

محاسبه تبخیر و تعرق 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 مفصل 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 و تعرق، 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 کارایی 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 [۳ و ۱]. 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 [۴ و ۱]. 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 و تعرق 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 [۶] 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 بکارگیری آن در مناطق مختلف [۶ و ۱]، 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 پنجم - مانتیس بصورت زیر [۷۰]:

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

$$R_s = (0.18 + 0.55 \times \frac{n}{N}) \times R_a \quad (13)$$

$$Q_n = 0.75 \times R_s - 2 \times 10^{-9} (T_a + 273.16)^4 \times (0.34 - 0.44 \times \sqrt{e_a}) \times (-0.35 + 1.8 \times \frac{R_s}{R_a}) \quad (14)$$

$$E_a = (0.27 + 0.2333 \times U_2) \times (e_{sa} - e_a) \quad (15)$$

که در آن:

$P_a$  فشار هوا (میلی بار)،  $h$  متوسط ارتفاع منطقه از سطح دریا (متر)،  $T_a$  میانگین 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 (%،  $\Delta$  شیب منحنی تغییرات فشار بخار نسبت به درجه حرارت (میلی بار بر درجه سانتیگراد)،  $\gamma$  ضریب سایکرومتری (میلی بار بر درجه سانتیگراد)،  $\theta$  درجه روز از سال (درجه)،  $\delta$  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 (میلیمتر بر روز)،  $n/N$  نسبت ساعات آفتابی روز خاص به ساعات آفتابی ممکن و بدون بعد است،  $Q_n$  میزان تشعشع خالص (میلیمتر بر روز)،  $E_a$  جزء آترو دینامیکی معادله (میلیمتر بر روز)،  $U_2$  سرعت باد در ارتفاع دو متری (متر بر ثانیه)،  $J$  شماره روز از اول ماه ژانویه و  $ET_0$  میزان تبخیر و تعرق محاسبه شده بر حسب میلیمتر بر روز است.

### بکارگیری معادله پنمن - مانتیس

جهت بکارگیری 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.

شماره ایستگاه	ارتفاع (متر)	عرض جغرافیایی (درجه و دقیقه)	سرعت باد روزانه (mm/day)	میزان تبخیر (mm/day)	میزان تبخیر و تعرق (mm/day)
204	39.8	26.754	22.486	0.209	22.695
207	39.6.2	26.754	21.615	0.211	21.826
209	39.6.3	26.754	22.706	0.208	22.914
217	39.6.4	26.754	24.479	0.222	24.701
236	39.6.4	26.754	25.212	0.248	25.460
220	39.6.6	27.224	24.124	0.224	24.348
216	39.6.7	24.749	28.300	0.174	28.474
211	39.6.14	26.781	26.856	0.220	27.076
230	39.6.17	29.389	26.836	0.211	27.047
211	39.6.18	24.344	22.744	0.178	22.922
222	39.6.19	26.439	17.858	0.225	18.083
217	39.6.24	22.857	24.389	0.244	24.633
228	39.6.25	26.382	18.629	0.177	18.806
150	39.6.28	27.033	20.740	0.203	20.943
191	39.6.27	25.706	19.526	0.241	19.767
221	39.6.29	21.899	18.663	0.264	18.927
132	39.6.29	26.003	17.472	0.225	17.697
235	39.6.30	17.893	16.808	0.220	17.028
234	39.6.31	22.339	16.632	0.228	16.860

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 و تعرق 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:

$$ET_o = \frac{C_1 + \sum_{j=1}^n C_2 \times \cos\left(\frac{ij}{T} + C_3\right)}{7} \quad (16)$$

که در آن:

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

$C_2, C_1$  ضرایب ثابت معادله، جدولهای (۴۳)

فکتور تغییر فاز، جدولهای (۴۳)

$J$ ، شماره روز از اول ماه ژانویه،  $n$  تعداد روز،  $T$  فکتور زمان و برابر، و ضریب  $\gamma$  بر حسب متر مربع نشان

دهنده سطح کپسولهای لایسیمتر است.

