فصلنامهٔ علمی-پژوهشی تحقیقات مرتع و بیابان ایران
جلد 19، شمارهٔ 1، صفحهٔ 16-1 (1391)

برآورد تبخیر و تعرق با استفاده از اطلاعات آب و هوایی، خصوصیات گیاه (مرتع) و خاک به کمک برنامه نرم‌افزار Cropwat 8.0 (مطالعه موردی: منطقه استپی استان مرکزی ایران، ایستگاه رودشور)

علی احسانی[1*]، حسین ارزانی[2]، مهدی فرحپور[3]، حسن احمدی[2]، محمد جعفری[2] و مرتضی اکبرزاده[4]

1*- نویسنده مسئول، استادیار، بخش تحقیقات مرتع، مؤسسه تحقیقات جنگلها و مراتع کشور پست الکترونیک:ehsani_arian@yahoo.com
2- استاد، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه تهران
3- دانشیار، بخش تحقیقات مرتع، مؤسسه تحقیقات جنگلها و مراتع کشور
4- استادیار، بخش تحقیقات مرتع، مؤسسه تحقیقات جنگلها و مراتع کشور

تاریخ دریافت: 88/02/30 تاریخ پذیرش: 88/11/03

چکیده

گیاهان در مراحل رشد و تولید، آب را در فرایند تعرق مصرف می‌نمایند. چه‌بسا تبخیر از سطح خاک نیز صورت می‌گیرد. مجموع این فرایندها تحت عنوان تبخیر و تعرق نام برده می‌شود. تبخیر و تعرق یکی از بخشهای مهم چرخه هیدرولوژی است. سهم تعرق از میزان تبخیر و تعرق بطور مستقیم تولید را تحت تأثیر قرار می‌دهد. امروزه تخمین دقیق این عامل علاوه بر مطالعات بیلان آبی و مطالعات هیدرولوژیکی حوزه‌های آبخیز، مدیریت و طراحی سیستم‌های آبیاری و مدیریت منابع آب و تعیین نیاز آبی گیاهان در برنامه‌ریزی و اعمال مدیریت احیاء و اصلاح مراتع به‌ویژه برای برآورد تولید علوفه بلندمدت مرتع برای تعیین ظرفیت چرا، در قالب مدل تعادل آب (Water Balance) از سوی محققان و فائو مورد کاربرد قرار گرفته است. یکی از مهمترین فاکتور محدودکننده تولید علوفه در مراتع در مناطق خشک و نیمه‌خشک کمبود بارندگی محسوب می‌گردد. در این مناطق بازدهی مصرف آب عبارت است از نسبت آب ذخیره شده در ناحیه توسعه ریشه در اول فصل رویش به‌علاوه آب ناشی از بارندگی در فصل رویش که بصورت تبخیر و تعرق مورد استفاده گیاه قرار می‌گیرد. اغلب واژه بازدهی مصرف آب به صورت نسبت تولید محصول به تبخیر و تعرق بیان می‌شود. البته مبنای برآورد نیاز آبی گیاهان محاسبه مقادیر تبخیر و تعرق پتانسیل است که با استفاده از داده‌های آب و هوایی درازمدت به روشهای مختلف ازجمله پنمن - مانتیث (فائو)، بلانی- کریدل و هارگریوز- سامانی محاسبه می‌شود. در این مطالعه مقادیر تبخیر و تعرق پتانسیل و واقعی با استفاده از روش پنمن- مانتیث (فائو) با استفاده از داده‌های آب و هوایی ایستگاه سینوپتیک ساوه و خصوصیات گیاه (مرتع) و خصوصیات خاک به‌کمک برنامه نرم‌افزار Cropwat.8.0 محاسبه شده است. نتایج نشان داد که میزان تبخیر و تعرق پتانسیل در دوره فصل رویش در منطقه 6/16 برابر میانگین تبخیر و تعرق واقعی است. بدین ترتیب میزان تبخیر و تعرق واقعی 1/18 برابر میانگین بارندگی دوره آماری فصل رویش بوده است. مفهوم آن این است که گیاه از رطوبت ذخیره شده برای تبخیر و تعرق واقعی استفاده نموده است. در نتیجه با توجه به محاسبه تبخیر و تعرق واقعی دوره ده‌ساله (ترسالی و خشکسالی)، مدل برآورد تولید علوفه مرتع تعیین شد ((Ya = 74.30+2/698(ETact)). براین اساس میانگین تولید علوفه سایت مورد مطالعه 257 کیلوگرم در هکتار برآورد گردید. بنابراین می‌توان بیان داشت که تبخیر و تعرق واقعی به‌عنوان شاخص عملکرد اقلیمی یکی از فاکتورهای اساسی در بهبود کارایی مصرف آب است. کاربرد این شاخص اقلیمی می‌تواند در مدلهای مختلف برآورد تولید بلندمدت تولید علوفه با توجه به بروز پدیده خشکسالی و ترسالی به‌منظور تعیین ظرفیت چرایی دام در مراتع و توسعه صنعت بیمه مراتع جایگزین روشهای معمول که ارزش یکسال برآورد تولید را دارد گردد.

واژه‌های کلیدی: تبخیر و تعرق، رطوبت خاک، مرتع، روش پنمن- مانتیث- فائو، مدل Cropwat.8.0، منطقه استپی استان مرکزی و ایستگاه تحقیقات رودشور.

مقدمه

گیاهان در طی فرایند تعرق، آب را مصرف می‌کنند، همچنین مصرف آب به صورت تبخیر از سطح خاک نیز صورت می‌گیرد. ترکیب دو فرایند مجزا، تبخیر آب از سطح خاک و تعرق از گیاه را تبخیر ـ تعرق[1] می‌نامند. برای برآورد فرایند تبخیر، عامل‌های اقلیمی نظیر تشعشع خورشیدی، دمای هوا (حداکثر و حداقل)، درصد رطوبت هوا (حداکثر و حداقل) یا درجه نقطه شبنم و سرعت باد در نظر گرفته می‌شوند. در این فرایند میزان سایه‌اندازی تاج پوشش گیاهی[2] و مقدار آب موجود در سطح تبخیر، از عوامل مؤثر بر فرایند تبخیر محسوب می‌شوند(Allen *et al.*,1998). فرایند تعرق، مانند تبخیر به طور مستقیم به عواملی مانند ذخیره انرژی، شیب فشار بخار و باد بستگی دارد. در ابتدای رشد، گیاه آب را عمدتاً از طریق تبخیر از سطح خاک از دست می‌دهد. به عبارتی در مرحلهٔ اول رویش، تقریباً 100٪ تبخیر ـ تعرق به صورت تبخیر صورت می‌گیرد. در مرحله رشد و توسعه گیاه و کامل شدن تاج‌پوشش گیاهی که گیاه تمامی سطح خاک را می‌پوشاند، بیش از 90٪ آن به صورت تعرق می‌باشد. میزان تبخیر ـ تعرق، تحت تأثیر عامل‌های آب و هوایی، خصوصیات گیاه، شرایط محیطی، مراحل فنولوژی گونه‌های گیاهی و دیگر عوامل محیطی و مدیریتی قرار دارد. در برآورد تبخیرـ تعرق گیاهان مرتعی، باید عواملی از قبیل میزان سطح برگ، تراکم گیاهی، نوع گونه، تنوع گونه‌ای و مراحل رشد گونه‌ها و مقدار رطوبت خاک درنظرگرفته شوند. همچنین تعرق به ارتفاع و زبری گیاه، انعکاس نور، پوشش سطح زمین و خصوصیات ریشه‌دوانی گیاه، وجود سطوح مختلف تبخیر ـ تعرق و گونه‌های مختلف گیاهی بستگی دارد. تأثیر مقدار آب خاک بر فرآیند تبخیر ـ تعرق به مقدار کمبود رطوبت و نوع خاک بستگی دارد. میزان تبخیر ـ تعرق از یک سطح مرجع که با کمبود آب مواجه نیست، تبخیر ـ تعرق گیاه مرجع یا تبخیر ـ تعرق مرجع نامیده شده و اختصاراً، به صورت ET_O نوشته می‌شود. سطح مرجع، عبارت از یک گیاه مرجع چمن فرضی با خصوصیات ویژه (ارتفاع معادل 0/12 متر، مقاومت سطحی ثابت70 ثانیه بر متر و ضریب بازتاب معادل 0/23) می‌باشد. سطح مرجع، به‌طور نزدیک، مشابه یک سطح وسیع چمن سبزرنگ خوب آبیاری شده با ارتفاع یکنواخت، رشد فعال و سایه‌اندازی کامل می‌باشد (Allen *et al.*,1998). دقیق‌ترین روش برآورد مقدار تبخیر- تعرق گیاه مرجع، استفاده از لایسیمتر وزنی است، اما از آنجا که احداث این نوع لایسیمتر هزینه بسیار زیادی را به همراه دارد و از طرفی آمار این روش معمولاً در اختیار نمی‌باشد، بیشتر از روشهای تجربی برای برآورد تبخیر و تعرق و از روش استاندارد برای مقایسه نتایج با آن استفاده می‌شود (سپاسخواه، 1377)، (Allen *et al.*,1998). تحقیقات انجام‌شده در نقاط مختلف جهان نشان‌دهنده این نکته است که دقت مقادیر تبخیر- تعرق برآورد شده با رابطه پنمن- مانتیث فائو در مقایسه با مقادیر اندازه‌گیری شده لایسیمتری از دیگر روابط برآورد Eto بهتر می‌باشد و در شرایطی که داده‌های لایسمیتری در دسترس نباشد به‌عنوان یک رابطه استاندارد توصیه شده است (Allen *et al.*,1998)، (Hargreaves,1994). این روش در ایران نیز توسط محققانی مانند (ضیاء تباراحمدی، 1374) برای ترسیم خطوط هم تبخیر- تعرق پتانسیل ماهانه و

