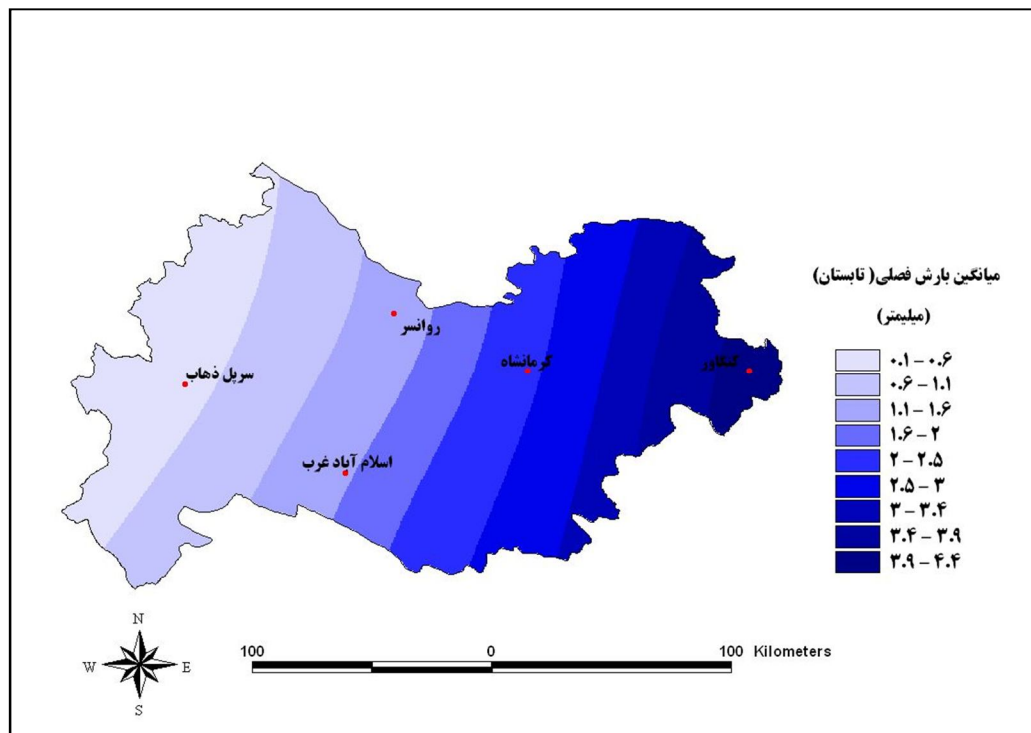
ردیف	نام ایستگاه	میانگین بارش سالانه (mm)	میانگین بارش فصل بهار (mm)	میانگین بارش فصل تابستان (mm)
۱	کرمانشاه	۴۴۴/۹	۹۵/۷۸	۲/۴۵
۴	کنگاور	۴۰۰/۱	۷۷/۹	۴/۲
۵	اسلام‌آباد غرب	۴۸۳/۵	۶۷/۴	۱/۶۱
۶	روانسر	۵۳۰/۱	۹۶	۱/۴۲
۷	سرپل ذهاب	۴۵۳/۶	۶۱/۴۶	۰/۵۲



