

سال اول، شماره اول، بهار و تابستان 1392
تاریخ دریافت: 1391/8/1 تاریخ تأیید نهایی: 1391/12/13
صص: 1-16

تعیین دقت مدل SEBS در برآورد تبخیر و تعرق واقعی در منطقه

یزد

مریم حیدر نژاد¹، کارشناس ارشد منابع طبیعی، دانشگاه یزد، ایران
محمد زارع ارنانی، استادیار گروه مدیریت منابع طبیعی، دانشگاه یزد، ایران
مجتبی پاک پرو، پژوهشگر مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی فارس، ایران

چکیده

با توجه به این که بخش قابل توجهی از آب مصرفی به کشاورزی اختصاص دارد، محاسبه تبخیر و تعرق می تواند برای برنامه‌هایی نظیر توسعه کشت، وضع قوانین مصرف آب، مطالعات هیدرولوژیکی و غیره کاربرد فراوانی داشته باشد. هم چنین روندیابی تبخیر و تعرق می تواند در بررسی روند خشکسالی در منطقه مفید واقع شود. در این تحقیق با استفاده از تصاویر Landsat 5 TM (41 تصویر)، داده‌های هواشناسی مربوط به ایستگاه سینوپتیک یزد و مدل SEBS، تبخیر و تعرق مربوط به دوره زمانی 2011-1990 منطقه مرکزی یزد محاسبه شد و نتایج حاصل با نتایج تستک تبخیر و معادله FAO Penman-Monteith مقایسه شد تا صحت این مدل در منطقه خشک یزد برآورد گردد. فایل‌های تشعشع مورد نیاز مدل SEBS با استفاده از نرم افزار GRASS در محیط اسکریپت لینوکس تولید شد. سایر داده‌های سنجنش از دور مدل در محیط ILWIS و داده‌های هواشناسی آن با کمک اطلاعات هواشناسی ایستگاه یزد، محاسبه گردید. نتایج نشان داد تبخیر و تعرق به دست آمده با مدل SEBS، با تبخیر و تعرق روش FAO Penman-Monteith از لحاظ آماری ضریب همبستگی معنی داری داشت اما از سطح بالای همبستگی برخوردار نبود. این امر می تواند به دلیل نبود یک پیکره‌ی آبی دارای پیوستگی زمانی در محل تحقیق باشد تا امر مقایسه نتایج مدل با واقعیت را تسهیل ببخشد.

کلمات کلیدی: Landsat 5 TM، SEBS، منطقه مرکزی یزد، تبخیر و تعرق.

1-مقدمه

مجموع آبی که در مزرعه از طریق تبخیر از سطح خاک و تعرق از گیاه، از دست می‌رود تبخیر و تعرق می‌نامند. تبخیر یک فرآیند وابسته به انرژی است که متضمن تغییر از حالت مایع به بخار است (ثنایی نژاد، 1390: 54-57). تبخیر و تعرق مجموع میزان آب اتلاف شده توسط گیاهان (تعرق) و میزان آب تبخیر شده از سطح خاک و بارندگی است. با توجه به میانگین جهانی، 57 درصد بارندگی از طریق تبخیر و تعرق به جو باز می‌گردد و این مقدار ممکن است در مناطق خشک و بیابانی به 90-100 درصد هم برسد. برای بیان مفهوم تبخیر و تعرق به طور عموم، از سه اصطلاح استفاده می‌شود:

ETo یا تبخیر و تعرق مرجع: میزان تبخیر و تعرق از سطح مرجع را گویند. سطح مرجع، سطحی است که گیاه مرجع چمن با ویژگی‌های خاص روی آن کشت شده است (پترسون¹ و همکاران، 1995: 687).

ETa² یا تبخیر و تعرق واقعی: تمام آبی که تحت شرایط طبیعی، نزدیک یا روی سطح زمین به بخار آب در اتمسفر تبدیل می‌شود (مورتون³، 1983: 1).

ETp⁴ یا تبخیر و تعرق پتانسیل: زمانی رخ می‌دهد که آب به میزان کافی در اختیار گیاه باشد و گیاه با حداکثر توان خود از آن استفاده کند (ثورنتواйт⁵، 1944: 683).

تبخیر و تعرق پتانسیل با روش‌های مستقیم و غیر مستقیم قابل اندازه‌گیری است. روش‌های مستقیم با استفاده از ایستگاه لایسیمتر و فراهم کردن بالاترین صحت، به پلات‌های تجربی و کنترل رطوبت خاک و روند هواشناسی برای یافتن ورودی و خروجی آب در منطقه‌ای وسیع احتیاج دارد (برناردو⁶، 1995).