1-Evapotranspiration
2- Crop canopy

سالانه در مازندران و نیکبخت و همکاران (1380) برای مقایسه آن با چند روش دیگر برآورد ETo در ایستگاه سینوپتیک مهرآباد تهران مورد استفاده قرار گرفته است. در حال حاضر، با توجه به نتیجهٔ اجلاس کارشناسی ماه مه سال 1990 میلادی (فائو)، **روش پنمن ـ مانتیس فائو** به‌عنوان تنها روش استاندارد برای تعریف و محاسبه میزان تبخیر ـ تعرق مرجع توصیه شده است. (Allen *et al.*,1998). تبخیر ـ تعرق گیاه در شرایط استاندارد که اختصاراً، به صورت ET_c[1] نشان داده می‌شود. تبخیر ـ تعرق گیاه در شرایط استاندارد زمانی است که گیاه در سطح وسیع دارای آب خاک فراوان و در شرایط مدیریتی و محیطی ویژه رویش‌یافته و حداکثر تولید در شرایط اقلیمی مزبور استحصال شود (Allen *et al.*,1998). نسبت‌های تجربی تبخیر ـ تعرق گیاه در شرایط استاندارد به تبخیر ـ تعرق گیاه مرجع ضریب گیاهی (K_c)[2] نامیده می‌شوند. ضریب گیاهی برای یک گیاه معین، در طول دورهٔ رشد (از زمان کاشت تا برداشت) تغییر می‌نماید. تبخیر ـ تعرق گیاه در شرایط غیراستاندارد، همان تبخیر ـ تعرق گیاه رشد یافته تحت شرایط مدیریتی و محیطی، اما متفاوت از شرایط استاندارد است که تبخیر و تعرق واقعی ET_a[3] گیاه گفته می‌شود. تبخیر ـ تعرق واقعی گیاه به‌دلیل فقدان شرایط مطلوب نظیر کمبود آب (بارندگی) وجود آفات و بیماری‌ها، شوری خاک، حاصلخیزی ضعیف خاک و یا شرایط ماندابی ممکن است بروز نماید. این مهم ممکن است سبب افت میزان تبخیر ـ تعرق نسبت به تبخیر- تعرق گیاه در شرایط استاندارد گردد که منجر به کاهش رشد و تراکم گیاه و کاهش تولید می‌شود. تبخیر ـ تعرق گیاه در شرایط غیراستاندارد، با استفاده از ضریب تنش آب (K_s) و یا تعدیل ضریب گیاهی (K_c) برای تمامی انواع دیگر تنش‌ها و محدودیت‌های محیطی در زمینه تبخیر ـ تعرق گیاه، محاسبه می‌گردد (Allen *et al.*,1998). مقدار آب مورد نیاز برای جبران تلفات ناشی از تبخیر ـ تعرق، نیاز آبی گیاه نامیده می‌شود. اصولاً، آب مورد نیاز نمایانگر تفاوت بین نیاز آبی گیاه و بارندگی مؤثر است. در اندازه‌گیریهای دقیق میدانی، میزان تبخیر- تعرق معمولاً براساس داده‌های آب و هوایی محاسبه می‌گردد. بر این اساس بسیاری از محققان تلاش کرده‌اند که تولید علوفه مرتع را از طریق دادهای اقلیمی و رطوبت اول فصل رویش با توجه به خصوصیات خاک و گیاه (مرتع) برآورد کنند. در مطالعه‌ای برآورد تولید علوفه در اکوسیستم گراسلند به روش مدل تعادل آب بررسی شد (Wight & Hanks, 1981). نتایج نشان داد که مدل با استفاده از شاخصهای اقلیمی (بارندگی، تبخیر و تعرق پتانسیل و واقعی) و رطوبت اول فصل رویش، برآورد تولید علوفه را پیش‌بینی کرده است. استفاده از آمار و اطلاعات اقلیمی (رطوبت اول فصل رویش، بارندگی روزانه، میانگین درجه‌حرارت و تابش خورشید) در قالب مدل تعادل آب برای برآورد تولید علوفه مرتع بررسی شد (Wight *et al.*,1984). نتایج نشان داد که بین این عوامل با تولید رابطه نزدیکی وجود دارد و می‌توان با استفاده از مدل تعادل آب، تولید بلندمدت مرتع را برآورد نمود. (Arzani,1994) و نیز تخمین کوتاه‌مدت و درازمدت ظرفیت چرا را مورد بررسی قرار داد. نتایج نشان داد که با استفاده از آمار و اطلاعات اقلیمی می‌توان تولید بلندمدت مرتع را تخمین زد. اثر بارندگی و دما بر

1-crop evapotranspiration standard condition
2- crop cofficient
3- crop evapotranspiration under non- standad condition

روی تولید کمی و کیفی علوفه مرتع بررسی شد (Jason *et al*., 2005). نتایج نشان داد که بارندگی و دما همبستگی مثبت با رشد و تولید علوفه داشته است. برآورد تولید علوفه براساس بارندگیهای سال گذشته به‌ویژه بهار سال قبل توسط Smart (2005) بررسی شد. نتایج نشان داد که بارندگی بهار سال قبل به‌دلیل نقش مؤثر در توسعه ریشه، شاخه و تقویت گیاه بر روی افزایش تولید سال آینده مثبت است. استفاده از اطلاعات درازمدت آب و هوایی در مراتع منطقه نیمه‌خشک جنوبی افریقا، مورد تحقیق قرار گرفت (Hahn *et al*., 2005). نتایج بیانگر آن بود که پویایی و دینامیک گیاه و تولید، رابطه مستقیم با ذخیره رطوبت خاک داشته است. در بررسی پیش‌بینی برآورد تولید علوفه مرتع توسط Kruse & Heitschmidt, (2007) از طریق اطلاعات اقلیمی، نتایج نشان داد که با اطمینان قابل‌توجهی می‌توان با استفاده از مدل Rangetek که یک مدل تعادل آب می‌باشد، تولید علوفه مرتع را برای تمام فصل رشد تخمین زد. در مطالعه‌ای از سوی Kizito *et al*., (2007) با استفاده از مدل تعادل آب و خاک در منطقه نیمه‌خشک سنگال بر روی تولید سالانه دو گونه بوته‌ای، نتایج نشان داد که گیاهان بوته‌ای از رطوبت عمق خاک به‌دلیل عمق توسعه ریشه‌دوانی، استفاده مطلوب نموده و این موضوع به‌عنوان رژیم رطوبتی خاک بسیار مهم می‌باشد. در این تحقیق تلاش شده است بر پایه اطلاعات آب و هوایی، خصوصیات گیاه (مرتع) و خصوصیات خاک شاخص اقلیمی تولید محاسبه، تا براساس آن مدل برآورد تولید بلندمدت علوفه مرتع تعیین و معرفی و بر پایه مدل امکان برنامه‌ریزی برای احیاء و اصلاح مراتع و تعیین ظرفیت چرا در مراتع مورد کاربرد قرار گیرد.