شکل ۱. میانگین بارش سالانه‌ی استان کرمانشاه



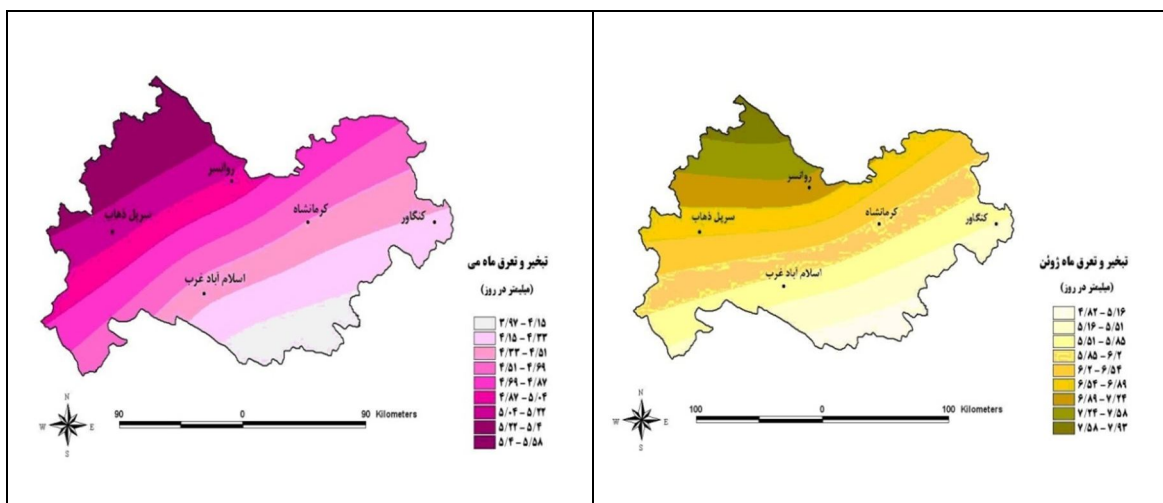
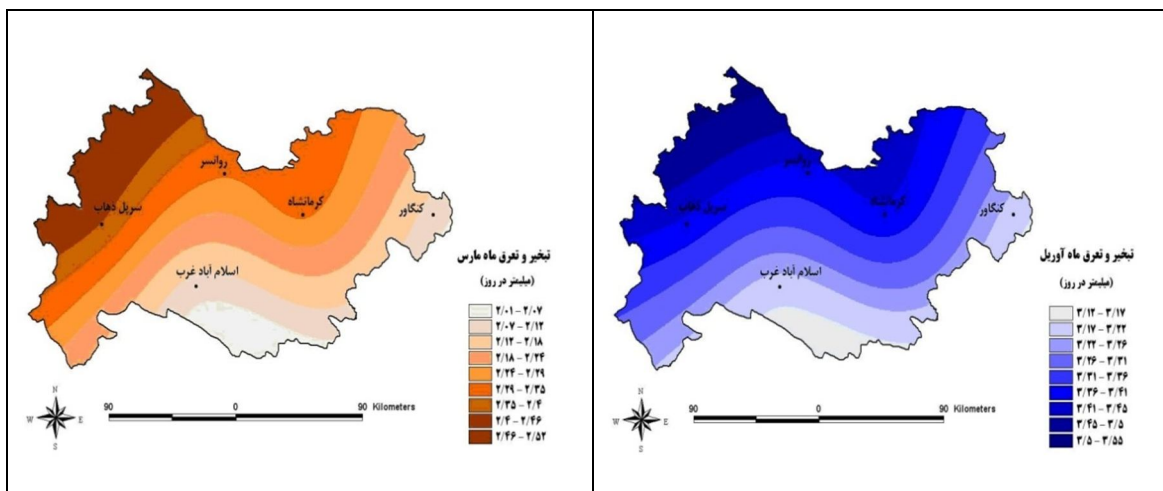
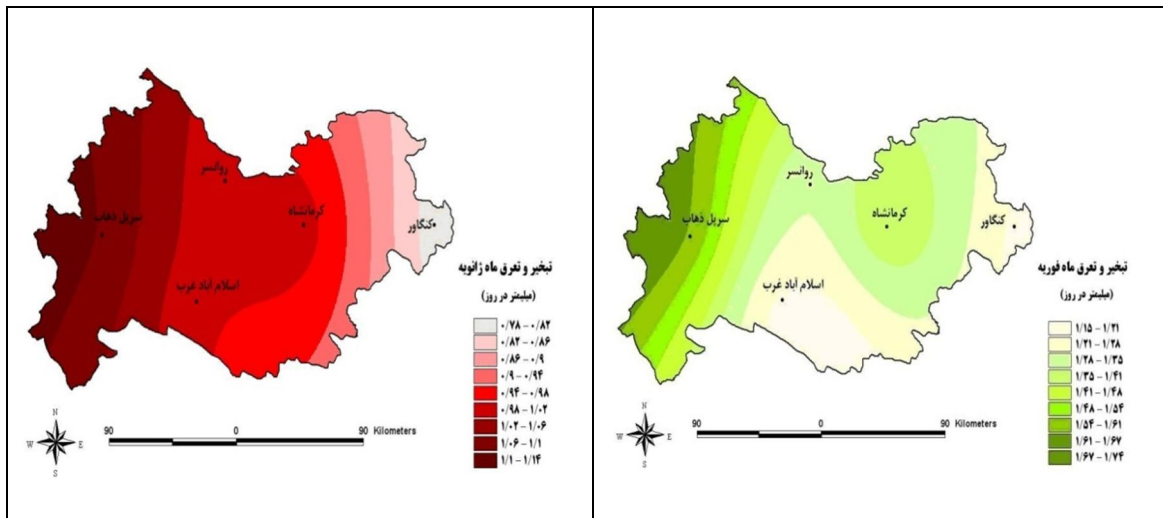
شکل ۲. میانگین بارش فصلی (بهار) استان کرمانشاه



