سومین کنفرانس مدیریت منابع آب ایران
۲۳ الی ۲۵ مهرماه ۱۳۸۷ - دانشگاه تبریز - دانشکده مهندسی عمران

بهترین روش تعیین ضریب تشت تبخیر کلاس A در تخمین تبخیر وتعرق روزانه در منطقه اصفهان

محمد جواد امیری، دانشجوی کارشناسی ارشد گروه آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه صنعتی اصفهان*
جهانگیر عابدی کوپایی، دانشیار گروه آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه صنعتی اصفهان
مریم خزاعی، دانشجوی کارشناسی ارشد گروه آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شیراز
پست الکترونیکی: mjavad.amiri62@gmail.com

چکیده

ET_O یکی از اجزاء مهم و ضروری در مدیریت آب برای آبیاری گیاهان می باشد. ضریب تشت کلاس A (K_P) در تبدیل تبخیر ازتشت (ECA) به تبخیر وتعرق گیاه مرجع(ET_O) استفاده می‌گردد. روش‌های مختلفی در تعیین مقدار K_P با استفاده از سرعت باد، رطوبت نسبی و طول پوشش گیاهی وجود دارد. در مقاله حاضر روش های زیر در تعیین مقدار K_P مورد بررسی قرار گرفت. ۱- دورنبوس و پروئیت[1] ۲- کوئنکا[2] ۳-اشنایدر[3] ۴- پریرا[4] و همکاران ۵- فائو۵۶[5] . مقادیر ضریب تشت تخمین زده شده توسط روش های فوق و مقادیر بدست آمده از طریق رابطه بین ET_O(بدست آمده از طریق فرمول پنمن مانتیث) و تبخیر از تشت کلاس A از طریق آنالیز رگرسیون مورد مقایسه قرار گرفت. نتایج نشان می دهد تمامی روش ها در تخمین K_P پیش بینی خوبی نمی کنند (R^2<0.2) در حالی که مقادیرK_P بدست آمده از این روش ها در تخمین ET_O روزانه تطابق خوبی را در برابر مقادیر اندازه گیری شده ET_O نشان می دهند. بهترین روش K_P در تخمین تبخیر وتعرق روزانه به ترتیب معادله پریرا و همکاران(۱۹۹۵) و دورنبوس و پروئیت (۱۹۷۷) می باشد. استفاده از ضریب ثابت K_P دارای بالاترین دقت در بین روش ها می باشد (D=۰/۹۵۳، R^2 =۰/۸۲۳۵ و EF= ۰/۷۹). به کار بردن ضریب ثابت K_P (که از رابطه بین ET_O و ECA با استفاده از داده های هواشناسی برای محل آزمایش بدست می آید) یک روش آسان و عملی در تبدیل تبخیر از تشت کلاس A به تبخیر وتعرق روزانه می‌باشد اما این مقدار باید برای هر منطقه تحت شرایط آب وهوایی مختلف کالیبره شود .

کلید واژه‌ها : تبخیر وتعرق مرجع، تشت تبخیر کلاس A ، ضریب تشت، پنمن مانتیث

مقدمه

تبخیر وتعرق مرجع(ET_O) یکی از اجزاء ضروری برای استفاده درطرح های تأمین آب و همچنین برنامه ریزی آبیاری است، زیرا تبخیر وتعرق گیاه (ET_C) با ضربET_O در ضریب گیاهی (K_C) بدست می آید[۱]. یک روش رایج