مواد و روشها

موقعیت منطقه مورد مطالعه

سایت رود شور در شهرستان ساوه از توابع استان مرکزی در طول جغرافیایی ″53 ′53 °50 و عرض جغرافیایی ″28 ′25 °35 و در منطقه استپی واقع شده است. براساس طبقه‌بندی اقلیمی دومارتن دارای اقلیم خشک بیابانی سرد می‌باشد. ارتفاع متوسط منطقه 1125 متر از سطح دریاست. تیپ گیاهی غالب سایت و منطقه مورد مطالعه و بررسی *Artemisia sieberi*، *Salsola laricina* و *Stipa hohenackeriana* می‌باشد. این سایت به‌عنوان ایستگاه قرق تحقیقاتی مؤسسه تحقیقات جنگلها و مراتع کشور بشمار می‌آید.

روش تحقیق

در اغلب نقاط دنیا و ازجمله ایران برای برآورد تبخیر- تعرق مرجع از روشهای متکی بر داده‌های اقلیمی و روش FAO –Penman- مانتیث -پنمن- فائو (F-P-M) montieth (1965) استفاده می‌شود. روش پنمن ـ مانتیث- فائو، همچنان به‌عنوان تنها روش استاندارد برای محاسبه تبخیر ـ تعرق گیاه مرجع با استفاده از داده‌های هواشناسی معتبر می‌باشد. در این تحقیق روش محاسبه تبخیر- تعرق مرجع، پتانسیل و واقعی با استفاده از آمار و اطلاعات آب و هوایی، به‌کمک برنامه نرم‌افزار Cropwat 8.0 به شرح زیر برآورد شد.

الف- آمار و اطلاعات آب و هوایی: در این مطالعه از داده‌های اقلیمی ایستگاه سینوپتیک ساوه با موقعیت طول جغرافیایی 20-^{o}50 و عرض جغرافیایی 03-^{o}35 و

ارتفاع 1108 متر از سطح دریا واقع شده، استفاده و محاسبات دمای حداقل و حداکثر (سانتی‌گراد)، درصد رطوبت نسبی هوا، سرعت باد ($km\ day^{-1}$)، تابش خورشید ($MJm^{-2}d^{-1}$) و بارندگی روزانه (میلی‌متر) در طول دوره آماری ده ساله (1377-1386) انجام شد.

دمای هوا: دمای حداکثر (T_{max}) و دمای حداقل (T_{min}) روزانه هوا به سانتی‌گراد

میانگین فشار بخار اشباع: از آنجا که، فشار بخار اشباع به دمای هوا بستگی دارد، می‌توان آن را با استفاده از داده‌های دمای هوا محاسبه نمود (Allen ؛FAO.No.56 *et al.*,1998).

$$e^{\circ}(T) = 0.6108 \exp\left[\frac{17.27T}{T+237.3}\right]$$

$$e_a = \frac{e^{\circ}(T_{min})\frac{RH_{max}}{100} + e^{\circ}(T_{max})\frac{RH_{min}}{100}}{2}$$

$$R_a = \frac{24(60)}{\pi} G_{sc} d_r \left[\omega_s \sin(\varphi)\sin(\delta) + \cos(\varphi)\cos(\delta)\sin(\omega_s)\right]$$

$$T_{mean} = \frac{T_{max} + T_{min}}{2}$$

رطوبت هوا: میانگین نسبی روزانه رطوبت هوا بر حسب درصد

$$RH = 100\frac{e_a}{e^{\circ}(T)}$$

سرعت باد: میانگین روزانه سرعت باد برای 24 ساعت پس از محاسبه متر بر ثانیه از طریق برنامه CROPWAT.8 به کیلومتر بر ساعت محاسبه شد (سرعت باد بر حسب واحدهای متر بر ثانیه ($m\ s^{-1}$) یا کیلومتر بر روز ($km\ day^{-1}$) بیان می‌شود).

تشعشع: تشعشع خالص، ساعت آفتابی روزانه (R_n) به صورت روزانه به $MJm^{-2}d^{-1}$ محاسبه شد.

بارندگی روزانه: بارندگی روزانه در طول فصل رویش به میلی‌متر مورد استفاده قرار گرفت.

بارش موثر: [1]: بارش مؤثر به آن قسمتی از بارندگی گفته می‌شود که به داخل خاک (عمق 10-12 سانتی-متری) نفوذ می‌نماید و مورد استفاده گیاه قرار می‌گیرد. در این مطالعه، برای محاسبه باران مؤثر در فصل رویش از برنامه CROPWAT. 8 استفاده شد.

مراحل و گام زمانی محاسبات: محاسبات تبخیر و تعرق گیاه مرجع، تبخیر و تعرق پتانسیل، تبخیر و تعرق واقعی، رطوبت کل موجود در خاک و رطوبت اولیه قابل دسترس، ضریب Kc، باران مؤثر و تعیین دیگر شاخصهای اقلیمی در مقیاس زمانی روزانه در طول فصل رویش با استفاده از داده‌های آب و هوایی، خصوصیات گیاه و خصوصیات فیزیکی خاک بمدت ده سال با استفاده از برنامه نرم‌افزار جدید .Cropwat 8.0) (FAO برابر (Allen, *et al*,.1998 ؛FAO.No.56) بر پایه معادله پنمن – مانتیث فائو به شرح زیر انجام شد.

1- Effective Rainfall

$$ET_o = \frac{0.408\Delta(R_n - G) + \gamma \frac{900}{T+273} u_2 (e_s - e_a)}{\Delta + \gamma(1 + 0.34u_2)}$$

که در آن:

ET_o = تبخیر ـ تعرق گیاه مرجع [mm day $^{-1}$]، R_n = تشعشع خالص در سطح پوشش گیاهی[MJ m^{-2} day^{-1}]، G = جرم مخصوص شار گرمایی داخل خاک [MJ m^{-2} day^{-1}]، T = میانگین روزانهٔ دمای هوا در ارتفاع 2 متری از سطح زمین [°C]، u_2 = سرعت باد در ارتفاع 2 متری از سطح زمین [m s^{-1}]، e_s = فشار بخار اشباع [kPa]، e_a = فشار بخار واقعی [kPa]، e_s - e_a = کمبود فشار بخار اشباع در ارتفاع 2 متری [kPa]، Δ = شیب منحنی فشار بخار [kPa °C^{-1}] و γ = ضریب ثابت سایکرومتری (ضریب رطوبتی) [kPa °C^{-1}].

ب- خصوصیات خاک: تعداد لایه‌های خاک، بافت خاک (درصد رس، شن و سیلت)، چگالی خاک، ظرفیت زراعی، نقطه پژمردگی، عمق ریشه‌دوانی گیاه (مرتع) و رطوبت اولیه خاک براساس خصوصیات فیزیکی خاک به‌ترتیب زیر تعیین شد.