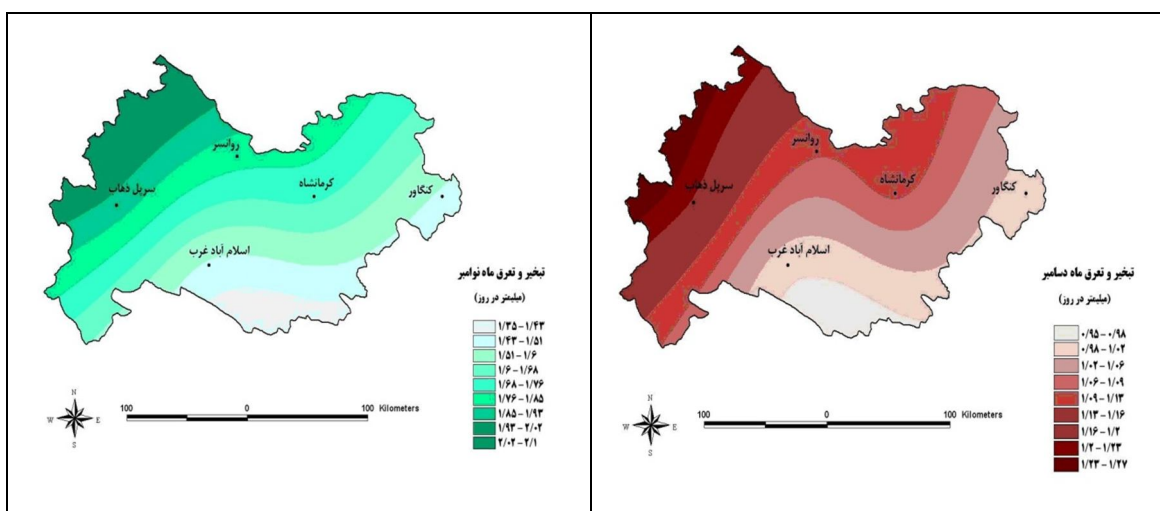
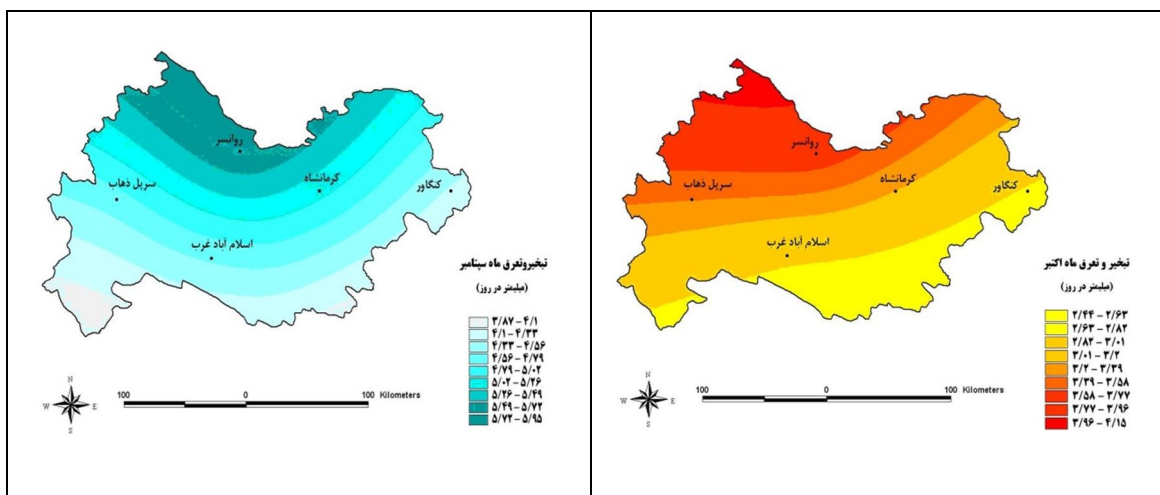
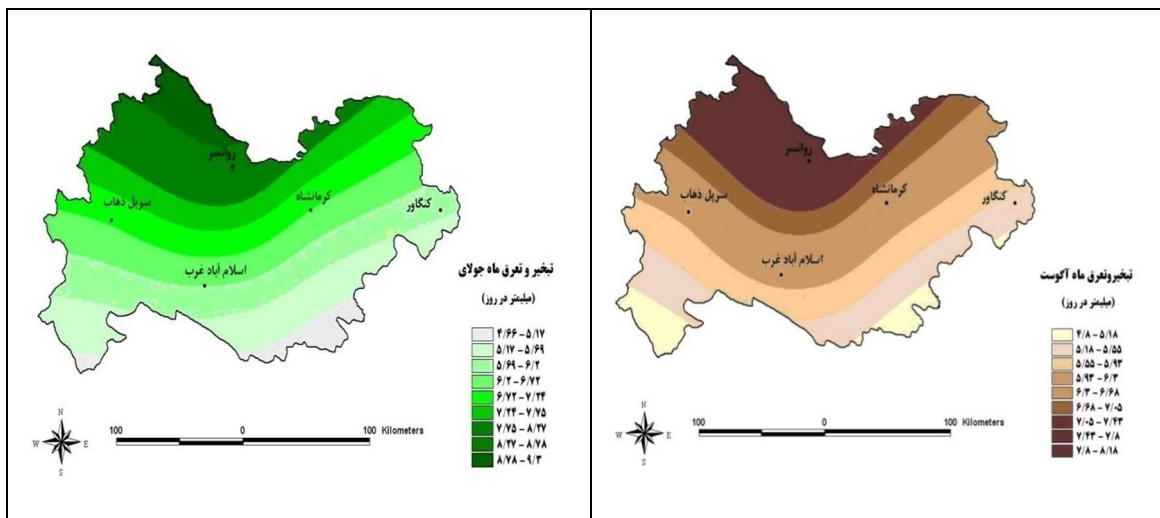
شکل ۳. میانگین بارش فصلی (تابستان) استان کرمانشاه

جدول ۴. مقادیر متوسط روزانه تبخیر و تعرق پتانسیل در هر ماه و میزان سالانه آن به میلی‌متر

