محاسبه تبخیر وتعرق روزانه گیاه مرجع و مقایسه آن با مقدار اندازه گیری شده توسط لایسیمتر الکترونیکی

مهندس بهرام بختیاری

هیات علمی جهاد دانشگاهی کرمان

دکتر محمد جواد خانجانی

هیات علمی دانشگاه شهید باهنر کرمان

دکتر امین علیزاده

هیات علمی دانشگاه فردوسی مشهد

دکتر غلامعلی کمالی

استادیار پژوهشکده هواشناسی تهران

مهندس حمید تراز

هیات علمی جهاد دانشگاهی کرمان

چکیده

محاسبه آب مصرفی گیاه مرجع و بهره برداری از آن برای تعیین میزان آب آبیاری محصولات، باعث افزایش راندمان آبیاری و صرفه جویی قابل توجهی در میزان آب مورد نیاز برای تولیدات مختلف می گردد. لایسیمتر دستگاهی است که برای اندازه گیری آب مصرفی گیاه مورد استفاده قرار میگیرد.لایسیمتر الکترونیکی جهاد دانشگاهی کرمان بهمین منظور ساخته شده است. در این مطالعه با استفاده از اطلاعات

جمع آوری شده توسط دستگاه لایسیمتر، معادله پنمن-مانتیس(Penman-Montieth) روزانه کالیبره شده است. آمارهای کوتاه مدت منفصل لایسیمتر با استفاده از سری فوریه بصورت متصل مدل بندی گردیده و نتایج مدل با نتایج محاسبه شده توسط معادله پنمن-مانتیس مقایسه گردیده است. با توجه به اینکه سیستم اندازه گیری دستگاه لایسیمتر، دوگانه بوده، نتایج حاصل از اندازه گیریها با نتایج معادله پنمن-مانتیس تطبیق داده شده و ضرایب اصلاحی برای معادله مزبور در این منطقه پیشنهاد گردیده است.

واژه های کلیدی: تبخیر وتعرق، نیاز آبی، لایسیمتر، پنمن-مانتیس.

مقدمه

آب مصرفی گیاهان زراعی، قسمت اعظم (بیش از ۹۰ درصد) آب استحصالی ایران را تشکیل میدهد. هر نوع صرفه جویی در مصرف آب باعث بکارگیری آن در زمینه های متنوع دیگر شده و در نتیجه باعث افزایش کارآیی اقتصادی و کاهش بیکاری می گردد. برآورد آب مصرفی گیاه و تطبیق آن با آب مصرفی واقعی، سالهاست مورد توجه محققین قرار گرفته و فرمولهای گوناگون پیشنهاد گردیده است[۱و۳] . فرمولهای پیشنهادی برای هر منطقه نیاز به کالیبره شدن در طی سالیان متوالی دارد و هرگز بدون اندازه گیری مقدار دقیق آب مصرفی، به نتایج حاصل از معادلات گوناگون ، نمی توان اعتماد نمود. بهمین دلیل ساخت لایسیمتر و اندازه گیری مستقیم آب مصرفی گیاه در مراکز تحقیقاتی بشدت مورد توجه قرار گرفته است[۱و۴] . لایسیمتر جهاد دانشگاهی کرمان بدین منظور ساخته شده و از این دستگاه برای اندازه گیری آب مصرفی گیاه مرجع استفاده می شود. معادله پنمن-مانتیس از پارامترهای نسبتا متداولی برای برآورد تبخیر وتعرق استفاده میکند و با توجه به بررسیهای مختلف نتایج آن به واقعیت نزدیک است ، از اینرو در این مطالعه برای محاسبه تبخیر و تعرق از آن استفاده شده است [۳]. جنسن و همکاران [۱] پیشنهاد کردند ضریب گیاهان زراعی برای هر گیاه در مناطق مختلف با شرایط آب و هوایی مربوطه از طریق تجربی محاسبه گردد تا قابل اعتماد باشند. پروت و دورنباس [۵] برای بعضی از گیاهان ضریب زراعی را محاسبه و ارائه کرده اند ولی بکارگیری آنها در مناطق مختلف نیاز به اندازه گیری مجدد دارد تا صحت آنها اثبات گردد.