1- در بررسی و مطالعه خاک براساس تغییرات مرفولوژی خاک پنج پروفیل خاک به عمق نفوذ ریشه حفر و نسبت به تشریح پروفیل‌ها اقدام شد. تفکیک افق‌ها براساس بافت، ساختمان و رنگ خاک صورت گرفت. تعیین خصوصیات فیزیکی به‌ویژه بافت خاک، وزن مخصوص ظاهری، وزن مخصوص حقیقی، نقطه پژمردگی و ظرفیت زراعی با استفاده از نمونه‌های برداشت شده از افق‌های مختلف خاک انجام شد.

2 – اندازه‌گیری رطوبت اول فصل رویش[1] در ناحیه ریشه‌دوانی گیاه برای محاسبه تبخیر و تعرق پتانسیل و واقعی روزانه و اجرای مدل با استفاده از دستگاه TDR[2] اقدام و همچنین از افق‌های مختلف پروفیل سایت نمونه‌های لازم تهیه و اندازه‌گیری رطوبت خاک در آزمایشگاه نیز انجام شد.

3- برای محاسبه میزان کل رطوبت قابل دسترس موجود از رابطه زیر استفاده شد.

$$TAW = \frac{FC - PWP}{100} \times BD \times D$$

که در آن:

TAW = کل رطوبت موجود به (mm/meter)، FC = درصد رطوبت در ظرفیت زراعی (bar 0/1)، PWP= درصد رطوبت در نقطه پژمردگی (bar 15)، BD= وزن مخصوص ظاهری، D = عمق ریشه‌دوانی گیاه (mm)

درصد رطوبت اولیه قابل دسترس خاک نیز از رابطه زیر بدست آمد.

$$\%TAM = \frac{F.M}{(FC - PWP)} \times 100$$

که در آن:

TAM = رطوبت اولیه خاک بر حسب درصد، PWP = درصد رطوبت در نقطه پژمردگی (bar 15)، F.M= مقدار رطوبت اندازه‌گیری شده در اول فصل رویش (میلی‌متر در متر).

4- حداکثر عمق ریشه (سانتی‌متر) در عملیات صحرایی پس از حفر پروفیل‌های خاک با توجه به عمق ریشه‌دوانی گیاه (مرتع) اندازه‌گیری و تعیین شد.

5- حداکثر نفوذ بارندگی (mm/day)- حداکثر نفوذ بارندگی مطابق روش بخش خاک و آب دانشگاه نیومکزیکو[3] محاسبه شد که با استفاده از درصد شن و

1- مقدار آب ذخیره شده موجود در اول فصل رویش (ناشی از بارندگیهای پیشین) در هر واحد جرم یا حجم خاک را رطوبت اول فصل رویش خاک Water (Initial content) یا (Initial Soil moisture) می‌گویند.

2-Time domiain Reflectometry

3- http :\\Soil texture triangle hydraulic properties

رس در افق سطحی خاک، مقدار هدایت هیدرولیکی اشباع خاک تعیین شد. این مقدار برابر حداکثر نفوذ بارندگی در نظر گرفته شد.

ج- خصوصیات گیاهی: خصوصیات گیاه (مرتع) شامل: تاریخ شروع رویش (مرحله جوانه‌زنی)، تعیین ضریب گیاهی در چهار مرحله رشد، عمق ریشه (اولیه، میانی و نهایی)، ضرایب تخلیه، تنش آبی و ارتفاع گیاه به استناد گزارش (Allen, *et al*,.1998.FAO.No.56) به شرح زیر محاسبه گردید.

1- ضریب گیاهی: در رویکرد ضریب گیاهی، تبخیر ـ تعرق گیاه در شرایط استاندارد از حاصل‌ضرب تبخیر ـ تعرق گیاه مرجع، در یک ضریب گیاهی، بدست می‌آید:

$$ET_c = K_c ET_o$$

که در آن: ET_c= تبخیر ـ تعرق گیاه در شرایط استاندارد [میلی‌متر در روز]، K_c= ضریب گیاهی [بدون بعد] و ET_o= تبخیر ـ تعرق گیاه مرجع [میلی‌متر در روز] می‌باشند.

ضریب گیاهی برای مراحل رشد اولیه، میانی و آخر به استناد گزارش فائو شماره 56 سال 1998 با تلفیق شرایط مراتع در حالت چرای تناوبی و چرای شدید به صورت میانگین براساس شرایط منطقه و وضعیت مرتع در سایت مورد مطالعه به‌ترتیب دوره رشد گیاه، رشد اولیه، میانی و آخر 0.35-0.85-0.80 انتخاب شد. این نسبت در گزارش فوق برای مراتع با چرای مفرط برای مراحل رشد 0.30-0.70-0.70 و چرای متناوب 0.70-(0.80-1.00)-0.30 تعیین شده است.

2- مراحل رشد گیاه: پوشش سطح زمین، ارتفاع گیاه و سطح برگ با رشد گیاه تغییر و ضریب گیاهی یک گیاه معین در طی مراحل مختلف رشد به دلیل تفاوت در تبخیر ـ تعرق تغییر می‌کند. دوره رشد را می‌توان به چهار مرحله متمایز اولیه،[1] توسعه گیاه،[2] میان فصل[3] و پایان فصل[4] تقسیم نمود (Allen, *et al*,. 1998). در این تحقیق مراحل رشد گیاهان مرتعی به‌ترتیب 15-25-60-22 روز براساس میانگین دوره فنولوژی گیاهان غالب در منطقه (اکبرزاده، 1379) و با توجه به طول مدت زمان فصل رویش انتخاب شد. تاریخ شروع رویش گونه‌ها از نیمه دوم اسفند ماه حدودا" دهم اسفند انتخاب شد.

3- تاریخ شروع رویش (10 اسفند ماه) بر پایه درجه حرارت و دوره فنولوژی گیاهان، ضریب تخلیه رطوبتی خاک و ضریب واکنش به عملکرد در مراحل مختلف رشد گیاه به کمک فائو 56 و عمق ریشه (25-85 سانتی‌متر) ارتفاع گیاه (50 سانتی‌متر) با اندازه‌گیری میدانی و عملیات صحرایی تعیین شد.

د- بررسی میزان رواناب سطحی Surface Runoff

برای اندازه‌گیری رواناب سطحی،[5] از روش سازمان حفاظت خاک امریکا SCS[6] استفاده شد. در این روش مقدار رواناب بطور مستقیم با تعیین مقدار CN[7] و تعیین مقدار تلفات (S) با استفاده از معادله زیر برای بارشهای روزانه محاسبه شد.

$$Q = \frac{(p - 0.2s)^2}{p + 0.8s} \qquad \text{if } p > 0.2s$$

calculator.htm

1- Initial
2- Crop development
3-Mid-season
4-Late season
5- Surface Runoff
6- Soil Conservation Serviec 1976
7- Cruve Number

$Q = 0$ if $p < 0.2s$

که در آن، Q = میزان رواناب روزانه برحسب میلی‌متر در روز، P = میزان بارش روزانه، S = عامل مربوط به توانایی نگهداری رطوبت خاک است. در این روش ابتدا عامل توانایی نگهداری رطوبت خاک S مربوط به ظرفیت آب موجود در خاک به کمک فرمول بصورت زیر محاسبه شد.

$$S = Smx\ (\frac{UL - SM}{UL})$$

SM مقدار آب موجود در خاک در ناحیه ریشه قبل از بارندگی است (این مقدار رطوبت با دستگاه TDR برای هر ماه از فصل رویش و قبل از بارندگی اندازه‌گیری شد). UL حد بالایی ظرفیت قابل ذخیره آب خاک در ناحیه ریشه است که معمولاً برابر مقدار رطوبت در ظرفیت زراعی گرفته می‌شود. Smx میزان حداکثر اندازهٔ S است. البته میزان حداکثر S با شرایط رطوبتی I و N و با استفاده از معادله SCS محاسبه گردید. درنهایت با استفاده از مقدار رواناب سطحی مقدار آب نفوذ یافته در خاک مشخص شد.

$$Smx = \frac{25400}{254 + CNi}$$

نتایج

رطوبت خاک: برای تعیین تبخیر و تعرق واقعی به‌منظور برآورد تولید، رطوبت اول فصل رویش مورد نیاز می‌باشد. تبخیر و تعرق واقعی متأثر از بارندگی فصل رویش و رطوبت ذخیره شده پیشین، در اول فصل رویش می‌باشد. جدول (2) نتایج اندازه‌گیری درصد رطوبت خاک در لایه‌های پروفیل خاک در عمق ریشه‌دوانی گیاه، در سال 1386 و 1385 را نشان می‌دهد. برای محاسبه رطوبت قابل استفاده از فرمول زیر استفاده شده است که نتیجه آن در (جدول 1) آمده است.