1- Peterson

2-Actual Evapo-Transpiration

3- Morton

4-Potential Evapo-Transpiration

5- Thornthwaite

6- Bernardo, 1995

تبخیر و تعرق پتانسیل (ETp) مهمترین عنصر هوا و اقلیم بعد از دما و بارندگی است. ETp نقش مهمی را در حرارت و تغییرات توده‌ای سیستم جهانی اتمسفر بازی می‌کند و نقش کلیدی را در برنامه‌های علمی بین المللی دارد (اهلرز¹، 1996). محاسبه تبخیر و تعرق پتانسیل به طور مستقیم سخت است و در بسیاری از موارد توسط داده‌های هواشناسی محاسبه می‌شود. بیشترین روش مورد استفاده، روش فائو پنمن - مانتیس² است که به داده‌های رادیانس، دما، رطوبت و بادناکی احتیاج دارد (جنسون³ و همکاران، 1990).

استفاده از سنجش از دور به معنای امروزی از سال 1972 میلادی با پرتاب اولین ماهواره‌ی زمینی یعنی لندست آغاز گردید. در ایران نیز از سال 1351 با ساخت اولین ایستگاه گیرنده داده‌های ماهواره‌ای در ماهدشت کرج، کاربرد آن رایج شد (علوی پناه، 1382). سری ماهواره‌های آمریکایی لندست از سال 1972 میلادی شروع به گرفتن تصویر از سطح زمین نموده است. این تصاویر با کیفیت بالا و به صورت چند طیفی است. با توجه به چندین دهه تصویربرداری، میلیون‌ها تصویر با پوشش جهانی در بایگانی داده‌ها موجود است. لندست 7 که در 15 آوریل 1999 با موفقیت پرتاب شد، حاوی مد پانکروماتیک با حد تشخیص 15 متر بوده و دارای سنجنده ETM+⁴ اخذ می‌گردد که برای بسیاری از کاربردها مفید می‌باشد، است.

از میان روش‌های برآورد تبخیر و تعرق با استفاده از داده‌های سنجش از دور می‌توان به روش‌های اصلی SEBI⁵ (منتی و چودهوری⁶، 1993)، S-SEBI⁷ (روئریک⁸

-
- 1- Ehlers, 1996
 - 2- FAO Penman-Monteith
 - 3- Jensen
 - 4- Enhanced Thematic Mapper
 - 5- Surface Energy Balance Index
 - 6 - Menenti & Choudhury
 - 7- Simplified Surface Energy Balance Index
 - 8- Roerink

و همکاران، 2000)،¹ SEBS (سو،² 2002)،³ METRIC (الن⁴ و همکاران، 2007)،⁵ SSEB (سنی⁶ و همکاران، 2007)،⁷ Sim-ReSET (سان⁸ و همکاران، 2009) اشاره اشاره نمود.

در این تحقیق با استفاده از داده‌های ماهواره Landsat 5، میزان تبخیر و تعرق در منطقه مرکزی یزد با بهره‌گیری از مدل SEBS برآورد می‌گردد. همان‌طور که در ادامه بیان خواهد شد در گذشته نیز افراد بسیاری با استفاده از مدل‌های سنجش از دوری مختلف، میزان تبخیر و تعرق را اندازه‌گیری کرده‌اند به‌طور مثال پاک پرور و همکاران (2011) با استفاده از روش SEBS و تصاویر Landsat 5 TM تبخیر و تعرق واقعی را در دشت گربایگان (استان فارس) محاسبه کردند. تصاویر مربوط به سال‌های 2009 و 2010 (42 تصویر) بود. مدل r.sun در محیط نرم‌افزاری GRASS-GIS و مدل SEBS برای تخمین تشعشع خالص و تبخیر و تعرق واقعی در مقیاس منطقه‌ای با استفاده از داده‌های هواشناسی مورد ارزیابی قرار گرفتند. نتایج شامل نقشه‌های مکانی و اثرات زمانی کاربری‌های مختلف زمین، با مقادیر تبخیر و تعرق مرجع حاصل از ایستگاه‌های هواشناسی مقایسه شد. در نهایت نتایج بدست آمده از r.sun برای تشعشع خالص در مقایسه با SEBS با داده‌های مشاهداتی هماهنگی بیشتری داشت. مدل SEBS در برآورد زمانی و مکانی تبخیر و تعرق نیز توانایی مطلوبی نشان داد.