در این مطالعه با استفاده از آمار روزانه جمع آوری شده در ایستگاه لایسیمتری کرمان، مقدار تبخیر و تعرق با استفاده از معادله پنمن-مانتیس محاسبه گردیده و سپس با مقدار اندازه گیری شده توسط لایسیمتر تطبیق داده شده و مقدار ضریب اصلاحی معادله پنمن-مانتیس و نسبت تبخیر و تعرق اندازه گیری شده به محاسبه شده به وسیله معادله پنمن-مانتیس محاسبه گردیده است. جهت متصل سازی اطلاعات منفصل ده دقیقه ای اندازه گیری شده توسط لایسیمتر از سری فوریه استفاده شده است.

معادله پنمن-مانتیس

با توجه به اعتبار معادله پنمن-مانتیس و بکار گیری آن در مناطق مختلف [۱و۶]، در این مقاله برای برآورد ضریب اصلاحی از آن استفاده شده است. از آنجاییکه بکارگیری این معادله نیاز به دقت دارد، لذا تلاش شده

است که اجزای این معادله و چگونگی بکار گرفتن آنها با جزئیات بیشتر ارائه شود تا مورد استفاده افراد علاقه مند قرار گیرد. معادله پنمن - مانتیس بصورت زیر [۶و۷] :

$$ET_0 = \frac{\Delta \times Q_n + \gamma \times E_a}{\Delta + \gamma} \quad (۱)$$

$$P_a = 1013 - 0.1152h + 5.44 \times 10^{-6} \times h^2 \quad (۲)$$

$$e_{sa} = \exp\left(\frac{19.08T_a + 429.4}{T_a + 237.3}\right) \quad (۳)$$

$$e_a = 0.01 \times e_{sa} \times R_H \quad (۴)$$

$$\Delta = \frac{4098 \times e_{sa}}{(T_a + 237.3)^2} \quad (۵)$$

$$\gamma = \frac{1615 \times P_a}{(2.49 \times 10^6 - 2.13 \times 10^3 \times T_a)} \quad (۶)$$

$$\delta = \tfrac{180}{\pi} \times (0.006918 - 0.399912 \times \cos(\theta) + 0.070257 \times \sin(\theta) - 0.006758 \times \cos(2\theta) + 0.000907 \times \sin(2\theta) - 0.002697 \times \cos(3\theta) - 0.00148 \times \sin(3\theta)) \quad (۷)$$

$$\theta = 0.986 \times (j - 1) \quad (۸)$$

$$d_s = \cos^{-1}[-\tan(\phi) \times \tan(\delta)] \quad (۹)$$

$$r_{ve} = 0.98387 - 1.11403 \times 10^{-4}(j) + 5.2774 \times 10^{-6}(j)^2 - 2.68285 \times 10^{-8} \times (j)^3 + 3.616 \times 10^{-11}(j)^4 \quad (۱۰)$$

$$h_{do} = 12.126 - 1.85191 \times 10^{-3} \times ABS(\phi) + 7.61048 \times 10^{-5} \times (\phi)^2 \quad (۱۱)$$

$$R_a = 1.26714 \times \left(\frac{h_{do}}{(r_{ve})^2}\right) \times [h_s \times \frac{\pi}{180} \times \sin(\delta) + \cos(\phi) \times \cos(\delta) \times \sin(h_s)] \quad (۱۲)$$

$$R_s = (0.18 + 0.55 \times \frac{n}{N}) \times R_a \quad (۱۳)$$

$$Q_n = 0.75 \times R_s - 2 \times 10^{-9} (T_a + 273.16)^4 \times (0.34 - 0.44 \times \sqrt{e_a}) \times (-0.35 + 1.8 \times \frac{R_s}{R_a}) \quad (۱۴)$$

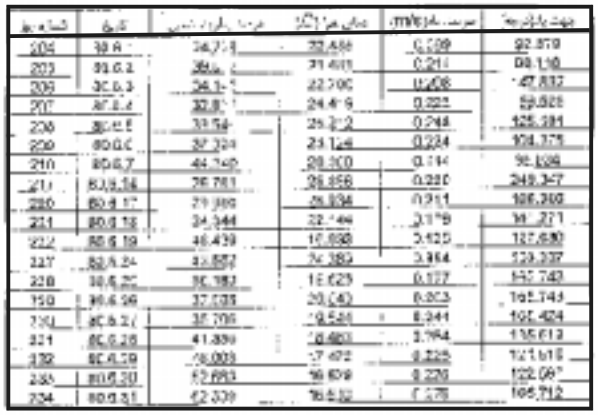
$$E_a = (0.27 + 0.2333 \times U_2) \times (e_{sa} - e_a) \quad (۱۵)$$