وزن مخصوص ظاهری* عمق لایه * 100/ نقطه پژمردگی- ظرفیت زراعی = (mm) رطوبت قابل استفاده

جدول1- درصد رطوبت خاک در لایه‌های پروفیل خاک در عمق ریشه‌دوانی سال 1385-1386 - سایت رودشور

عمق پروفیل (Cm)	درصد رطوبت اول فصل رویش		درصد رطوبت 24 ساعت بعد از اولین بارندگی (سال 85)	درصد رطوبت آخر فصل رویش (سال85)
	1385	1386		
20-0	5/2	15/76	17/7	4/76
40-20	17/7	10/28	12/86	6/1
100-40	15/4	10/75	8/37	7/24
میانگین	12/67	12/26	12/97	6/03

جدول 2- ویژگیهای فیزیکی پروفیل خاک در سایت رودشور در سال 1385

لایه‌های پروفیلی	عمق لایه (cm)	چگالی (g/cm3)	درصد رطوبت در ظرفیت زراعی (bar0/1)	درصد رطوبت در نقطه پژمردگی (bar15)	رطوبت قابل استفاده برحسب (mm)
A1	0-20	1/57	12/60	10/30	7/22
B1K	20-40	1/42	16/20	13/10	8/80
C1	40-80	1/40	26/50	21/80	26/32
جمع			42/34		
جمع			mm/meter 52/9		

میزان رواناب سطحی (Surface Runff): مقادیر آب موجود در خاک (S_M)، ابتدا اواسط و انتهای ماه‌های فصل رویش با دستگاه TDR در لایه‌های مختلف 5 پروفیل در سایت رودشور در قبل و 24 ساعت بعد از بارندگی اندازه‌گیری و مقدار متوسط آن با استفاده از روش میانگین وزنی در (جدول 3) ارائه شده است.

جدول 3- متوسط مقدار رطوبت موجود در لایه‌های مختلف خاک، در زمانهای مختلف

زمان اندازه‌گیری	مقدار رطوبت(درصد)
10 اسفندماه (ابتدای فصل رویش)	5/2
نیمه اول فروردین	5
اواسط اردیبهشت	4/7
نیمه دوم خرداد (انتهای فصل رویش)	4/2

برای تعیین مقادیر حد بالای رطوبتی (upper limit of soil water storage) در ناحیه ریشه همان مقادیر ظرفیت زراعی که در آزمایشگاه تعیین شدند، استفاده شد. نتایج بررسیهای انجام شده در سایت مرتعی رودشور نشان داد که مقدار عددی CNi برای حالت معمولی برابر 79 است. همچنین نتایج بدست آمده (طول ده ساله فصل رویش) نشان می‌دهد که میزان رواناب در سایت مرتعی رودشور پس از 11 میلی‌متر بارندگی شروع می‌شود. البته یکی از عامل‌های موثر در معادله بیلان آب، اثر آب زیرزمینی در تأمین رطوبت مورد نیاز گیاهان است. با توجه به گستردگی ریشه در گیاهان مرتعی و نفوذ عمقی آنها، امکان استفاده از رطوبت عمیق خاک، بخصوص در مناطق خشک وجود دارد. برای بررسی اثر آب زیرزمینی در تأمین رطوبت گیاهان در سایت مرتعی رودشور، از بررسی گسترش عمقی ریشه و خصوصیات نیمرخ خاک استفاده شد. بررسیها نشان داد که تأثیر رطوبت عمقی بر رشد گیاهان مرتعی در سایت مذکور بسیار ناچیز و در حد صفر است. از طرفی سایت رودشور بر روی یک تراس (فلاتو) فوقانی قرار گرفته است که سنگ بستر این تراسها از مواد گچی است. بررسی ریشه گیاهان در این سایت نشان داد که نفوذ ریشه در درون مواد گچی بسیار ناچیز و یا در حد صفر است و تجمع ریشه بیشتر در افق زیرسطحی خاک که دارای مقادیر

رس بیشتری می‌باشد، دیده می‌شود. بنابراین امکان دسترسی رطوبت از طریق نفوذ عمقی ریشه به نزدیکی سطح سفره آب زیرزمینی بسیار بعید و از بررسی آن نتیجه‌ای حاصل نشده است. تبخیر و تعرق واقعی (ET_{act}) گیاه نیز به عواملی چون کمیت ضریب گیاهی (Kc) ارتباط دارد. عواملی که در ضریب گیاهی تأثیر داشته‌اند عبارتند از: صفات مشخصه گیاه، تاریخ شروع رویش، میزان رشد، طول دوره رویش و شرایط اقلیمی که در این میان تواتر بارندگی بخصوص در مرحله اول رشد از اهمیت بیشتری برخوردار است. میزان ضریب Kc در زمانی‌که محدودیت آب وجود دارد کمتر از یک می‌باشد. به‌طوری‌که گزارش شماره 56 فائو ضریب Kc را برای مراحل مختلف دوره رویش مراتع در شرایط چرای تناوبی و چرای شدید بشرح جدول 4 بیان داشته است. در این تحقیق با توجه به شرایط منطقه و شرایط آب و هوایی و وضعیت مرتع میانگین این ضرایب انتخاب شد.

جدول 4- میزان ضریب Kc در مراحل مختلف دوره رویش مراتع

مراتع	مرحله اولیه	مرحله میانی	مرحله آخر
چرای تناوبی	0/4	1/05-0/85	0/85
چرای شدید	0/30	0/75	0/75

نتایج عامل‌های ورودی مدل Cropwat 8.0

داده‌های اقلیمی: شامل: درجه حرارت حداقل و حداکثر (سانتی‌گراد)، درصد رطوبت نسبی هوا، سرعت باد (کیلومتر در روز)، تابش خورشید (ساعت) و بارندگی روزانه (میلی‌متر) به تفکیک هر سال (دوره فصل رویش) می‌باشد.

داده‌های خاک: نتایج محاسبه کل رطوبت موجود و نحوه محاسبه بشرح فرمول زیر:

$$TAW = \frac{FC - PWP}{100} \times BD \times D$$

TAW جدول (2) براساس محاسبه برابر است با: 42/34 میلی‌متر، و پس از محاسبه به میلی‌متر در متر برابر 52/9 شد.

TAW = 42.34×100/80=52.9 mm/meter

Total available soil moisture (FC-WP) = 52.90 mm/meter

Maximum rain infiltration rate = 181.20 (mm/day) حداکثر نفوذ

Maximum rooting depth = 80 (centimerts) حداکثر عمق ریشه

TAM = (1-F.M/FC-PWP)*100

F.M = رطوبت اول فصل رویش که برای دو سال اندازه‌گیری شده است.