ایستگاه	ژان	Feb.	mar	Apr	may	June	July	Aug	Sep	Oct	Nov	Des	Annual	روش
کرمانشاه	۱/۳	۲	۲/۳	۴/۶	۵/۹	۷/۹	۴/۵	۷/۹	۶/۳	۴/۱	۲/۲	۱/۳	۵۵/۲	پنمن اصلاح شده
	۱	۱/۴	۲/۳	۲/۴	۴/۵	۶/۱	۶/۷	۶/۴	۵/۱	۲/۲	۱/۷	۱/۱	۴۲/۱	فانو - پنمن - مانیتینگ
	۰/۷	۱/۳	۲	۳	۲/۱	۸/۱	۸/۳	۸/۲	۶/۳	۲	۱/۸	۰/۷	۵۴/۴	بلانی کربدل (فانو)
	۰/۰۵	۰/۱۵	۰/۶	۱/۵	۲/۹	۴/۷	۶/۱	۵/۳	۲/۴	۱/۷	۰/۶	۰/۱۷	۲۷/۵	ترنت وایت
	۱/۳	۱/۹	۲/۸	۴/۱	۵/۶	۷/۳	۷/۹	۷/۴	۵/۹	۲/۹	۲/۲	۱/۴	۵۱/۷	هارگریوز
کنگاور	۱/۱	۱/۷	۲/۹	۴/۳	۴/۵	۶/۷	۷/۳	۶/۶	۵/۲	۲/۶	۱/۸	۱/۲	۴۸/۲	پنمن اصلاح شده
	۰/۸	۱/۲	۲/۱	۲/۲	۴/۳	۵/۵	۵/۸	۵/۴	۴/۳	۲/۸	۱/۵	۱	۲۸/۴	فانو - پنمن - مانیتینگ
	۰/۳	۱	۱/۸	۲/۲	۴/۸	۷/۲	۸/۱	۷/۴	۵/۸	۲/۴	۲	۰/۵	۴۵/۶	بلانی کربدل (فانو)
	۰	۱	۰/۶	۱/۶	۲/۸	۴/۳	۵/۵	۴/۸	۲	۱/۶	۰/۶۱	۰/۱۷	۲۵/۳	ترنت وایت
	۱/۲	۱/۷	۲/۷	۴/۱	۵/۴	۷/۱	۷/۶	۷/۲	۵/۷	۲/۷	۲/۱	۱/۴	۵۰/۱	هارگریوز
سرپل ذهاب	۱/۵	۲/۲	۴/۵	۴/۵	۶/۷	۸/۵	۸/۷	۷/۷	۶/۱	۴/۳	۲/۳	۱/۵	۵۷/۴	پنمن اصلاح شده
	۱/۱	۱/۶	۲/۴	۲/۴	۵/۱	۶/۶	۶/۸	۶/۱	۴/۷	۲/۴	۱/۹	۱/۲	۴۴/۳	فانو - پنمن - مانیتینگ
	۱/۳	۱/۹	۳	۴/۷	۶/۶	۹/۲	۱۰/۱	۷/۶	۷/۱	۴/۸	۲/۳	۱/۳	۵۹/۶	بلانی کربدل (فانو)
	۰/۲	۰/۳	۰/۷	۲	۴/۳	۷/۳	۹/۲	۷/۸	۴/۹	۲/۶	۰/۸	۰/۳	۴۰/۷	ترنت وایت
	۱/۷	۲/۳	۲/۳	۴/۷	۶/۵	۷/۹	۸/۵	۸	۶/۴	۴/۴	۲/۶	۱/۷	۵۸	هارگریوز
اسلام آباد غرب	۱/۱	۱/۶	۲/۷	۴/۱	۵/۶	۷/۳	۷/۸	۷/۴	۵/۷	۲/۵	۱/۸	۱/۱	۴۹/۶	پنمن اصلاح شده
	۱	۱/۲	۲/۱	۲/۲	۴/۴	۵/۷	۶/۲	۶/۱	۴/۶	۲/۹	۱/۵	۱	۲۹/۸	فانو - پنمن - مانیتینگ
	۰/۳	۰/۸	۲/۲	۲/۲	۵	۷/۳	۸/۴	۸/۳	۴/۱	۲/۶	۲/۱	۰/۵	۴۶/۸	بلانی کربدل (فانو)
	۰/۰۴	۰/۱	۰/۶	۱/۵	۲/۸	۴/۵	۵/۷	۵/۰۳	۲/۲	۱/۷	۰/۶	۰/۲	۲۶/۲	ترنت وایت
	۱/۳	۱/۸	۲/۸	۴/۱	۵/۶	۷/۱	۷/۶	۷/۲	۵/۷	۲/۸	۲/۲	۱/۴	۵۱/۱	هارگریوز
روانسر	۱/۲	۱/۹	۲/۳	۵/۵	۶/۶	۹/۲	۹/۶	۸/۸	۶/۲	۲/۹	۱/۲	۱/۴	۶۰/۵	پنمن اصلاح شده
	۱	۱/۳	۲/۳	۲/۴	۵	۷/۱	۸/۵	۷/۸	۵/۷	۲/۷	۱/۸	۱/۱	۴۸/۹	فانو - پنمن - مانیتینگ
	۰/۳	۰/۴	۱/۲	۲/۴	۲/۶	۵/۲	۶/۱	۵/۳	۲/۵	۲/۲	۰/۹	۰/۷	۳۱/۸	بلانی کربدل (فانو)
	۰/۰۳	۰/۰۹	۰/۵	۱/۵	۲/۹	۵/۱	۶/۷	۵/۸	۲/۵	۱/۸	۰/۶	۰/۱۷	۲۹	ترنت وایت
	۱/۲	۱/۶	۲/۶	۲/۹	۵/۲	۶/۶	۷	۶/۷	۵/۴	۲/۶	۲	۱/۳	۴۷/۱	هارگریوز