که در آن:

P_a فشار هوا (میلی بار)،h متوسط ارتفاع منطقه از سطح دریا (متر)، T_aمیانگین دمای روزانه (درجه سانتیگراد)، e_{sa} فشار بخار اشباع در دمای هوا (میلی بار)، e_a فشار بخار واقعی هوا (میلی بار)، R_H رطوبت نسبی (٪)، Δ شیب منحنی تغییرات فشار بخار نسبت به درجه حرارت (میلی بار بر درجه سانتیگراد)، γ ضریب سایکرومتری(میلی بار بر درجه سانتیگراد)، θ درجه روز از سال(درجه)، δ زاویه میل خورشید(درجه)، h_{ds} زاویه میل خورشید به هنگام طلوع آفتاب (درجه)، r_{ve} بردار شعاع زمین، h_{do} ساعتی از روز که زاویه میل خورشید برابر صفر است (ساعت)، R_a تشعشع رسیده به بالای جو (میلیمتر بر روز)، R_s تشعشع خورشیدی رسیده به زمین (میلیمتربر روز)،n/Nنسبت ساعات آفتابی روز خاص به ساعات آفتابی ممکن و بدون بعد است، Q_n میزان تشعشع خالص (میلیمتر بر روز)، E_a جزء آئرودینامیکی معادله (میلیمتر بر روز)،U2 سرعت باد در ارتفاع دو متری (متر برثانیه) ،j شماره روز از اول ماه ژانویه و ET_o میزان تبخیر وتعرق محاسبه شده بر حسب میلیمتر بر روز است.

بکارگیری معادله پنمن- مانتیس

جهت بکار گیری معادله پنمن - مانتیس، از اطلاعات جمع آوری شده ایستگاه هواشناسی مستقر در نزدیکی ایستگاه لایسیمتری کرمان استفاده شده است. این اطلاعات در جدول (۱) نشان داده شده است. در این جدول آمار هواشناسی شامل درصد رطوبت نسبی، دمای هوا، سرعت و جهت باد در شهریور ماه ارائه شده است. دامنه تغییرات دما در این ماه بین ۱۶/۵ تا ۲۵/۲ درجه سانتیگراد متغیر بوده و در تمامی روزهای مورد بررسی هوا آفتابی و دامنه تغییرات رطوبت نسبی بین ۲۹/۸ تا ۶۲/۶ درصد بوده است.



جدول(۱): اطلاعات ثبت شده توسط سکوی هواشناسی مستقر در ایستگاه لایسیمتری کرمان

با استفاده از اطلاعات موجود در جدول (۱) و بکارگیری معادلات بالا، میزان تبخیر وتعرق روزانه در ایستگاه لایسیمتری کرمان قابل برآورد است. داده های ورودی به معادله شامل شماره روز میلادی، متوسط روزانه درجه حرارت هوا، متوسط روزانه درصد رطوبت نسبی، سرعت باد روزانه، متوسط ارتفاع ایستگاه از سطح دریا و عرض جغرافیایی منطقه می باشد. در این بررسی عرض جغرافیایی ۳۰ درجه و ۲۵ دقیقه، ارتفاع ۱۷۴۹/۵ متر از سطح دریا برای کرمان در نظر گرفته شده است. پارامترهای محاسبه شده و میزان تبخیر و تعرق پنمن -مانتیس در جدول (۲) ارائه شده است.

تحلیل اطلاعات لایسیمتری

با توجه به تغییر وزن کپسولهای کاشت شمالی و جنوبی لایسیمتر ، جهت تعادل سازی آمار و اطلاعات و حذف نقاط پرت و خطاهای اتفاقی، از سری زمانی فوریه استفاده شده است. معادله پیشنهادی توسط این مدل بصورت زیر است:

$$ET_o = \frac{C_1 + \sum_{J=1}^{n} C_2 \times \cos(\frac{ij}{T} + C_3)}{7} \qquad (۱۶)$$

که در آن :

ETc میزان تبخیر وتعرق برآورد شده توسط مدل بر حسب (mm/day)

C_2, C_1 ضرایب ثابت معادله، جدولهای (۳و۴)،

فاکتور تغییر فاز،جدولهای (۳و۴)

j، شماره روز از اول ماه ژانویه، n تعداد روز، T فاکتور زمان و برابر، و ضریب ۷ بر حسب متر مربع نشان دهنده سطح کپسولهای لایسیمتر است.