نمونه دیگر کار هیل جورجیس⁹ (2006) می‌باشد که تبخیر و تعرق تابستانه را با استفاده از SEBS را در منطقه‌ای از هلند انجام داد. لایه‌های داده‌های مورد نیاز از

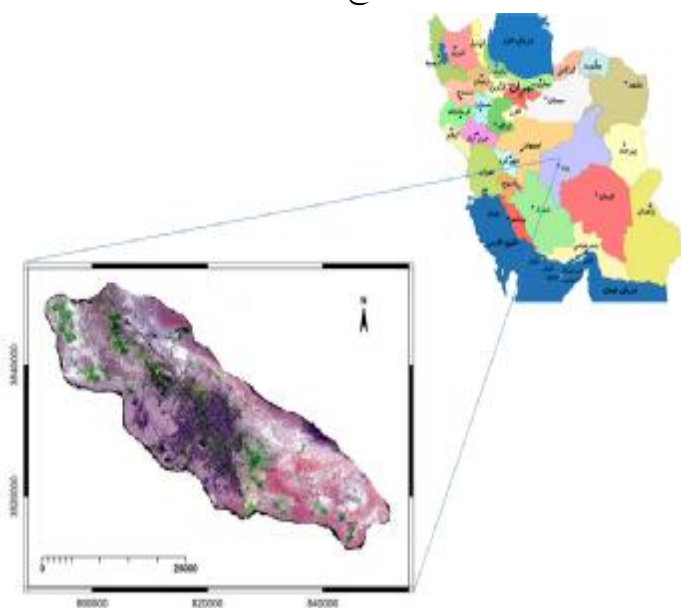
-
- 1- Surface Energy Balance System
 - 2- Su
 - 3- Mapping Evapo-Transpiration with Internalized Calibration
 - 4- Allen
 - 5- Simplified Surface Energy Balance
 - 6 - Senay
 - 7- Dual-source simple remote sensing evapotranspiration
 - 8 - Sun
 - 9-Hailegiorgis

ماهواره لندست، داده‌های هواشناسی و داده‌های آب‌های زمینی فراهم گردید. تبخیر و تعرق واقعی محاسبه شده توسط SEBS، تغییرات زمانی و مکانی تبخیر و تعرق را برای کاربری‌های مختلف زمین نشان داد. مقایسه بین تبخیر و تعرق مرجع و ضریب Kc در مدل SEBS قدرت این مدل را در این مطالعه نشان می‌دهد.

هدف از این تحقیق تعیین دقت مدل SEBS در برآورد تبخیر و تعرق واقعی در منطقه یزد می‌باشد.

مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه در این تحقیق شامل محدوده شهرهای یزد، اشکذر و مناطق اطراف آن می‌باشد (شکل 1). مختصات جغرافیایی این منطقه شامل طول شرقی 40° 38' 54 درجه، تا 54° 5' 50" و عرض شمالی 32° 3' 33" تا 31° 44' 16" است. ارتفاع متوسط منطقه 1230 متر بالاتر از سطح دریا است.



شکل 1- موقعیت منطقه مورد مطالعه در کشور

تصاویر مورد نیاز جهت این تحقیق، تصاویر Landsat TM5 مربوط به سال‌های 1990 تا 2011 مربوط به ردیف 38 و معبر 162 می‌باشد (41 تصویر) که از سایت GLOVIS¹ مربوط به سازمان زمین‌شناسی آمریکا، دانلود شد. برای اجرای SEBS و همچنین مراحل قبل از آن نظیر محاسبه تشعشع²، رطوبت مخصوص³ و... به یکسری داده‌های هواشناسی از قبیل دما، ساعت آفتابی، سرعت باد، میدان و... نیاز است. تمام داده‌های مذکور برای تاریخ‌های خاص هر تصویر، یعنی به صورت روزانه بوده و از اداره هواشناسی یزد تهیه شده است. قبل از اجرای SEBS برخی از داده‌های مورد نیاز از قبیل آلبیدو، شاخص پوشش گیاهی (NDVI) و تشعشع خالص (Rn) را می‌توان در محیط لینوکس و با استفاده از نرم افزار گراس محاسبه کرد. گراس یک نرم افزار رایگان است که به راحتی می‌توان بر روی محیط‌های مختلف مثل لینوکس و ویندوز قابل نصب کرد. لینوکس یک سیستم عامل است که بسیاری از محاسبات گراس را می‌توان با دستور نویسی و با سرعت بالا در آن انجام داد.