شکل ۴. نقشه‌ی هم تبخیر متوسط ماهانه در شش ماه اول سال (میلی‌متر در روز)



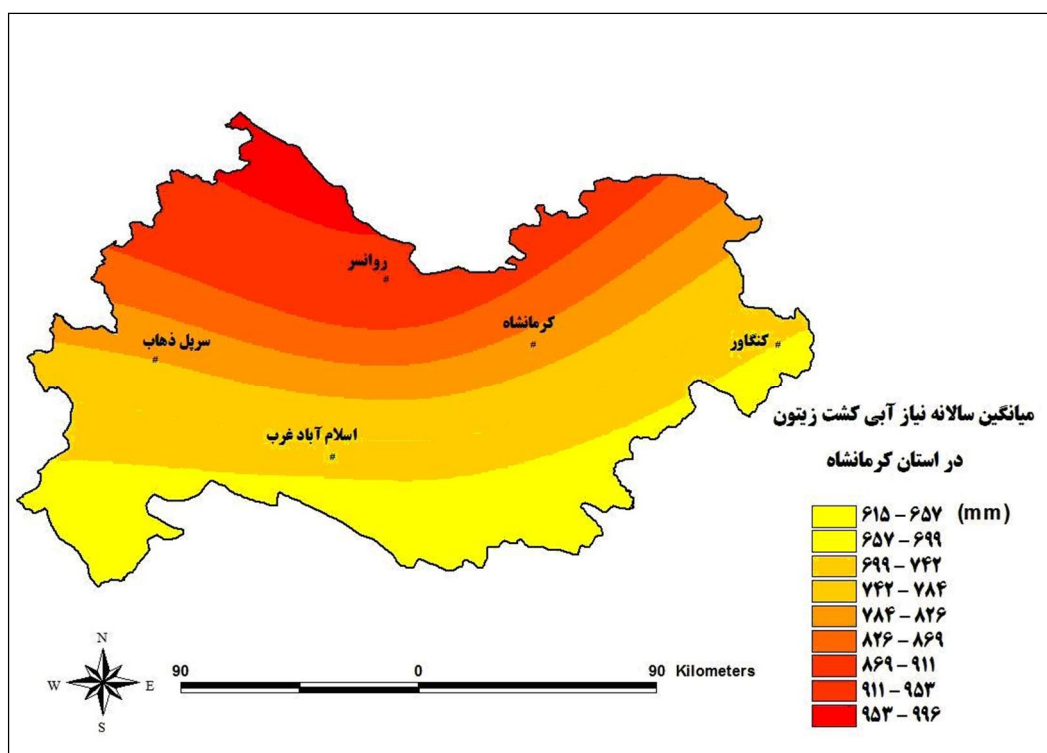
شکل ۵. نقشه‌ی هم‌تبخیر متوسط ماهانه در شش ماه دوم سال (میلی‌متر در روز)

جدول ۵. مجموع ET_0 در ماه‌های گرم (اول آوریل تا آخر اکتبر)

ردیف	نام ایستگاه	مجموع ET_0 (mm)
۱	کرمانشاه	۳۵/۴
۴	کنگاور	۳۱/۳
۵	اسلام‌آباد غرب	۳۶/۱
۶	روانسر	۳۳/۱
۷	سرپل ذهاب	۴۱/۲

جدول ۶. شاخص‌های مؤثر در کشت زیتون در ایستگاه‌های منطقه

شاخص	کرمانشاه	کنگاور	اسلام آباد غرب	سرپل ذهاب	روانسر
بارندگی سالانه (mm)	۴۴۴/۹۶	۴۰۰/۱	۴۸۳/۵	۴۵۳/۶	۵۳۰/۱۷
نیاز آبی (mm)	۸۱۰/۵	۶۹۹/۷	۷۲۰/۱	۷۸۶/۳	۹۲۳/۳
بارندگی مؤثر (mm)	۲۰۸/۹	۱۹۴/۶	۲۲۳/۷	۲۱۲/۸	۲۳۵/۵
آب مورد نیاز آبیاری (mm)	۶۰۱/۶	۵۰۵/۱	۴۹۶/۴	۵۷۳/۵	۶۷۸/۸



شکل ۶. پراکندگی نیاز آبی سالانه‌ی درخت زیتون به میلی‌متر در استان کرمانشاه

یافته‌های پژوهش

مقوله‌ی غذا و تأمین آن در دنیا از موارد ضروری حیاتی شمرده می‌شود و با توجه به رشد سریع جمعیت و محدود بودن منابع آبی با کیفیت، انتظار می‌رود مهندسان آبیاری با اعمال شیوه‌های مدیریتی و صرفه‌جویی در آب و همچنین استفاده از روش‌های آبیاری خودکار، بازدهی آبیاری را افزایش دهند. انجام این اقدامات بدون برآورد دقیق نیاز آبی امکان‌پذیر نخواهد بود.