$e_{s\max}$	$e_{s\min}$	Δ	P_a	γ	θ	δ	δ
mbar	mbar	mb/°C	mbar	mb/°C	rad	degree	rad
17.685	8.183	1.078	828.108	0.547	3.493	20.407	0.356
17.237	8.733	1.056	828.108	0.547	3.511	20.209	0.353
18.429	6.293	1.117	828.108	0.548	3.528	20.004	0.349
20.232	6.651	1.210	828.108	0.549	3.546	19.793	0.345
21.114	8.139	1.263	828.108	0.549	3.562	19.577	0.342
16.859	8.982	1.140	828.108	0.548	3.579	19.354	0.338
16.202	7.198	1.000	828.108	0.547	3.597	19.128	0.334
25.617	8.655	1.482	828.108	0.551	3.717	17.377	0.303
23.147	6.918	1.359	828.108	0.550	3.769	16.540	0.289
17.877	8.140	1.088	828.108	0.547	3.788	16.264	0.284
13.359	8.207	0.847	828.108	0.545	3.803	15.973	0.279
20.199	8.619	1.209	828.108	0.549	3.889	14.455	0.252
16.585	5.828	0.988	828.108	0.546	3.906	14.138	0.247
16.464	8.089	1.013	828.108	0.547	3.924	13.818	0.241
15.482	5.528	0.962	828.108	0.545	3.941	13.493	0.236
14.589	6.029	0.914	828.108	0.546	3.958	13.166	0.230
13.780	8.339	0.870	828.108	0.545	3.975	12.833	0.224
13.069	8.211	0.833	828.108	0.545	3.992	12.498	0.218
13.117	8.173	0.834	828.108	0.546	4.010	12.158	0.212

$h_{s\max}$	$h_{s\min}$	F_{cc}	$h_{s\Delta}$	R_a	R_s	Q_{so}	E_o	ET_o
rad	degree		hr	mm/day	mm/day	mm/day	mm/day	mm/day
1.790	102.631	1.016	12.125	16.454	12.011	5.491	4.102	4.997
1.787	102.396	1.016	12.126	16.428	11.992	5.528	3.954	4.795
1.785	102.267	1.015	12.126	16.401	11.973	5.490	3.886	4.805
1.782	102.115	1.015	12.125	16.374	11.953	5.348	4.870	5.043
1.780	101.970	1.015	12.125	16.345	11.932	5.478	4.255	5.103
1.777	101.821	1.015	12.125	16.316	11.911	5.429	3.823	4.905
1.774	101.666	1.015	12.126	16.289	11.889	5.656	2.743	4.561
1.754	100.515	1.014	12.126	16.048	11.715	4.977	6.027	5.252
1.745	99.979	1.014	12.125	15.933	11.631	5.016	5.161	5.033
1.742	99.795	1.014	12.125	15.890	11.602	5.129	3.605	4.637
1.739	99.609	1.014	12.125	15.852	11.572	5.360	2.142	4.101
1.722	98.648	1.013	12.126	15.632	11.411	5.203	4.014	4.852
1.718	98.447	1.013	12.125	15.585	11.377	5.015	3.080	4.319
1.716	98.247	1.012	12.125	15.537	11.342	5.000	3.209	4.490
1.711	98.044	1.012	12.125	15.488	11.307	4.953	3.255	4.398
1.708	97.840	1.012	12.126	15.459	11.271	5.041	2.856	4.217
1.704	97.634	1.012	12.125	15.359	11.234	5.095	2.400	4.059
1.700	97.427	1.012	12.126	15.358	11.197	5.318	1.575	3.638
1.697	97.218	1.011	12.126	15.262	11.159	5.285	1.662	3.649

جدول (۲) : تبخیر و تعرق محاسبه شده توسط معادله پنمن مانتیس و پارامترهای مربوطه در ایستگاه لایسیمتری کرمان