$e_m$	$e_s$	$\Delta$	$F_p$	$\gamma$	$\theta$	$\delta$	$\delta$
mbar	mbar	mbar.C	mbar	mbar.C	rad	degree	rad
17.688	8.183	1.078	828.105	0.547	3.493	20.407	0.359
17.237	6.733	1.056	828.108	0.547	3.514	20.209	0.353
18.429	6.293	1.117	828.106	0.548	3.528	20.004	0.346
20.232	6.661	1.210	828.105	0.549	3.546	19.783	0.346
21.114	8.139	1.268	828.108	0.549	3.562	19.577	0.342
18.859	6.982	1.140	828.108	0.548	3.579	19.354	0.338
16.202	7.168	1.000	828.109	0.547	3.597	19.128	0.334
25.617	8.655	1.482	828.106	0.551	3.717	17.377	0.303
23.147	6.618	1.366	828.108	0.550	3.769	16.549	0.289
17.877	6.140	1.068	828.105	0.547	3.788	16.254	0.284
13.369	8.207	0.847	828.108	0.545	3.603	15.973	0.279
20.199	8.619	1.209	828.108	0.549	3.689	14.455	0.262
15.585	5.528	0.988	828.108	0.548	3.908	14.138	0.247
16.464	8.088	1.013	828.109	0.547	3.924	13.918	0.241
15.482	5.528	0.982	828.106	0.548	3.941	13.493	0.238
14.589	6.028	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	4.019	12.158	0.212

$H_{\Delta}$	$H_{\Delta}$	$F_{\Delta}$	$H_{\Delta}$	$H_{\Delta}$	$K_{\Delta}$	$Q_{\Delta}$	$E_{\Delta}$	$ET_{\Delta}$
rad	degree		sr	mm/day	mm/day	mm/day	mm/day	mm/day
1.790	102.631	1.016	12.125	18.454	12.011	5.491	4.102	4.997
1.787	102.396	1.016	12.125	18.428	11.992	5.528	3.994	4.793
1.785	102.257	1.015	12.125	18.401	11.973	5.490	3.898	4.685
1.782	102.115	1.015	12.125	18.374	11.953	5.348	4.870	5.043
1.780	101.970	1.015	12.125	18.345	11.932	5.478	4.255	5.103
1.777	101.821	1.015	12.125	18.316	11.911	5.420	3.523	4.993
1.774	101.668	1.015	12.125	18.289	11.889	5.585	2.743	4.561
1.784	100.515	1.014	12.125	18.048	11.715	4.977	6.027	5.252
1.745	99.979	1.014	12.125	15.933	11.631	5.016	5.161	5.083
1.742	99.795	1.014	12.125	15.893	11.602	5.129	3.675	4.637
1.739	99.609	1.014	12.125	15.852	11.672	5.380	2.142	4.101
1.722	98.648	1.013	12.125	15.632	11.411	5.203	4.014	4.932
1.718	98.447	1.013	12.125	15.585	11.377	5.015	3.080	4.319
1.715	98.247	1.012	12.125	15.537	11.342	5.000	3.289	4.490
1.711	98.044	1.012	12.125	15.488	11.307	4.983	3.253	4.338
1.708	97.840	1.012	12.125	15.439	11.271	5.041	2.835	4.217
1.704	97.634	1.012	12.125	15.389	11.234	5.098	2.409	4.059
1.700	97.427	1.012	12.125	15.338	11.197	5.118	1.576	3.639
1.687	97.218	1.011	12.125	15.288	11.159	5.285	1.682	3.849