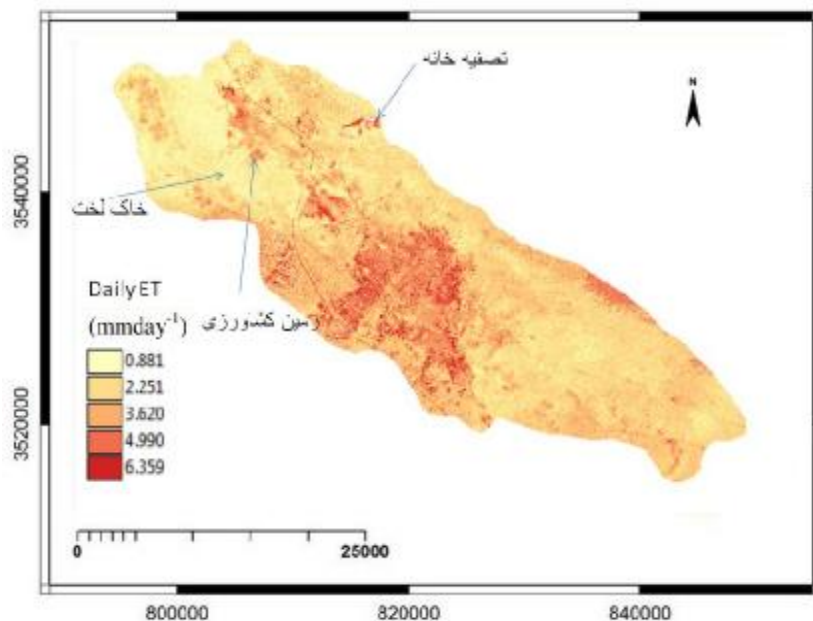
نتایج

در مدل SEBS تبخیر و تعرق واقعی محاسبه می‌شود که خروجی آخرین نقشه مربوط به سال 2011 به عنوان نمونه در شکل زیر آورده شده است. همان‌طور که در شکل مشخص شده، مقادیر تبخیر و تعرق را سه ناحیه تصفیه خانه یزد (به عنوان منطقه آبی)، زمین کشاورزی و خاک لخت استخراج گردیده است. مقادیر تبخیر و تعرق برای تصفیه خانه یزد از سال 2000 تاکنون در دسترس بود، ولی قبل از این تاریخ هنوز این محل ساخته نشده است به همین خاطر مقادیر تبخیر و تعرق حداکثر را تا سال 2000 جایگزین تبخیر و تعرق از سطح آب می‌کنیم.

1-Global visualization viewer

2-Emissivity

3-Specific humidity



شکل 2- موقعیت نقاط برداشت داده‌های تبخیر و تعرق

همان‌طور که پیش‌تر بیان شد مدل SEBS تبخیر و تعرق واقعی را محاسبه می‌کند در حالی که مدل FAO Penman- monteith تبخیر و تعرق پتانسیل را به ما می‌دهد.

$$ET_a = ET_0 \cdot K_a \cdot K_s$$

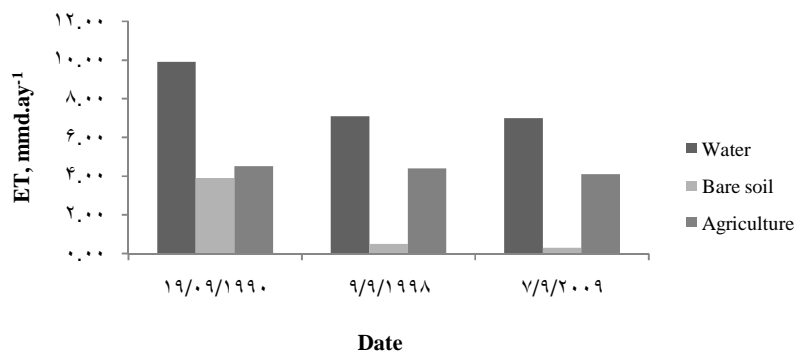
که در آن:

K_a ، ضریب گیاهی، K_s ضریب استرس است؛ مقادیر K_a و K_s در پهنه یک پیکر آبی برابر 1 در نظر گرفته شده و در نتیجه مقدار ET_a با ET_0 برابر خواهد بود. در نتیجه برای مقایسه نتایج مدل با واقعیت بایستی منطقه‌ای را مثل استخرها و دریاچه‌ها انتخاب کنیم که دارای پوشش آبی باشد. تصفیه‌خانه یزد از دو بخش استخرهای فاضلاب و محل پخش فاضلاب تشکیل شده است. داده‌ها از محل پخش فاضلاب گرفته شده است که این اراضی تحت کشت گیاه نی هستند. در کل نمی‌توان این منطقه را پوشش