تبخیر - تعرق پتانسیل در محاسبه‌ی نیاز آبی، یکی از عوامل مهم و مورد نیاز برای برنامه‌ریزان کشاورزی است. برآورد صحیح مقادیر تبخیر - تعرق پتانسیل، برنامه‌ریزان کشاورزی را قادر خواهد ساخت تا با مشخص کردن نیاز آبی و مقدار بارندگی مؤثر، برنامه‌ریزی‌های لازم را برای تأمین آب مورد نیاز (از طریق آبیاری منابع آبی مانند روخانه‌ها، چشمه‌ها، قنات و...) انجام دهند. از میان پنج روشی که در این مطالعه برای محاسبه‌ی مقادیر تبخیر و تعرق پتانسیل در ایستگاه‌های منتخب استان کرمانشاه استفاده شد، روش فائو - پنمن - مانیت به‌عنوان روش مناسب انتخاب شد؛ زیرا کمیسیون بین‌المللی آبیاری و زهکشی (ICID) و سازمان خواروبار جهانی (فائو)، این روش را تنها روش استاندارد برای محاسبه و ارزیابی ET_0 دانسته و نسبت به سایر روش‌ها برتر می‌دانند (فرهودی و همکاران، ۱۳۷۹). همچنین در این روش از بسیاری از متغیرهای اقلیمی (تابش، دما، رطوبت و سرعت باد) استفاده می‌شود که باعث بالا رفتن درجه اعتماد و استفاده از آن در دامنه‌ی وسیعی از مناطق مختلف شده است (علیزاده، ۱۳۸۵).

یافته‌ها نشان داد که مقدار ET_0 در استان کرمانشاه از $۰/۸$ میلی‌متر در روز در ماه ژانویه تا $۸/۵$ میلی‌متر در روز در ماه جولای متغیر است. مقادیر به‌دست آمده از تبخیر - تعرق پتانسیل و ترسیم آنها به‌صورت نقشه‌های هم تبخیر، به‌ویژه در ماه‌های گرم سال، نشان‌دهنده‌ی اختلاف مقادیر ET_0 در سطح منطقه است. نتایج حاصل از بررسی نقشه‌های هم تبخیر در ماه‌های سرد سال نشان داد که خطوط هم تبخیر در این ماه‌ها از هم فاصله می‌گیرند و جهت‌گیری مشخص ندارند که این موضوع حکایت از عدم اختلاف زیاد مقادیر تبخیر - تعرق پتانسیل در منطقه است.

بررسی نقشه‌ی پراکندگی نیاز آبی نشان می‌دهد که ایستگاه روانسر در شمال استان بیشترین و کنگاور در شرق استان کمترین نیاز آبی را برای محصول زیتون دارد. مقدار بارندگی سالانه برای بهره‌وری از درخت زیتون (روغن‌کشی، بهره‌دهی اقتصادی و بالا بردن سرمایه و درآمد کشاورزان) باید بین ۱۲۰۰ - ۷۰۰ میلی‌متر باشد، به‌همین دلیل بارش مؤثر آن نیز محاسبه شد.

داده‌های به‌دست آمده از بارش مؤثر نشان می‌دهد که با این مقدار بارندگی، امکان کشت محصول زیتون با هدف روغن‌کشی و بهره‌دهی اقتصادی وجود ندارد و فقط به‌منظور مصارف داخلی استان می‌تواند به‌صورت دیم کشت شود، مگر اینکه با استفاده از منابع آبی دیگری چون چاه و قنات و ... طی مراحل رشد آبیاری

دوره‌ای انجام داده تا محصول با تنش آبی مواجه نشود. گفتنی است که برای ورود یک محصول در چرخه‌ی اقتصادی یک منطقه، تنها عامل بارش و برآورد نیاز آبی کافی نیست، بلکه به یک سری عوامل اقلیمی (دمای تراکمی، میزان رطوبت، ساعات روشنایی و...) و زمینی (شیب زمین، توپوگرافی منطقه، نوع و بافت خاک) هم نیازمند است.

بحث و نتیجه‌گیری

به‌طور کلی نتایج عمده‌ای که این مطالعه به آن دست یافته است به‌شرح زیر است:

۱. با توجه به اینکه انتخاب بهترین روش برای محاسبه‌ی میزان تبخیر و تعرق، مهم‌ترین عامل در تعیین میزان آبی و آبیاری گیاهان زراعی است، در این مطالعه با انجام روش‌های مختلف و مشهور، بهترین روش برای محاسبه‌ی این متغیر اقلیمی، روش فائو - پنمن - مانیتث تعیین شد.
۲. مقایسه‌ی میزان تبخیر و تعرق پتانسیل در ایستگاه‌های مختلف استان، نشان‌دهنده‌ی تفاوت‌های معنادار این متغیر در بخش‌های مختلف استان بود، به‌گونه‌ای که ایستگاه کنگاور با $38/4$ میلی‌متر تبخیر و تعرق سالانه، کمترین و ایستگاه روانسر با $48/9$ میلی‌متر بیشترین مقدار را به خود اختصاص داده‌اند.
۳. محاسبه‌ی نیاز آبی درخت زیتون نیز تأثیر اختلاف زیاد را در تبخیر و تعرق بین ایستگاه‌ها به خوبی نشان داد. به‌طوری که ایستگاه کنگاور با $699/7$ میلی‌متر کمترین و ایستگاه روانسر با $923/3$ میلی‌متر بیشترین نیاز آبی را در استان دارند.
۴. محاسبه‌ی مقدار بارش مؤثر ایستگاه‌های مورد مطالعه در استان کرمانشاه، به خوبی نشان می‌دهد اختلاف زیادی بین نیاز آبی درخت زیتون (700 تا 1200 میلی‌متر) با بارش مؤثر در ایستگاه‌های منطقه وجود دارد، به‌گونه‌ای که بیشترین بارش مؤثر در ایستگاه روانسر با $235/5$ میلی‌متر و ایستگاه کنگاور با $194/6$ میلی‌متر کمترین مقدار را به خود اختصاص داده‌اند.
۵. محاسبه‌ی نیاز آبی درخت زیتون در بخش‌های مختلف استان کرمانشاه، حاکی از آن است که ایستگاه اسلام‌آباد غرب با $496/4$ میلی‌متر کمترین و ایستگاه روانسر با $678/8$ میلی‌متر دارای بیشترین نیاز آبیاری هستند.
۶. با توجه به نتایج مطرح شده‌ی فوق، هیچ یک از ایستگاه‌های مطالعه شده‌ی استان کرمانشاه، از نظر مقدار آب مورد نیاز برای کشت درخت زیتون تأمین نیستند. کشت این درخت زمانی در استان امکان‌پذیر است که کسری آب از منابع دیگری غیر از بارش تأمین شود.

۷. در بین ایستگاه‌های مورد مطالعه، ایستگاه‌های کنگاور و اسلام آباد غرب شرایط مناسب‌تری برای کشت دیم این درخت دارند؛ اما با کشت دیم، امکان تجاری‌سازی این محصول وجود ندارد و تنها می‌توان نیاز استان را برآورده کرد.

با توجه به موارد ذکر شده سه پیشنهاد برای کشت زیتون در استان کرمانشاه مطرح می‌شود:

۱. از آنجاکه بارش استان جواب‌گوی کشت محصول زیتون نیست، پیشنهاد می‌شود از طریق آبیاری، آب مورد نیاز گیاه تأمین شود.
۲. درخت زیتون با هدف بهره‌دهی داخلی به صورت دیم کشت شود.
۳. پیشنهاد می‌شود پیش از وارد کردن این گیاه به چرخه‌ی اقتصاد منطقه، عوامل دیگری چون اقلیمی، زمین، رطوبت نسبی، درجه حرارت، نوع خاک، شیب و ارتفاع منطقه را مورد نظر قرار گیرد.

منابع

- ادهمی مجرد، محمد حسین. (۱۳۷۳). **بررسی اقلیم متناسب با رویشگاه زیتون**، سازمان کشاورزی گرگان و گنبد، انتشارات فجر رایانه.
- امامقلی‌زاده مینایی، معصومه. (۱۳۸۵). **بررسی شرایط آب‌وهوایی شمال استان آذربایجان غربی به منظور کشت زیتون و پهنه‌بندی زراعی آن منطقه**، پایان‌نامه‌ی کارشناسی ارشد، گروه جغرافیای طبیعی، دانشگاه تبریز.
- بداق جمالی، جواد؛ شیر محمدی، رضا و کوهی، منصوره. (۱۳۸۱). **نیاز خالص آبیاری پنبه تحت تنش خشکی در استان خراسان**، مشهد: بولتن علمی پژوهشکده‌ی اقلیم‌شناسی مشهد.
- روشن، غلامرضا؛ خوش‌اخلاق، فرامرز؛ کریمپور، مصطفی. (۱۳۹۰). **ارزیابی و اصلاح مدل مناسب تبخیر و تعرق بالقوه در ایران**، پژوهش‌های جغرافیای طبیعی، شماره‌ی ۷۸، صص. ۴۹-۶۸.
- شهاب فر، علیرضا، احترامیان، کوروش، معتمدی، محمد. (۱۳۸۳). **پیش‌بینی کوتاه‌مدت سرمازدگی محصولات کشاورزی با استفاده از رابطه‌ی دمای حداقل در شهر مشهد**، دانشگاه آزاد اسلامی واحد اردبیل.
- ضیاء تبار احمدی، میرخالق. (۱۳۷۴). **بررسی و مقایسه روش‌های برآورد تبخیر و تعرق پتانسیل در استان مازندران**، مجله‌ی نیوار، شماره‌ی ۲۸، صص. ۴۰-۵۴.
- علیزاده، امین. (۱۳۸۴). **رابطه‌ی آب و خاک و گیاه**، چاپ پنجم، مشهد: انتشارات دانشگاه امام رضا (ع).
- علیزاده، امین. (۱۳۸۵). **اصول هیدرولوژی کاربردی**، چاپ بیستم، مشهد: انتشارات دانشگاه امام رضا (ع).
- علیزاده، امین؛ کمالی، غلامعلی؛ خانجانی، محمد جواد؛ رهنمود، محمدرضا. (۱۳۸۳). **ارزیابی روش‌های برآورد تبخیر و تعرق در مناطق خشک ایران**، فصلنامه‌ی تحقیقات جغرافیایی، شماره‌ی ۷۳، صص. ۹۷-۱۰۵.