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

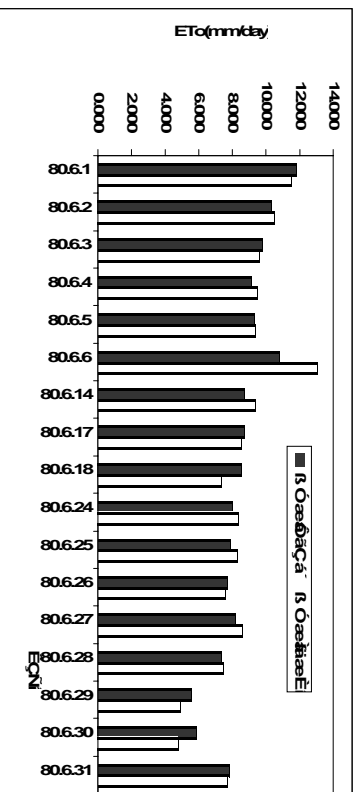
شماره روز	تاریخ	C1	C2	C3	Etc (mm/day)
204	80.06.01	22437.640	52.404	-0.091	12.429
205	80.06.02	22437.690	51.410	6.331	11.644
206	80.06.03	22439.610	43.907	-0.075	10.378
207	80.06.04	22475.250	43.346	-0.038	10.129
208	80.06.05	22484.550	42.537	-0.147	10.254
209	80.06.06	22446.610	60.330	-0.100	14.372
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	5.891	7.535
227	80.06.24	22487.260	35.672	-0.359	9.101
228	80.06.25	22472.150	35.356	-0.295	8.889
229	80.06.26	22509.660	32.457	-0.314	8.196
230	80.06.27	22506.690	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 کیسول شمالی لایسیتتر

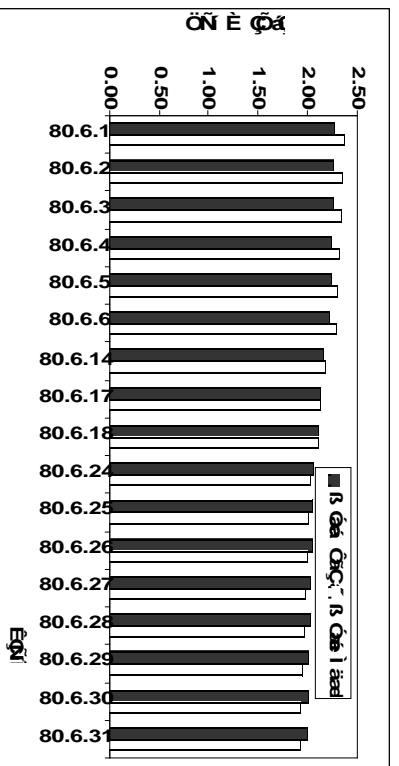
شماره روز	تاریخ	C1	C2	C3	Etc (mm/day)
204	80.06.01	22437.670	56.105	0.007	12.918
205	80.06.02	22429.180	48.003	6.313	10.950
206	80.06.03	22434.040	46.209	0.033	10.523
207	80.06.04	22476.570	42.021	-0.014	9.737
208	80.06.05	22501.170	42.926	-0.076	10.153
209	80.06.06	22459.220	50.175	-0.076	11.867
217	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	8.738
228	80.06.25	22627.500	33.680	-0.300	8.472
229	80.06.26	22638.720	32.687	-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 و تعرق اندازه گیری شده توسط کیسول جنوبی لایسیتتر