[1] Doorenboss and Pruitt
[2] Cuenca
[3] Snyder
[4] Pereira
[5] FAO/56

درتخمین ET_O استفاده از تشت کلاس A می باشد که در این حالت ET_O از حاصلضرب تبخیر از تشت کلاس A درضریب تشت(Kp) بدست می آید. تغییرات ضریب تشت بستگی به موقعیت قرار گیری آن و شرایط آب و هوایی دارد که توسط دورنبوس و پروئیت در سال ۱۹۷۷ و آلن[1] وهمکاران در سال ۱۹۹۸ بیان شده است[۲و۳]. چندین روش برای تخمین Kp وجود دارد که در تمام آنها از میانگین داده های روزانه سرعت باد (U) ، رطوبت نسبی (H) و طول پوشش (F) استفاده می گردد. دورنبوس و پروئیت در سال ۱۹۷۷ جدولی را جهت تعیین ضریب Kp که از ۰/۴ تا ۰/۸۵ بسته به نوع پوشش گیاهی اطراف تشت و سایر متغیر های هواشناسی متغیر می باشد، ارائه نمودند.گرچه بوسیله ایستگاه های اتوماتیک هواشناسی و امکانات کامپیوتری به راحتی می توان میزان تبخیر از تشت (ECA) و تبخیر وتعرق مرجع (ET_O) را محاسبه و از نسبت آنها Kp را تعیین کرد، ولی عدم وجود ایستگاه های اتوماتیک هواشناسی خود مسئله بزرگی است.
به منظور حل این مشکل کوئنکا در سال ۱۹۸۹ یک معادله چند جمله ای را برای پیش بینی Kp با استفاده از پارامترهای U ، H و F پیشنهاد کرد[۴]. برطبق گفته اشنایدر در سال ۱۹۹۲ معادله پیشنهادی توسط کوئنکا مقداری پیچیده می باشد و در برخی از موارد جواب ها بسیار متفاوت با داده های اصلی ارائه شده توسط دورنبوس و پروئیت می باشد. سپس اشنایدر در سال ۱۹۹۲ معادله دیگری را برای پیشبینی Kp با استفاده از متغیر های مشابه و با رگرسیون گیری چندتایی خطی پیشنهاد کرد. پس از آن پریرا و همکاران در سال۱۹۹۵ مدلی برای تعیین Kp که بر اساس رابطه بین ET_O و ECA پایه گذاری شده بود و هر دو از معادله پنمن مانتیث تخمین زده شده بود ارائه کردند که ماکزیمم مقدار Kp برابر با ۰/۸۵ به دست آمد[۵]. درنشریه فائو ۵۶ آلن و همکاران در سال ۱۹۹۸ یک معادله رگرسیونی دیگر را از داده های دورنبوس و پروئیت به دست آوردند اما آنها مشاهده کردند که بکارگیری این معادله به تنهایی برای در نظر گرفتن تمامی پارامتر های موثر بر Kp مناسب نمی باشد و تصحیحات منطقه ای مورد نیاز می باشد به همین دلیل یک ضریب کالیبراسیون مناسب در مورد ECA در برابر ET_O اندازه گیری شده توسط لایسیمتر و یا محاسبه شده بوسیله روش پنمن مانتیت توسط کونسیکائو[2] در سال ۲۰۰۲ به دست آورده شد. بر اساس بحث های ذکر شده هدف این مطالعه ارزیابی مدل ها و روش های مختلف به کار گرفته شده در پیش بینی Kp و تاثیر آن بر تخمین میزان ET_O روزانه می باشد.

مواد و روش ها

به منظور ارزیابی روش های مختلف استفاده شده در تخمین وتعیین Kp در یک دوره ۱۲۰ روزه ازفروردین تا مرداد ۱۳۸۶ داده هایی شامل دمای هوا (T) ، رطوبت نسبی (H) ، و سرعت باد در ارتفاع ۲ متری (U) ، از ایستگاه هواشناسی واقع دردانشگاه صنعتی اصفهان با طول و عرض جغرافیایی به ترتیب ۵۱°۳۳′ شرقی و ۳۲°۴۱′ شمالی و ارتفاع از سطح دریا ۱۶۲۰ متر استفاده گردید. مقدار ضریب Kp توسط رابطه بین ET_O بدست آمده ازفرمول پنمن- مانتیث و ECA بدست آمده از تشت کلاس A محاسبه وهمچنین توسط روش های زیر تخمین زده شد و مورد مقایسه قرار گرفت.

الف) جدول دورنبوس و پروئیت (۱۹۷۷)

این جدول در ضمیمه آورده شده است.

ب) کوئنکا (۱۹۸۹)

---

[1] Allen
[2] Conceiaco

$$Kp = 0.475 - 2.4*10^{-4}\,U + 5.16*10^{-3}\,H + 1.18*10^{-3}\,F - 1.6*10^{-5}H^2 - 1.01*10^{-6}F^2 - 8.0*10^{-9}H^2U - 1.0*10^{-8}H^2F \quad (۱)$$

U : میانگین روزانه سرعت باد در ارتفاع ۲ متری (km/day)

H : میانگین روزانه رطوبت نسبی بر حسب درصد

F : فاصله تشت از پوشش گیاهی که در این مطالعه ۳۰ متر در نظر گرفته شده است.

ج) اشنایدر (۱۹۹۲)

$$Kp = 0.482 + 0.024\ln(F) - 0.000376U + 0.0045H \quad (۲)$$

د) پریرا و همکاران(۱۹۹۵)

$$Kp \quad \frac{0.85\ s}{s \quad 1 \quad \frac{r_c}{r_a}} \quad (۳)$$

که:

s : شیب منحنی تغییرات فشار بخار آب نسبت به دما در نقطه ای که دما برابر میانگین دمای هوای روزانه باشد.