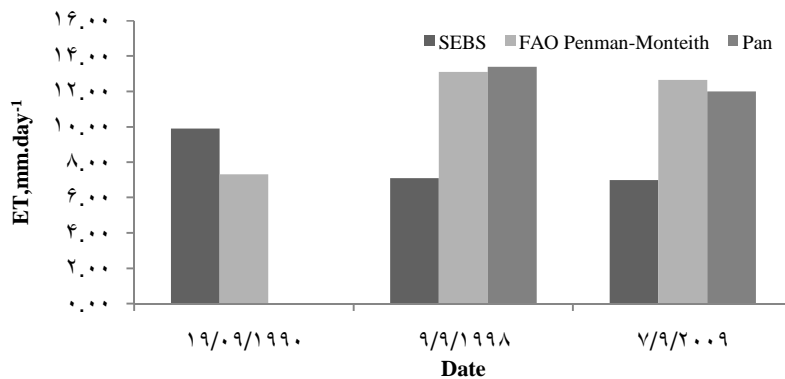
آبی مناسبی برای مقایسه با نتایج مدل SEBS در نظر گرفت؛ ولی به دلیل عدم حضور آب راکد در منطقه بهترین گزینه بود. مقادیر تبخیر و تعرق محاسبه شده با مدل SEBS برای سه کاربری پیش گفته در جدول 1 ارائه شده است.

جدول 1- مقادیر تبخیر و تعرق (mmday^{-1}) در مدل SEBS

تاریخ تصاویر	آب	خاک لخت	زمین کشاورزی	تاریخ تصاویر	آب	خاک لخت	زمین کشاورزی
19/09/1990	9/90	3/90	4/50	21/07/2009	6/00	0/30	3/10
18/04/1998	10	-	-	06/08/2009	7/90	0/00	0/00
04/05/1998	9/9	4/80	6/00	22/08/2009	6/90	0/70	4/40
20/05/1998	7/1	0/50	3/20	07/09/2009	7/10	0/10	5/90
08/08/1998	8/4	0/00	0/40	23/09/2009	7/00	0/30	4/10
09/09/1998	7/1	0/50	4/40	09/10/2009	7/00	1/10	5/50
25/09/1998	6/9	0/00	3/00	10/11/2009	9/70	2/20	6/80
27/10/1998	10	6/50	8/40	12/12/2009	5/10	5/80	1/70
12/11/1998	10	7/80	5/00	14/02/2010	4/60	5/00	3/40
14/12/1998	9/9	5/80	7/80	18/03/2010	8/60	7/00	9/80
31/01/1999	10	2/60	3/50	03/04/2010	9/00	2/00	6/00
20/03/1999	9/9	4/40	6/00	05/05/2010	7/10	1/80	5/00
01/12/1999	10	2/10	3/00	08/07/2010	9/80	0/90	7/70
06/03/2000	10	5/30	6/30	09/08/2010	6/10	0/00	4/90
25/05/2000	6/8	0/00	1/10	28/10/2010	8/70	0/00	4/00
10/6/2000	6/5	-	-	29/11/2010	8/90	5/20	8/20
15/03/2009	9/70	0/70	3/00	15/12/2010	5/50	5/40	5/50
18/05/2009	9/90	0/00	4/50	05/03/2011	7/30	9/00	6/20
03/06/2009	8/10	0/10	5/50	08/05/2011	5/50	5/50	3/80
19/06/2009	5/00	0/00	1/30				



شکل 3- مقایسه مقادیر تبخیر و تعرق به دست آمده از مدل SEBS سال‌های 1998، 1999 و 2009



شکل 4- مقادیر تبخیر و تعرق با استفاده از سه روش سبس، تشتک تبخیر و فائو پنمن - مانتیس

مقادیر تبخیر و تعرق مربوط به تشتک تبخیر منطقه مورد نظر از ایستگاه هواشناسی یزد گرفته شد. از فرمول FAO Penman-Monteith هم مقادیر تبخیر و تعرق پتانسیل محاسبه شد که در جدول 2 آورده شده است.

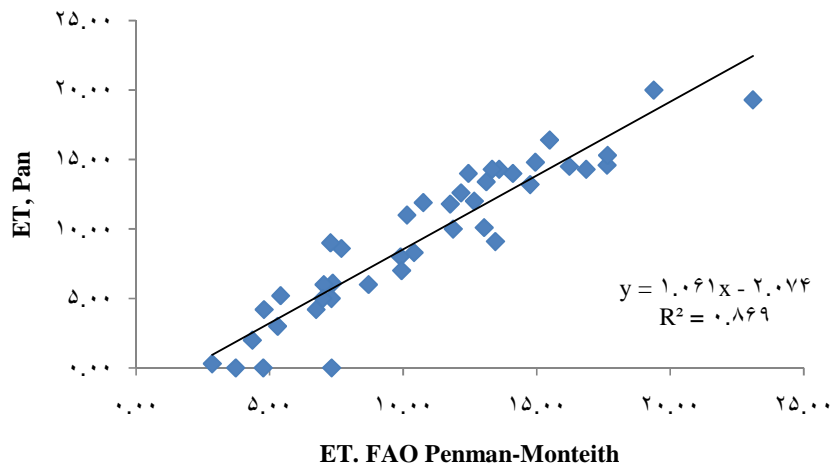
جدول 2- مقادیر تبخیر و تعرق منطقه مورد مطالعه به روش FAO Penman-Monteith و تشتک تبخیر،