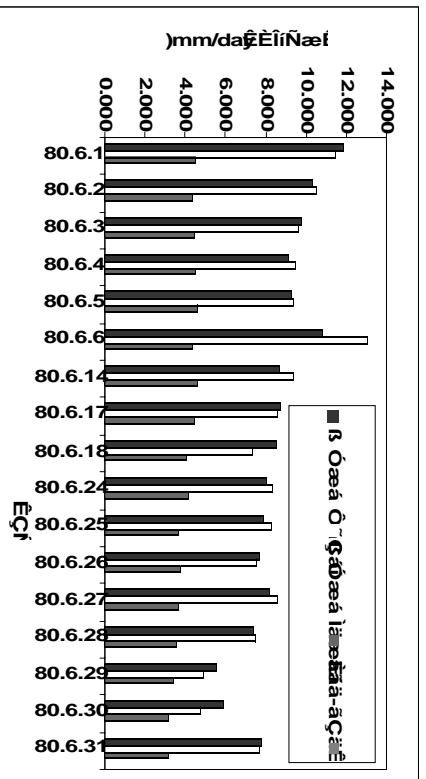
با توجه به جدولهای (۳) و (۴) ضرایب بدست آمده برای دو کیسول کاشت لایسیمتر با یکدیگر متفاوت بوده، اما با توجه به آنالیزهای انجام شده همبستگی بسیار خوبی را با یکدیگر نشان می دهند. ضرایب پیشنهادی مدل در جدولهای (۳) و (۴) نشان داده شده است. از اینرو با در دست داشتن شماره روز و با استفاده از معادله (۱۶) می توان میزان تبخیر و تعرق لحظه ای و یا روزانه را با استفاده از داده های لایسیمتری برآورد نمود. شکل (۱۱) میزان تبخیر و تعرق روزانه اندازه گیری شده به وسیله کیسولهای کاشت شمالی و جنوبی لایسیمتر را نشان می دهد. علت اختلاف در مقادیر اندازه گیری شده بین دو کیسول، تغییر درجه حرارت هوا، سمت و سرعت باد و تنشستن اتفاقی پرندگان و جانوران بر روی کیسولها و غیره می باشد.



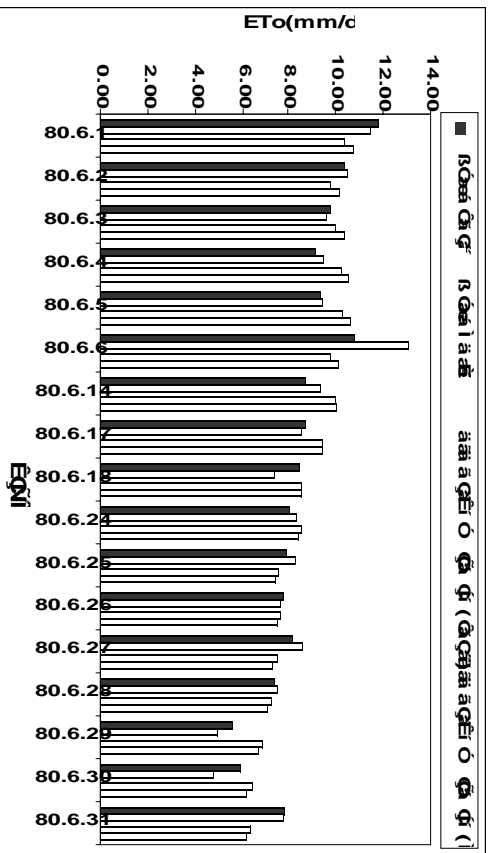
شکل (۱۱): تبخیر و تعرق روزانه اندازه گیری شده به وسیله کیسولهای شمالی و جنوبی لایسیمتر



شکل (۱۲): مقایسه تبخیر و تعرق روزانه اندازه گیری شده توسط لایسیمتر و محاسبه شده توسط معادله پنمن - مانتینیس



شکل (۳) : ضریب اصلاحی برای معادله پنمن - ماتیس جهت تطبیق با مقادیر اندازه‌گیری شده توسط لایسنیتور



شکل (۴) : مقایسه تبخیر و تعرق محاسبه شده به وسیله معادله پنمن - ماتیس و اندازه‌گیری شده به وسیله کپسول‌های لایسنیتور

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	1.984	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	1.669	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 و تعرق روزهای مورد بررسی توسط دو کپسول شمالی و جنوبی 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 و تعرق 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 آن منطقه تعیین گردیده است شکل (۳) و جدول (۵). معادلات این ضرایب برای دو کپسول شمالی و جنوبی بصورت زیر است:

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

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

که در آن:

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

با توجه به معادلات (۱۸ و ۱۷) 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 و تعرق 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- Doorenbos, 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.