- علیزاده، امین؛ میرشاهی، بابک؛ هاشمی نیا، مجید؛ ثنایی نژاد، حسین. (۱۳۸۰-۱۳۷۹). بررسی دقت و عملکرد تبخیر - تعرق پتانسیل محاسبه شده به روش‌های هارگریوز - سامانی و تشتک تبخیر در ایستگاه سینوپتیک استان خراسان، مجله‌ی فنی تخصصی نیوار، شماره ۴۳-۴۲، صص. ۷۰-۵۱.
- فرشی، علی اصغر و شریعتی، محمدرضا. (۱۳۷۸). الگوی مصرف آب در کشاورزی، نیاز آبی گیاهان، الگوی کشت و راندمان آبیاری، جلد شانزدهم، تهران: نشر آموزش کشاورزی.
- فرشی، علی اصغر، شریفی، محمدرضا؛ جارالهی، رقیه؛ قائمی، محمدرضا؛ شهابی‌فر، مهدی؛ تولایی، میرمسعود. (۱۳۷۴). برآورد آب مورد نیاز گیاهان زراعی و باغی کشور، جلد دوم، تهران: نشر آموزش کشاورزی.
- فرشی، علی اصغر؛ خیرایی، جمشید؛ سیادت، حمید؛ میر لطفی، مجید؛ دربندی، صمد؛ سلامت، علیرضا؛ انتظاری، محمدرضا و سادات میرئی، محمد حسین. (۱۳۸۲). مدیریت آب آبیاری در مزرعه، چاپ اول، تهران: انتشارات کمیته ملی آبیاری و زهکشی ایران.
- فرهودی، رحمتا...؛ شمسی پور، علی اکبر. (۱۳۷۹). برآورد تبخیر - تعرق پتانسیل منطقه بلوچستان جنوبی، مجله‌ی پژوهش‌های جغرافیایی، شماره‌ی ۳۹، صص. ۱۱۴-۱۰۵.
- قلی‌زاده، محمد حسین. (۱۳۷۸). بررسی پارامترهای اقلیمی مؤثر در کاشت زیتون در استان لرستان، پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشکده‌ی ادبیات و علوم انسانی، دانشگاه تربیت معلم.
- محمدی، مهدی و قریشی، رضا. (۱۳۷۶). شبیه‌سازی فاکتورهای رشد گیاهان زراعی بر اساس پارامترهای اقلیمی، مجله‌ی نیوار، شماره ۷۶، صص. ۳۲-۴۴.
- محمدیان، آزاده؛ علیزاده، امین؛ نصیری محلاتی، مهدی. (۱۳۸۵). بررسی تأثیر خشکی ایستگاه بر دما، رطوبت و تبخیر - تعرق مرجع (ایستگاه سینوپتیک مشهد)، مجله‌ی علوم کشاورزی و منابع طبیعی، سال سیزدهم، شماره‌ی اول، صص. ۴۳-۳۲.
- نادری، نادر؛ علیزاده، امین؛ اینانلو، محمد و حق نیا، غلامحسین. (۱۳۷۸). مقایسه‌ی روش‌های مختلف برآورد تبخیر و تعرق پتانسیل با داده‌های لایسیمتر در مشهد، مجله‌ی نیوار، شماره‌ی ۴۱، صص. ۷۴-۵۱.
- Allen, R.G., Pereira, L.S., Reas, D. and Smith, M., (1998), **Crop Evapotranspiration-Guidelines for Computing Crop Water Requirement**, FAO Irrigation and Drainage Paper NO.56, Rome, Italy.
- Chahon,j.,Yonts,D.andMelvin,S.,2001,**Estimating Effective Rainfall**, www.iavroubs.unl.edu/irrigation/g1099.htm.
- Hargreaves, G.H. and Samani, Z.A, (1982), **Estimating Potential Evapotranspiration**, Journal of Irrigation and Drainage Division, Vol. 108, No. IR3, PP. 225-230.
- Hargreaves, G.H., (1994), **Defining and Using Reference Evapotranspiration**, Journal of Irrigation and Drainage Engineering, Vol. 120, No. 6, PP. 1132-1139.
- Ian, N. and Isa, Y., (2003), **Olive Water Use and Yield Monitoring the Relationship**, RIRDC Publication.

Jin-Fa Chen, J.F., Yeh, H.F., Lee, Ch. H., and Lo, W. H., 2005, **Optimal Comparision of Emperical Equations For Estimating Potential Evapotranspiration in TAIWAN**, XXXI IAHR Congress, Seoul, Korea.

Rao L. Y., Sun, G., Ford, C. R., Vose, J. M., (2011), **Modeling Potential Evapotranspiration of Two Forested Watersheds in the Southern APPALACHIANS**, American Society of Agricultural and Biological Engineers, Vol. 54, No. 6, PP. 2067-2078.