مربوط به تاریخ تصاویر مورد استفاده

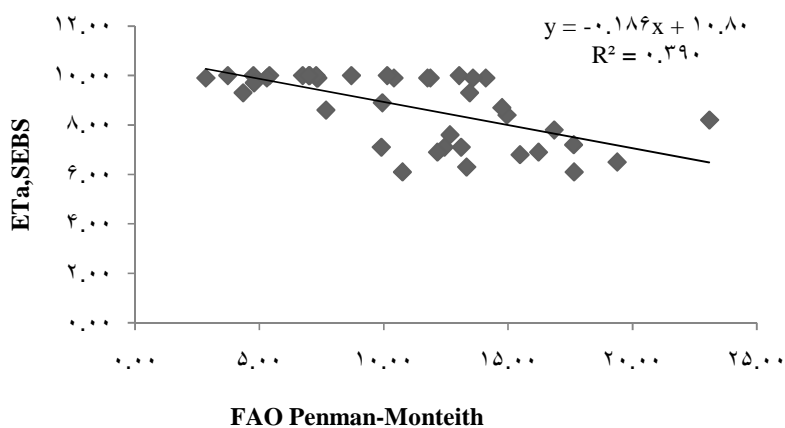
تاریخ تصاویر	تبخیر و تعرق با فرمول FAO Penman- Monteith(mm/day)	تبخیر و تعرق تشتک (mm/day)	تاریخ تصاویر	تبخیر و تعرق با فرمول FAO Penman- Monteith(m m/day)	تبخیر و تعرق از تشتک (mm/day)
19/09/1990	7/32	—	21/7/2009	23/09	19/3
18/04/1998	13/03	10/10	06/08/2009	17/63	14/6
04/05/1998	10/41	8/30	22/08/2009	16/85	14/3
20/05/1998	12/44	14/00	07/09/2009	12/66	12
08/08/1998	14/95	14/80	23/09/2009	9/90	8
09/09/1998	13/11	13/40	09/10/2009	10/14	11
25/09/1998	12/16	12/60	10/11/2009	4/79	4/2
27/10/1998	8/70	6/00	12/12/2009	2/85	0/3
12/11/1998	6/74	4/20	14/02/2010	5/41	5/2
14/12/1998	7/31	5/00	18/03/2010	13/45	9/1
31/01/1999	4/76	—	03/04/2010	7/68	8/6
20/03/1999	7/36	6/10	05/05/2010	11/76	11/8
01/12/1999	3/73	0/00	08/07/2010	17/65	15/3
06/03/2000	7/03	6/00	09/08/2010	14/75	13/2
25/05/2000	15/48	16/40	28/10/2010	7/28	9
10/06/2000	19/38	20/00	29/11/2010	5/30	3
15/03/2009	11/87	10	15/12/2010	6/99	5
18/05/2009	14/10	14	05/03/2011	4/35	2
03/06/2009	13/59	14/3	08/05/2011	10/75	11/9
19/06/2009	16/22	14/5	15/10/2011	9/94	7
05/07/2009	13/33	14/3			

مقایسه‌ای از ضریب رگرسیون در سه روش محاسبه تبخیر و تعرق منطقه مورد مطالعه در زیر انجام شده است. همان‌طور که مشاهده می‌کنید ضریب R^2 مربوط به تشتک تبخیر و معادله فائو پنمن - مانتیس به یک نزدیک است و همبستگی بالای داده‌ها

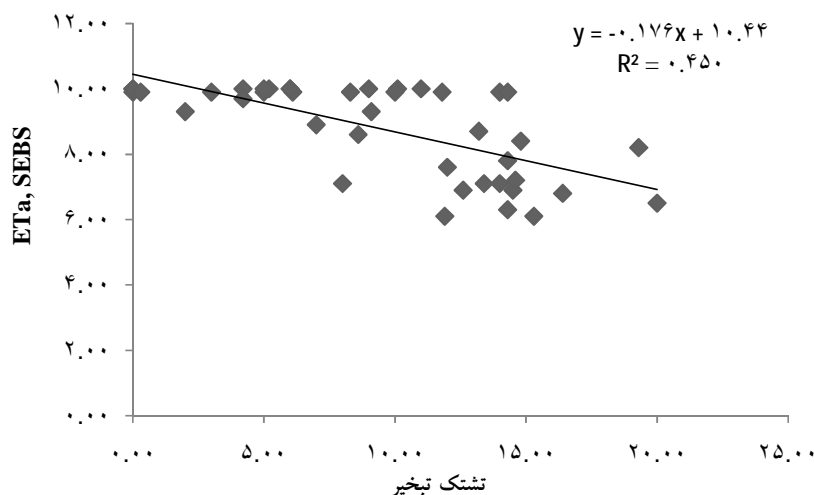
را نشان می‌دهد، ولی ضریب R^2 در مدل سبب و دو روش نسبت به هم از سطح معنی داری کمتری برخوردار است که خود می‌تواند به دلیل عدم دسترسی به مکان مناسب برای برداشت داده‌های آبی باشد.