Initial soil moisture depletion (%TAM) = %68, (سال 2006)

Initial avalible soil moisture = 17.00 (mm/meter), (سال 2006)

Initial soil moisture depletion (%TAM) = %69, (سال 2007)

Initial avalible soil moisture = 16.40 (mm/meter), (سال 2007)

داده‌های گیاهی: تاریخ شروع رویش: دهم اسفندماه Begining of growth = 01.03.2006

ضریب گیاهی KC valus =0.35- 0.85- 0.80

مراحل رشد (روزانه): مرحل اول (15)، مرحله توسعه (25)، مرحله میانی (60)، مرحله پایانی (22)

عمق ریشه به متر Rooting depth =0.25-0.85(m)

ضریب تخلیه Critical depletion(fraction) = 0.20 - 0.60 - 0.60 -0.60 - 0.90

ضریب واکنش Yield response.f = 0.50- 0.70 - 0.70

ارتفاع گیاه Crop height = 0.50 (m)

خروجی مدل شامل: تبخیر و تعرق گیاه مرجع ET_o، تبخیر و تعرق پتانسیل ET_{pot}، تبخیر و تعرق واقعی ET_{act}، و بارندگی مؤثر در (جدول 5) آمده است. براساس شاخص اقلیمی (تبخیر و تعرق واقعی) و تولید علوفه، مدل برآورد تولید محاسبه شد. a و b از یک خط رگرسیون خطی با استفاده تولید واقعی و تبخیر و تعرق واقعی مدل محاسبه شده است.

Y = a+b (ETact

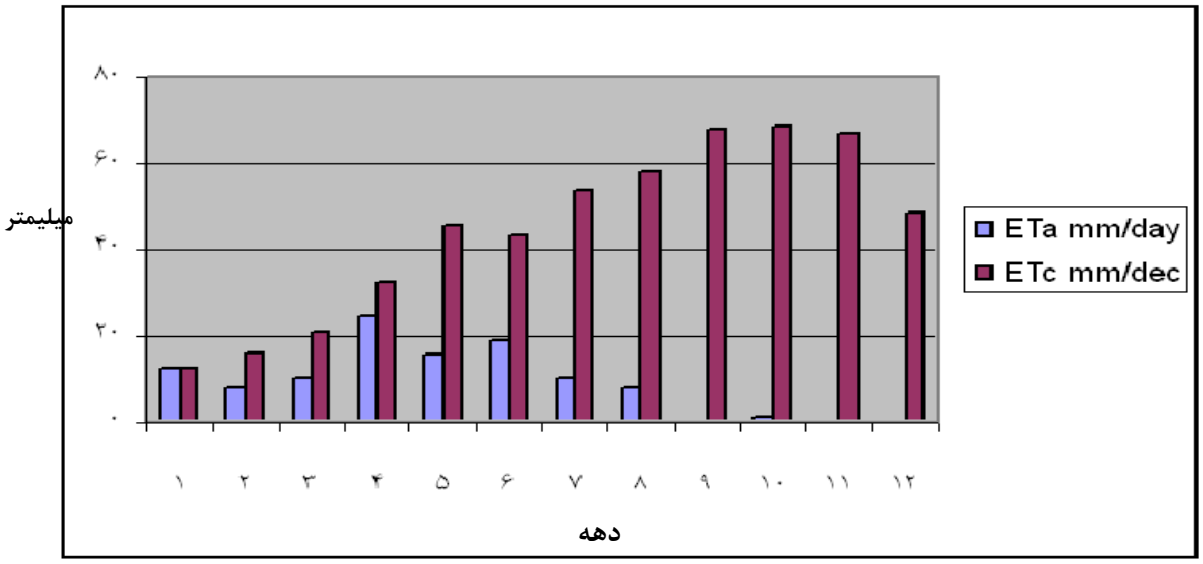
مدل برآورد تولید علوفه

Yact = 74.30+2/698(ETact)

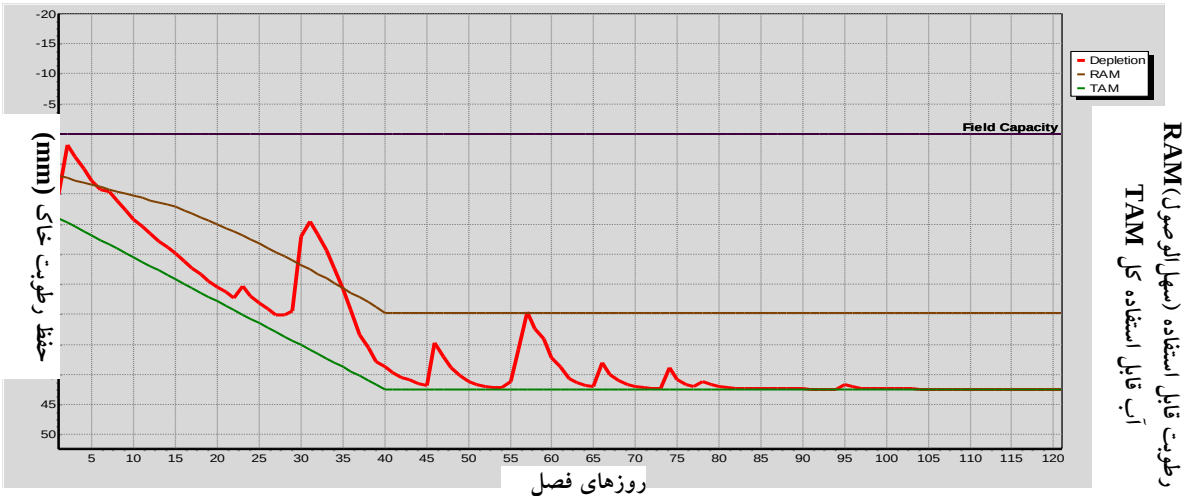
در نتیجه میانگین تولید علوفه سایت مورد مطالعه 2570 کیلوگرم در هکتار برآورد گردید. البته اساس روشهای تخمین تولید در مدل تعادل آبی، تبخیر و تعرق واقعی می‌باشد (Gommes & Rijks 1998).

جدول 5- برآورد شاخصهای اقلیمی، تبخیر و تعرق و ضریب رویشگاهی برآورد تولید واقعی - سایت رودشور

سال	تبخیر وتعرق گیاه مرجع ET_o (mm)	تبخیر و تعرق پتانسیل ET_{pot} (mm)	تبخیر و تعرق واقعی ET_{act} (mm)	ضریب شاخص رویشگاهی	بارندگی مؤثر	تولید (کیلوگرم در هکتار)
1377	598/21	429/90	122/30	0/26	99/60	0
1378	694/33	524/20	44/20	0/80	31/50	171
1379	715/02	536/00	26/10	0/05	13/00	151
1380	658/48	487/40	61/20	0/13	48/70	144
1381	633/53	476/30	66/20	0/14	53/10	208
1382	600/41	4440/2	128/60	0/29	115/50	0
1383	739/51	553/70	96/00	0/17	82/90	284
1384	744/59	579/00	78/50	0/14	69/20	375
1385	781/15	575/60	67/10	0/12	53/50	385
1386	728/64	532/10	103/10	0/19	90/00	340
میانگین	**689/39**	**513/84**	**73/39**	**0/16**	**65/7**	