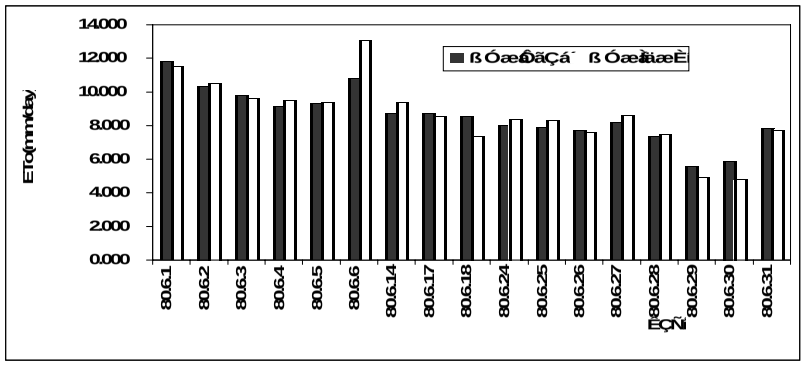
شماره روز	تاریخ	C1	C2	C3	Etc (mm/day)
204	80.06.01	22437.640	52.404	-0.091	12.429
205	80.06.02	22437.690	51.410	6.331	11.644
206	80.06.03	22439.610	43.907	-0.075	10.378
207	80.06.04	22475.250	43.346	-0.038	10.129
208	80.06.05	22484.550	42.537	-0.147	10.254
209	80.06.06	22446.610	60.330	-0.100	14.372
217	80.06.14	22388.940	41.515	6.163	9.937
220	80.06.17	22434.550	38.081	-0.190	9.309
221	80.06.18	22385.190	29.540	5.881	7.535
227	80.06.24	22487.260	35.672	-0.359	9.101
228	80.06.25	22472.150	35.359	-0.295	8.889
229	80.06.26	22509.660	32.450	-0.314	8.196
230	80.06.27	22508.690	36.747	-0.341	9.344
231	80.06.28	22490.820	30.786	-0.506	8.046
232	80.06.29	22454.790	21.674	-0.258	5.371
233	80.06.30	22428.040	20.995	-0.259	5.199
234	80.06.31	22429.400	33.914	-0.268	8.415

جدول (۳): مقادیر ضرایب معادله پیشنهادی (۱۶) و تبخیر و تعرق اندازه گیری شده توسط کپسول شمالی لایسیمتر

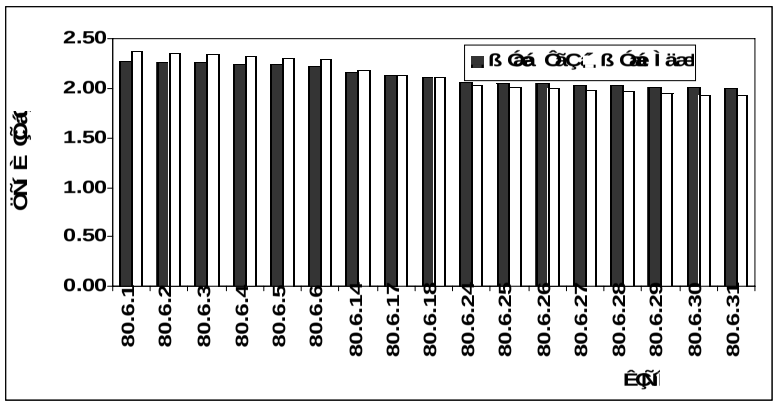
شماره روز	تاریخ	C1	C2	C3	Etc (mm/day)
204	80.06.01	22437.670	56.105	0.007	12.918
205	80.06.02	22429.180	48.003	6.313	10.950
206	80.06.03	22434.040	46.209	0.033	10.523
207	80.06.04	22476.570	42.021	-0.014	9.737
208	80.06.05	22501.170	42.926	-0.076	10.153
209	80.06.06	22459.220	50.175	-0.076	11.867
217	80.06.14	22436.860	37.181	6.045	9.203
220	80.06.17	22494.400	39.173	-0.157	9.475
221	80.06.18	22452.990	37.323	-0.202	9.155
227	80.06.24	22619.320	33.894	-0.422	8.736
228	80.06.25	22627.500	33.660	-0.300	8.472
229	80.06.26	22638.720	32.697	-0.329	8.290
230	80.06.27	22659.960	34.528	-0.373	8.843
231	80.06.28	22709.130	30.530	-0.479	7.958
232	80.06.29	22674.480	24.309	-0.293	6.094
233	80.06.30	22650.530	26.784	-0.173	6.402
234	80.06.31	22650.530	26.784	-0.173	6.387