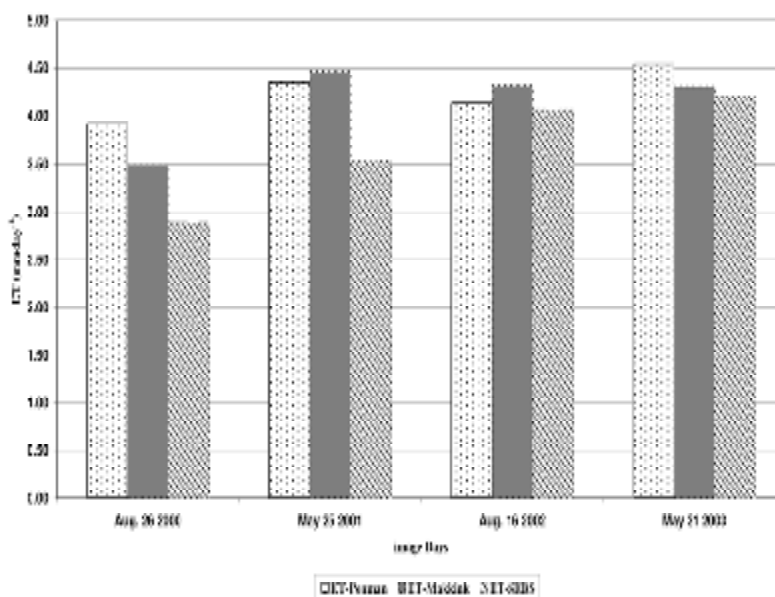
شکل 5- نمودار رگرسیون مربوط به تبخیر و تعرق تشتک و معادله FAO Penman-Montieth



شکل 6- نمودار رگرسیون تبخیر و تعرق SEBS و معادله FAO Penman-Monteith

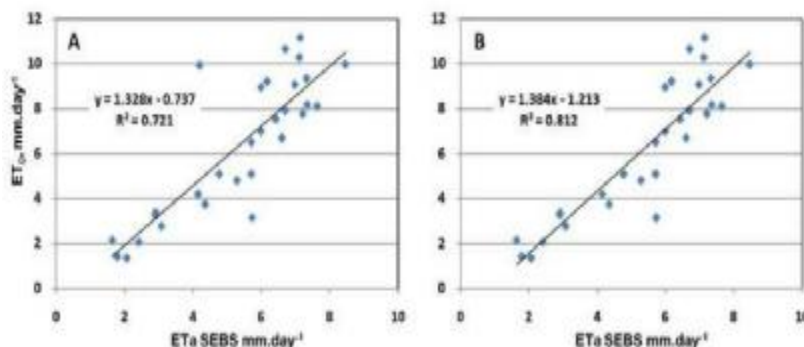


مورد نظر یعنی هلند خوب است. میزان بارش سالانه در این منطقه طی دوره زمانی 2000-2003 از حدود 200 تا 300 میلیمتر در سال بوده است ولی در سال 2003 به دلیل خشکسالی این میزان به شدت کاهش یافته است. با توجه به میانگین بارندگی‌های سالانه نمی‌توان این منطقه را جزو مناطق خشک نظیر یزد به حساب آورد.



شکل 8- مقایسه تبخیر و تعرق به دست آمده از مدل SEBS با دو روش Penman و Makink

پاک پرور و همکاران (2011) از روشی مشابه روش این تحقیق برای برآورد تبخیر و تعرق در منطقه پخش سیلاب دشت گربایگان (استان فارس) استفاده کردند. نتایج به دست آمده به دلیل منطقه آبی مناسب برای برداشت داده‌ها، با داده‌های واقعی (شکل 9) هماهنگی زیادی دارد.



شکل 9- نمودار رگرسیون مربوط به تبخیر و تعرق SEBS و تشتک تبخیر

نقشه Eta حاصل از SEBS برای مطالعه پراکنش مکانی تبخیر و تعرق در منطقه مورد مطالعه بسیار مفید است. در روش‌هایی مانند فائو پنمن مانتیس و تشتک تبخیر اطلاعات در حد یک نقطه در ایستگاه هواشناسی است و اطلاعاتی از چگونگی پراکنده‌گی مکانی آن و نیز میزان تبخیر و تعرق در کاربری‌های مختلف مثل کشاورزی، خاک لخت و ... نداریم.