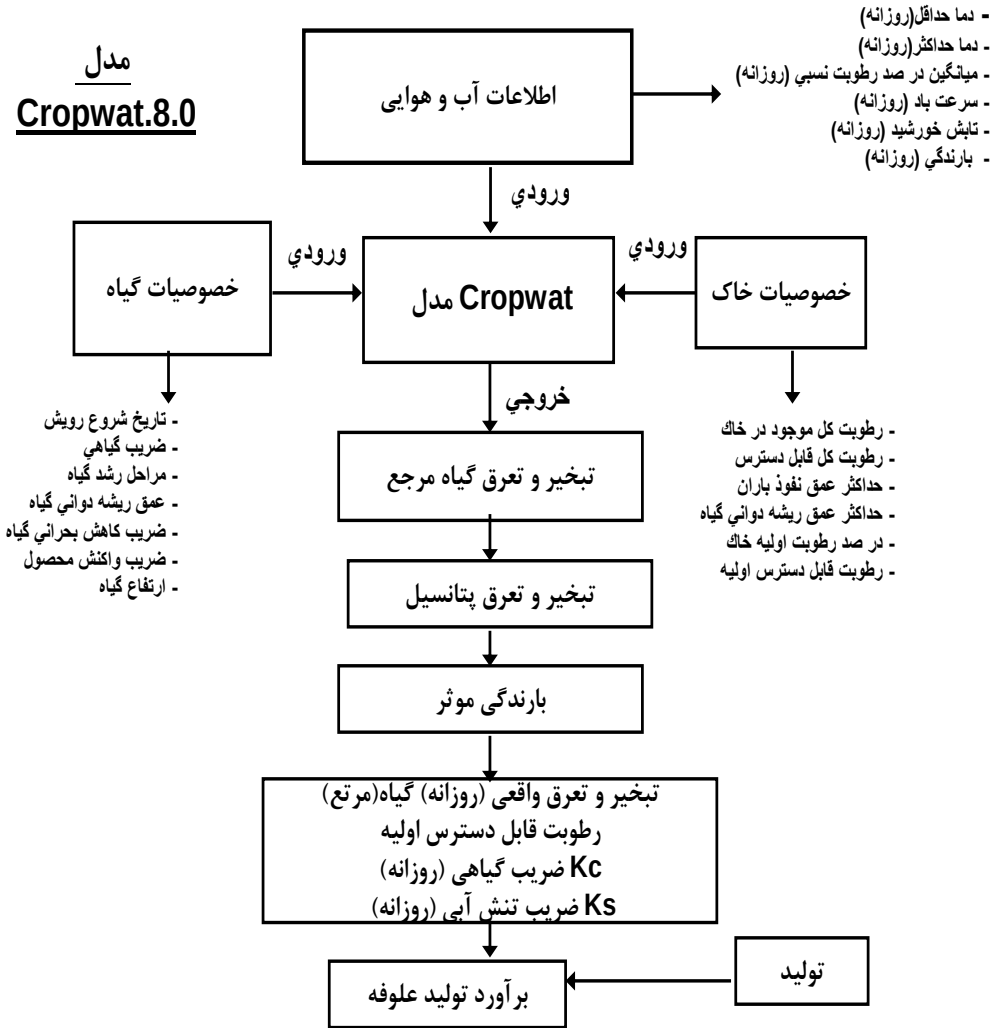
شکل 1- تفاوت تبخیر و تعرق پتانسیل با واقعی (میلی‌متر در روز- سال 1386، ایستگاه ساوه)



شکل 2- نمودار تغییرات رطوبتی خاک برای فصل رویش در سال 1386، سایت رودشور

بحث

گیاهان آب مورد نیاز خود را از طریق ریشه‌ها از خاک (رطوبت ذخیره شده) جذب می‌نمایند. بسیاری از خصوصیات خاک مانند پایداری، خمیری، مقاومت، قابلیت فشرده‌شدن، نفوذپذیری و قابلیت نقل و انتقال مواد غذایی از خاک به گیاه به مقدار آب یا رطوبت خاک که متأثر از خصوصیات فیزیکی خاک می‌باشد بستگی دارد. رطوبت خاک بر مقدار هوای موجود در خاک و تبادل گازها در آن نیز مؤثر است. فعالیت موجودات ریز خاک و کنش‌های شیمیایی خاک نیز تابعی از میزان رطوبت خاک است. رطوبت خاک به‌ویژه رطوبت ذخیره شده ناشی از بارندگی پیشین (رطوبت اول فصل رویش) یکی از عوامل اصلی رشد و تولید علوفه گیاهان مرتعی در مناطق خشک و نیمه‌خشک محسوب می‌گردد.



شکل 3- اجزای ورودی و خروجی مدل Cropwat.8.0

در ایـن منـاطق کمبـود بارنـدگی بـه‌عنـوان یـک عامـل محدودکننده رشد تولید علوفه به حساب می‌آیـد و پدیـده اقلیمی تبخیر و تعرق واقعی گیاه در فصل رویـش در ایـن منـاطق متناسـب بـا بارنـدگی فصـل رویـش نمـی‌باشـد (احسانی، 1386). بر این اساس وابسـتگی شـدیدی بـین مقدار کل ماده تولید شـده بـا مقـدار کـل تبخیـر و تعـرق واقعی وجود دارد. معمولاً همبستگی بـین تبخیـر- تعـرق واقعی و تولید بالا و رابطه میزان کـل مـاده خشـک تولیـد شده با تبخیر-تعرق خطی است. اغلب برآورد تولید علوفه در این مناطق در رابطه با مقدار تبخیر- تعرق واقعی انجام شده محاسبه می‌شود که اساس مـدل‌هـای رشـد و تولیـد محصول را تشکیل می‌دهد. البتـه بیشـتر مراتـع در منـاطق اقلیمی قرار دارنـد کـه تبخیـر و تعـرق پتانسـیل بیشـتر از بارندگی سالیانه و تبخیر و تعرق واقعی در فصـل رویـش بیشتر از بارندگی فصل رویش است. این مقـدار حتـی دو برابر یا بیش از دو برابر هم محاسبه شده است. در (شـکل

1) تفاوت تبخیر و تعرق پتانسیل و واقعی (میلی‌متر در روز) در سال 1386 ایستگاه ساوه را نشان می‌دهد. برآورد تبخیر و تعرق پتانسیل در دوره فصل رویش در منطقه نشانگر آنست که میزان تبخیر و تعرق پتانسیل 6/16 برابر میانگین تبخیر و تعرق واقعی است. از طرفی میزان تبخیر و تعرق واقعی در سایت رودشور در فصل رویش 1/18 برابر میانگین بارندگی دوره آماری آن فصل بوده است. بعبارتی میزان تبخیر و تعرق واقعی از میزان بارندگی فصل رویش بیشر بوده است. مفهوم آن این است که گیاه از رطوبت ذخیره شده برای تبخیر و تعرق واقعی استفاده نموده است. این نتیجه نشانگر آنست که بارندگی فصل رویش نیاز آبی گیاهان را تأمین نمی‌نماید. بنابراین گیاهان از رطوبت ذخیره شده خاک ناشی از بارندگیهای پیشین استفاده می‌نمایند.

این نتایج با نتایج karabulut, (2002)؛ Laidlaw (2005)؛ Hahn *et al*., (2005)؛ Knapp *etal*., (2005) نیز تطبیق دارد که تأکید کرده‌اند رطوبت ذخیره شده ناشی از بارندگی فصل رویش و پیشین بر روی رشد و گسترش پوشش گیاهی و تولید علوفه بسیار مؤثر است. از طرفی تبخیر و تعرق واقعی به‌عنوان شاخص عملکرد محصول از سوی Hanks & Rasmussen, (1978)؛ Doorenbos & kassam (1979) Wight (1987)؛ Wight & Hanks (1981) مطرح و مورد استفاده و کاربرد قرار گرفته بود که با مدل تعادل آب و اقلیم Rojas *et al*., (2003) و مدل‌های تعادل آبی فائو Rijks *et al*., (2003) و مدل FAO Gommes (2006) و همچنین با نتایج Adams (Kruse *et al*., 2007؛ Chavula, 2006) منطبق است. علاوه بر عاملهای آب و هوایی، میزان تبخیر ـ تعرق تحت تأثیر خصوصیات خاک و گیاه, مراحل فنولوژی گونه‌های گیاهی و دیگر عوامل محیطی و مدیریتی نیز بستگی دارد. میزان نفوذ حاصل از بارش به داخل خاک، بستگی به نوع خاک و پوشش گیاهی دارد. البته مهمترین عامل خاک در میزان نفوذپذیری، درصد اجزاء تشکیل‌دهنده خاک یعنی رس، لوم و ماسه و یا همان بافت خاک است. به‌طوری‌که هرچه بافت خاک سنگین‌تر باشد، شدت نفوذ آب در خاک کمتر می‌شود. فاکتورهای مهم مرفولوژی خاک ازجمله بافت، ساختمان و وزن مخصوص ظاهری در میزان نفوذ آب، حفظ رطوبت و به تبع آن در استقرار و رشد گونه‌های گیاهی بسیار مؤثرند. همچنین عواملی از قبیل عمق ریشه‌دوانی، پتانسیل آب خاک، جذب مواد غذایی و تولید مواد غذایی نیز تحت تأثیر مقدار رطوبت موجود در خاک می‌باشند.