جدول (۴): مقادیر ضرایب معادله پیشنهادی (۱۶) و تبخیر وتعرق اندازه گیری شده توسط کپسول جنوبی لایسیمتر

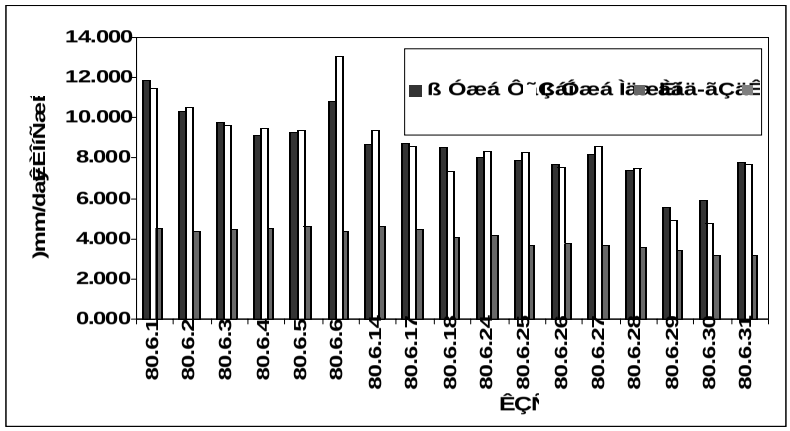
با توجه به جدولهای (۳) و (۴) ضرایب بدست آمده برای دو کپسول کاشت لایسیمتر با یکدیگر متفاوت بوده، اما با توجه به آنالیزهای انجام شده همبستگی بسیار خوبی را با یکدیگر نشان می دهند. ضرایب پیشنهادی مدل در جدولهای (۳و۴) نشان داده شده است. از اینرو با در دست داشتن شماره روز و با استفاده از معادله (۱۶) می توان میزان تبخیر وتعرق لحظه ای و یا روزانه را با استفاده از داده های لایسیمتری برآورد نمود. شکل (۱) میزان تبخیر وتعرق روزانه اندازه گیری شده به وسیله کپسولهای کاشت شمالی و جنوبی لایسیمتر را نشان می دهد. علت اختلاف در مقادیر اندازه گیری شده بین دو کپسول، تغییر درجه حرارت هوا، سمت و سرعت باد و نشستن اتفاقی پرندگان و جانوران بر روی کپسولها و غیره می باشد.



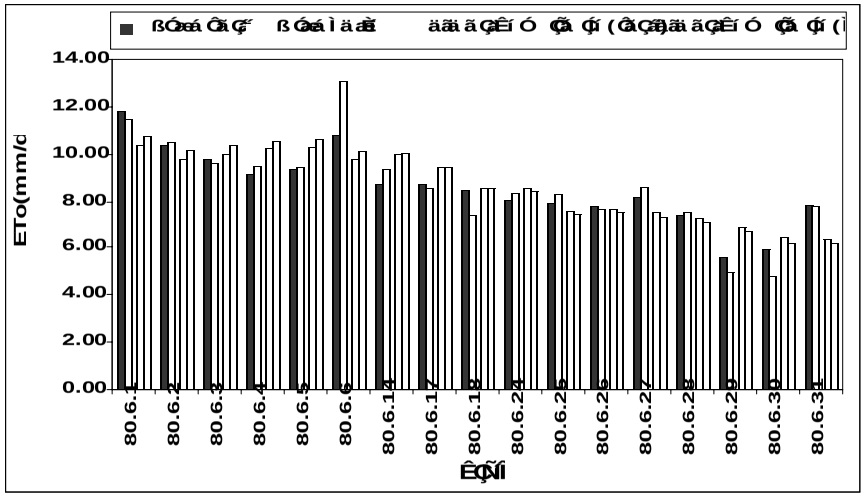
شکل (۱): تبخیر وتعرق روزانه اندازه گیری شده به وسیله کپسولهای شمالی و جنوبی لایسیمتر



شکل (۲) :مقایسه تبخیر وتعرق روزانه اندازه گیری شده توسط لایسیمتر و محاسبه شده توسط معادله پنمن- مانتیس