همچنین روش‌های محاسبه‌ای مانند فائو پنمن مانتیس ET پتانسیل را به ما می‌دهند و از تبخیر و تعرق واقعی آگاهی کافی به ما نمی‌دهند. اندازه‌گیری Eta نیازمند آزمایشات پرهزینه و زمان‌بری است تا Ka و Ks را برای هر نوع پوشش گیاهی به دست آوریم؛ اما کاربرد روش‌های مبتنی بر RS مانند مدل SEBS مستقیماً عدد Eta را می‌دهند.

منابع

ثنایی نژاد، حسین، نوری، سمیرا، هاشمی نیا، مجید، (1390)، برآورد تبخیر و تعرق واقعی با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای در منطقه مشهد. نشریه آب و خاک (علوم و صنایع کشاورزی)، 25(3)، 547-540.

- علوی پناه، کاظم، (1382)، کاربرد سنجش از دور در علوم زمین (علوم خاک). انتشارات دانشگاه تهران. 230 ص.
- Allen, R. G., Tasumi, M., & Trezza, R. (2007). Satellite-Based Energy Balance for Mapping Evapotranspiration with Internalized Calibration (METRIC)-Model. *ASCE Journal of Irrigation and Drainage Engineering*, 133, 380-394.
- Bernardo, S. (1995). Manual irrigation. Federal university of Vicosa. 657 p.
- Chebouni, A., Nouvellon, Y., Lhomme, J. P., Watts, C., Boulet, G., Kerr, Y. H., Moran, M. S., & Goodrich, D. C. (2001). Estimation of surface sensible heat flux using dual angle observations of radiative surface temperature. *Agricultural and Forest Meteorology*, 108, 55-65
- Ehlers, E., & Krafft, T. (eds) (1996). German global change research, national committee on global change research, Bonn, p.128.
- Hailegiorgis, W. S. (2006). Remote sensing analysis of summer time evapotranspiration using SEBS algorithm, International Institute for Geo-information Science and Earth Observation, Enschede, The Netherlands.
- Jensen, M. E., Burman, R. D., & Allen, R. G. (1990). Evaporation and irrigation water requirements, American Society of Civil Engineering, Manual No. 70.
- Menenti, M., & Choudhury, B. J. (1993). Parameterization of land surface evapotranspiration using a location dependent potential evapotranspiration and surface temperature range. In H.J. Bolle (Ed.), *Proceedings of exchange processes at the land surface for a range of space and time scales* (pp. 561-568): IAHS Publ 212
- Morton, F. L. (1983). Operational estimates of areal evapotranspiration and their significance to the science and practice of hydrology. *Journal of Hydrology*, 66,1-76.
- Norman, J. M., Kustas, W. P., & Humes, K. S. (1995). Source approach for estimating soil and vegetation energy fluxes in observations of directional radiometric surface temperature. *Agricultural and Forest Meteorology*, 77, 263-293.
- Pakparvar, M., Cornelis, W, Pereira, L. S, Gabriels, D, Edraki, M, Hafeez, M., & Kowsar, S.A, (2013). Remote sensing estimation of actual evapotranspiration in a multiple land use arid landscape of southern Iran. Under review by the *Journal of Agricultural Water Management*.
- Peterson T. C., Golubev V. S., & Groisman, Y. (1995). Evaporation losing its strength. *Nature*, 377, 687-688.
- Roerink, G. J., Su, Z., & Menenti, M. (2000). S-SEBI: A simple remote sensing algorithm to estimate the surface energy balance. *Physics and Chemistry of the Earth, Part B: Hydrology, Oceans and Atmosphere*, 25, 147-157.

- Senay, G. B., Budde, M., Verdin, J. P., & Melesse, A. M. (2007). A coupled remote sensing and simplified surface energy balance approach to estimate actual evapotranspiration from irrigated fields. *Sensors*, 7, 979-1000.
- Sun, Z., Wang, Q., Matsushita, B., Fukushima, T., Ouyang, Z., & Watanabe, M. (2009). Development of the Simple Remote Sensing EvapoTranspirationmodel(Sin-ReSET): Algorithm and model test. *Journal of Hydrology*, 376, 476-485.
- Su, Z. (2002). The Surface Energy Balance System (SEBS) for estimation of turbulent heat fluxes. *Hydrology and Earth System Sciences*, 6, 85-99
- Thorntwaite, C. W. (1944). Report of the committee on transpiration and evaporation. *Transaction of the American Geophysical Union* 25(5),683-693.
- <http://glovis.usgs.gov> (USGS Global Visualization Viewer. Retrieved Octobre 14, 2011)
- www.grass.osgeo.org (GRASS GIS. November 1, 2012).