براین اساس با توجه به خصوصیات خاک در سایت رودشور از نظر ساختمان، خاصیت نفوذپذیری و عمق خاک، شرایط حفظ و ظرفیت نگهداری رطوبت در خاک سایت رودشور بدلیل اجزای تشکیل‌دهنده خاک و بافت شنی لومی نسبتا" بالا بوده است. بعبارتی میانگین میزان رطوبت قابل دسترس در طول دوره آماری در اول فصل رویش در سایت رودشور 16/53 میلی‌متر بوده است. در شکل 2 وضعیت ظرفیت زراعی و آب قابل دسترس و آب تخلیه شده در سال 1386 سایت رودشور ترسیم شده است. این نمودارها بیانگر آن است که با توجه به ظرفیت، جذب و نگهداری رطوبت ناشی از بارندگی در سایت مورد مطالعه، تفاوت میزان تبخیر و تعرق واقعی با بارندگی فصل رویش، حکایت از استفاده گیاه مرتع از رطوبت ذخیره شده ناشی از بارندگی پیشین، که در روزهای فصل رویش بوده است، دارد. در نتیجه در مناطق استپی بارندگی به تنهایی عامل تعیین کننده تولید علوفه

نمی‌باشد، بلکه بارندگی بعلاوه رطوبت ذخیره شده ناشی از بارندگیهای پیشین برابر نتایج تحقیق به صورت مشترک در فرایند تبخیر و تعرق و تولید تأثیر می‌گذارند.

منابع مورد استفاده

- احسانی، ع.، 1386. تعیین شاخصهای رویشگاهی به‌منظور برآورد تولید بلند مدت مرتع در مناطق استپی ایران، مطالعه موردی، استان مرکزی.
- سپاهخواه، ع.، 1377. نگرشی دوباره بر روشهای محاسبه تبخیر و تعرق گیاهان زراعی. سمینار آموزشی، دانشکده کشارزی، دانشگاه شیراز، ارائه شده به صورت شفاهی.
- ضیاءتبار احمدی، م.خ.، 1374. بررسی و مقایسه روشهای محاسبه تبخیر- تعرق پتانسیل در استان مازندران، نیوار. شماره 43، صفحات 51-70.
- نیک‌بخت، ج.، میرلطیفی، س.م. و کمالی، غ.غ.، 1380. مقایسه تبخیر- تعرق محاسبه شده با روشهای فائو- پنمن- مانتیث، پنمن- رایت و هارگریوز- سامانی در منطقه تهران. مجله علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، سال هشتم، شماره چهارم، 3-13.
- Allen, R.G., Pereira, L.S., Raes, D. and Smith, M. 1998. Crop Evapotranspiration Guidelines for computing crop water requirements. FAO Irrigation and Drainage Paper, No. 56, Rome, Itally, 300 pp.
- Doorenbos, J. and Kassam, A.H., 1979. Yield response to water. FAO Irrig Drain, Pap, 33, Rome.
- Gommes, R., 2006. Non-parametric Crop Yield Forecasting, A Didactic Case Study For Zimbabwe. Paper presented at the EU/JRC meeting on Remote Sensing Support to Crop Yield Forecast and Area Estimates 30 Nov-1 Dec, Stresa, Italy.
- Hanks, R.J., 1974. Model for predicting plant yield as influenced by water use. Agron, J, 66:660-665.
- Hanks, R.J. and Rasmussen, V.P., 1982. Predicting crop production as related to plant water stress. Adv, AGRON, 35:193-215.
- Hargreaves, G.H., 1994. Defining and using reference evapotranspiration. Journal of Irrigation and Drainge Engineering, 120(6):1132-39.
- http://www.ngdir.com
- http://www.snre.umich.edu/ecomgt/index.htm
- Karabulut, M., 2002. An Examination of Relationships Between Vegetation and Rainfall Using Maximum Value composite of AVHRR – NDVI Data. Research Article, Turk Journal of Botay, 27 pp. 93-101.
- Knapp, A.K., Blair, J.M., Fay, P.A., Smith, M.D., Collins, S.L. and Briggs, J.M., 2005. Long-Term responses of mezic grassland to manipulation of rianfall quantity and pattern. International Grass land congress, Ireland United Kingdom.
- Laidiaw, A.S., 2005. The effect of extremes in soil moisture content on perennial ryegrass grow Th. International Grassland congress, IRELAND UNITED KINGDOM.
- Monteith, J.L., 1965. Evaporation and the environment 205-234. in the movement of water in living organisms XIXth Symposium. Soc, Of Exp. Biol, Swansea, Cambridge University Press.
- Rijks, D.F., Rembold, T., Negre, R. Gommes and Cherlet, M., editors, 2003. Crop and Rangeland Monitoring in Eastern Africa For Early Warning and Food Security. Proceedings of an International Workshop organized by JRC-FAO Nairobi, 28-30 January.
- Robert L. Gillen and Phillp L. Sims., 2004. Stocking rate, precipitation, and herbage production on sand sagebrush-grassland. Journal of Range Management.57(2), March.
- Smart A.J., 2005. Forecasting Forage Production. Proceeding, The Range Beef Cow Symposium XIX December 6, 7 and Rapid City, South Dakota.
- Wight, 1987. United States Department of Agriculture. ERHYM-II: Model Description and User Guide for the BASIC Version. Agricultural Research Service, April 1987, pp, 23.
- Wight, 1987. United States Department of Agriculture. ERHYM-II: Model Description and User Guide for the BASIC Version. Agricultural Research Service, April 1987, pp, 23.
- Wight, J.R. and Hanks, R.J., 1981. A water- balance, climate model for range herbage production. J. Rang Manage, 34: 307- 311.
- Wight, Roos, J., Claytonl. Hanson, and Duane Whitmer., 1984.Using weather records with a forage production model to forecast range forage production. Journal of Range Management, 37(1), january 1984.c.

Evapotranspiration Estimation Using Climatic Data, Plant Characteristics and Cropwat 8.0 Software (Case Study: Steppic Region of MarkaziProvince, Roodshore Station)

Ehsani, A.[1*], Arzani, H.[2], Farahpour, M.[3], Ahmadi, H.[2], Jafari, M.[2] and Akbarzadeh, M.[4]

1*-Corresponding Author, Assistant Professor of Range Research Division, Research Institute of Forests and Rangelands, Tehran, Iran, Email:ehsani_arian@yahoo.com
2-Professor, Faculty of Natural Resources, University of Theran, Karaj, Iran.
3- Associate Professor of Range Research Division, Research Institute of Forests and Rangelands,Tehran,Iran,
4- Assistant Professor of Range Research Division, Research Institute of Forests and Rangelands,Tehran,Iran.

Received: 20.05.2009 Accepted: 23.01.2010

Abstract

In this study, potential and actual evapotranspiration were estimated by Penman- Matis using climatic data of Saveh Station, and plant and soil characteristics were estimated by Cropwat 8.0 software. Our results showed that potential evapotranspiration in growing season was 6.16 times greater than the average of actual evapotranspiration. Actual evapotranspiration was 1.18 times greater than the average precipitation of growing season. It means that plant species have used the stored moisture for actual evapotranspiration. According to the estimation of actual evapotranspiration in a ten-year period, a model was provided for forage production as Ya= 74.30+ 2.698 (ETact). Accordingly, average forage production of the studied site was estimated as 257 kg/hec. It could be said that actual evapotranspiration as an index for climate yield is one of the fundamental factors in improving water use efficiency. Application of the mentioned climate index in different estimation models of long term forage production could be considered in order to determine the rangeland grazing capacity and developing rangeland insurance as a replacement for the usual methods of production.

Key words: evapotranspiration, soil moisture, rangeland, Penman-Matis, Cropwat 8.0, steppe, Roodshore Research Station