شکل (۳) : ضریب اصلاحی برای معادله پنمن - مانتیس جهت تطبیق با مقادیر اندازه گیری شده توسط لایسیمتر



شکل (۴) : مقایسه تبخیر وتعرق محاسبه شده به وسیله معادله پنمن- مانتیس و اندازه گیری شده به وسیله کپسولهای لایسیمتر

شماره روز	تاریخ	ضریب اصلاحی (کپسول شمالی)	ضریب اصلاحی (کپسول جنوبی)
204	80.06.01	2.585	2.487
205	80.06.02	2.288	2.433
206	80.06.03	2.150	2.120
207	80.06.04	1.931	2.009
208	80.06.05	1.989	2.008
209	80.06.06	2.421	2.931
217	80.06.14	1.749	1.889
220	80.06.17	1.971	1.838
221	80.06.18	1.974	1.625
227	80.06.24	1.809	1.884
228	80.06.25	1.962	2.058
229	80.06.26	1.884	1.863
230	80.06.27	2.038	2.154
231	80.06.28	1.897	1.908
232	80.06.29	1.502	1.323
233	80.06.30	1.668	1.354
234	80.06.31	1.659	2.186

جدول (۵) : ضرایب اصلاحی محاسبه شده برای معادله پنمن - مانتیس در روزهای مورد مطالعه (شهریو ۱۳۸۰)

نتیجه گیری

با استفاده از اطلاعات جمع آوری شده به وسیله لایسیمتر دقیق وزنی، مقدار تبخیر وتعرق روزهای مورد بررسی توسط دو کپسول شمالی وجنوبی لایسیمتر محاسبه شده است. نتایج این دو کپسول با یکدیگر تطابق خوبی را نشان می دهند شکل(۱). با استفاده از معادله پنمن - مانتیس، میزان تبخیر وتعرق روزانه محاسبه گردیده است شکل (۲) ، که با مقدار اندازه گیری شده توسط لایسیمتر همخوانی ندارد اما دارای ضریب همبستگی خوبی است. با تقسیم مقدار اندازه گیری شده به مقدار محاسبه شده، ضریب اصلاحی برای معادله پنمن - مانتیس در ان منطقه تعیین گردیده است شکل (۳) و جدول (۵). معادلات این ضرایب برای دو کپسول شمالی و جنوبی بصورت زیر است:

$$K_{north} = -0.0091(j) + 4.4117 \qquad (۱۷)$$

$$K_{south} = -0.0145(j) + 5.7706 \qquad (۱۸)$$

که در آن:

K ضریب اصلاحی معادله پنمن- مانتیس برای دو کپسول شمالی و جنوبی لایسیمتر و j شماره روز از اول ماه ژانویه است.

با توجه به معادلات (۱۷و۱۸) ضریب اصلاحی با شماره روز تغییر می کند. شکل (۴) ارقام اصلاح شده معادله پنمن- مانتیس را در روزهای مورد مطالعه نشان میدهد. با استفاده از این معادله و با لحاظ کردن ضرایب فوق، می توان تبخیر وتعرق روزانه را در منطقه بر آورد نمود.

مراجع

1- Jensen, M. E., Burman, R. D., Allen, R. G.,"Evapotranspiration and irrigation water
requirement", ASCE, Manuals and Rep. on Eng. Prac., No.70, 1990.

2-Tyagi, N. K, Sharna, D. K., and Luthra, K., " Determination of evapotranspiration and crop coefficient of rice and sunflower with lysimeter ", Ag. Water Mang ., Vol.45, pp:41-45, 2000.

3- Beyazgul, M., Kayam, Y., and Engelsman, F.,"Estimation methods for crop water requirements in the Gediz Basin of western Torkey", J. of Hydrology , Vol.229, pp: 19-26,2000.

4- Allen, R. G., Jensen, M.E., Wright, J. L., and Burman, R. D.," Operational estimates of reference evapotranspiration", Agron. J. Vol. 81, pp: 650-662,1989.

5- Doorenbose, J., Pruitt, W. O.,"Guideline for predicting crop water requirements", FAO Irrigation and Drainage, NO.24, Rome, Italy, 193pp.,1977.

6-James, L. G." Principles of farm irrigation system design", New York,1988.

PDF Created in KingSoft ltd.