: ضریب سایکرومتری

r_c: مقاومت پوشش گیاهی در مقابل انتقال بخار آب به اتمسفر

r_a : مقاومت آیرودینامیک لایه هوای مجاور پوشش گیاهی

مقاومت آیرودینامیک(r_a) بستگی به سرعت باد و ارتفاع پوشش گیاهی دارد، که توسط Allen و همکاران (۱۹۸۹) به صورت زیر پیشنهاد شده است.

$$\frac{r_c}{r_a} \quad 0.34U \quad (۴)$$

e) فائو ۵۶ (آلن و همکاران ۱۹۹۸)

$$Kp = 0.108 - 0.0286U + 0.0422\ln(F) + 0.1434\ln(H) - 0.000631[\ln(F)]^2\ln(H) \quad (۵)$$

g) K_P ثابت

این ضریب ثابت بوسیله رابطه بین ET_O و ECA با استفاده از داده های هواشناسی برای محل آزمایش بدست می آید.

به منظور ارزیابی روش های تعیین K_P در تخمین ET_O روزانه با استفاده از تشت کلاس A ($ET_O = ECA.K_P$) ، چندین ضوابط مورد استفاده قرار گرفت که شامل آنالیز رگرسیون، شاخص توافق[1](D) ، میانگین خطای مطلق(MAE) ، ماکزیمم خطای مطلق(MAXE) و راندمان(EF) می باشد.

$$D \quad 1 \quad \frac{\sum_{i\ 1}^{n} Oi \quad Ei^{2}}{\sum_{i\ 1}^{n} \left|E_i \quad \overline{O}\right| \quad \left|O_i \quad \overline{O}\right|^{2}} \qquad (۶)$$

$$MAE \quad \frac{1}{n} \sum_{i\ 1}^{n} \left|O_i \quad Ei\right| \qquad (۷)$$

$$MAXE \quad MAX\left|O_i \quad Ei\right| \qquad (۸)$$

$$EF \quad \frac{\sum_{i\ 1}^{n} Oi \quad \overline{O}^{2} \quad \sum_{i\ 1}^{n} Oi \quad Ei^{2}}{\sum_{i\ 1}^{n} Oi \quad \overline{O}^{2}} \qquad (۹)$$

که:

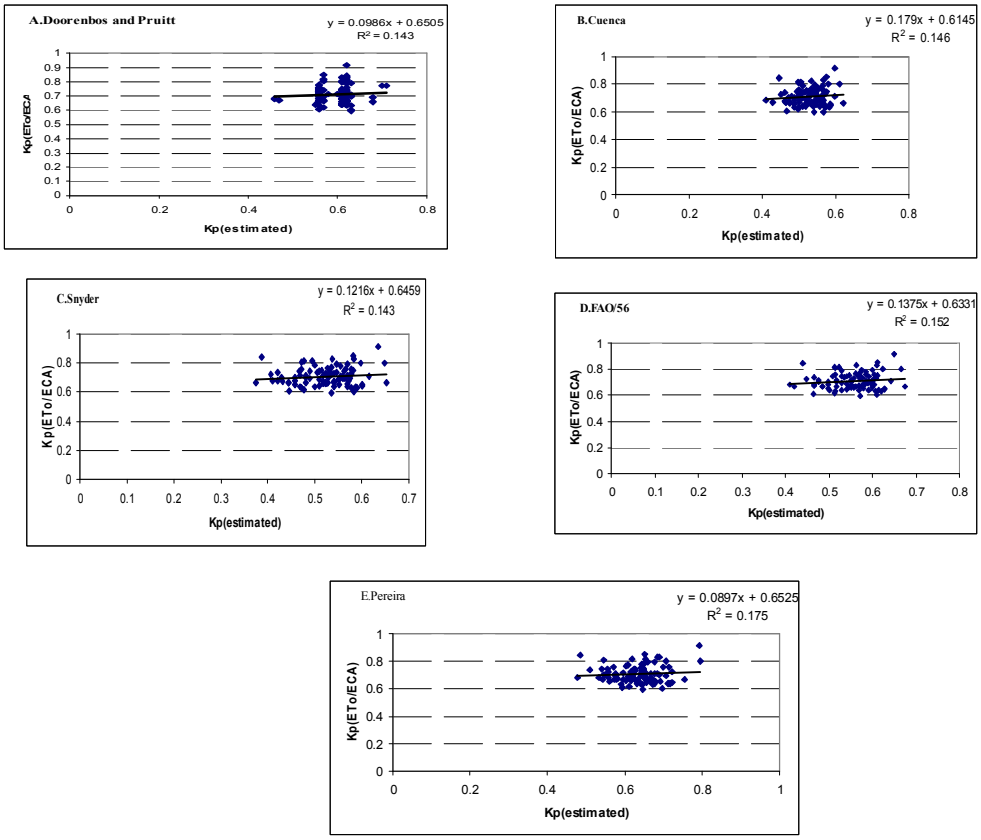
Oi : مقدار مشاهده شده، Ei : مقدار تخمین زده شده و $\overline{O}$ میانگین مقادیر مشاهده می باشد.

جمع بندی و نتیجه گیری

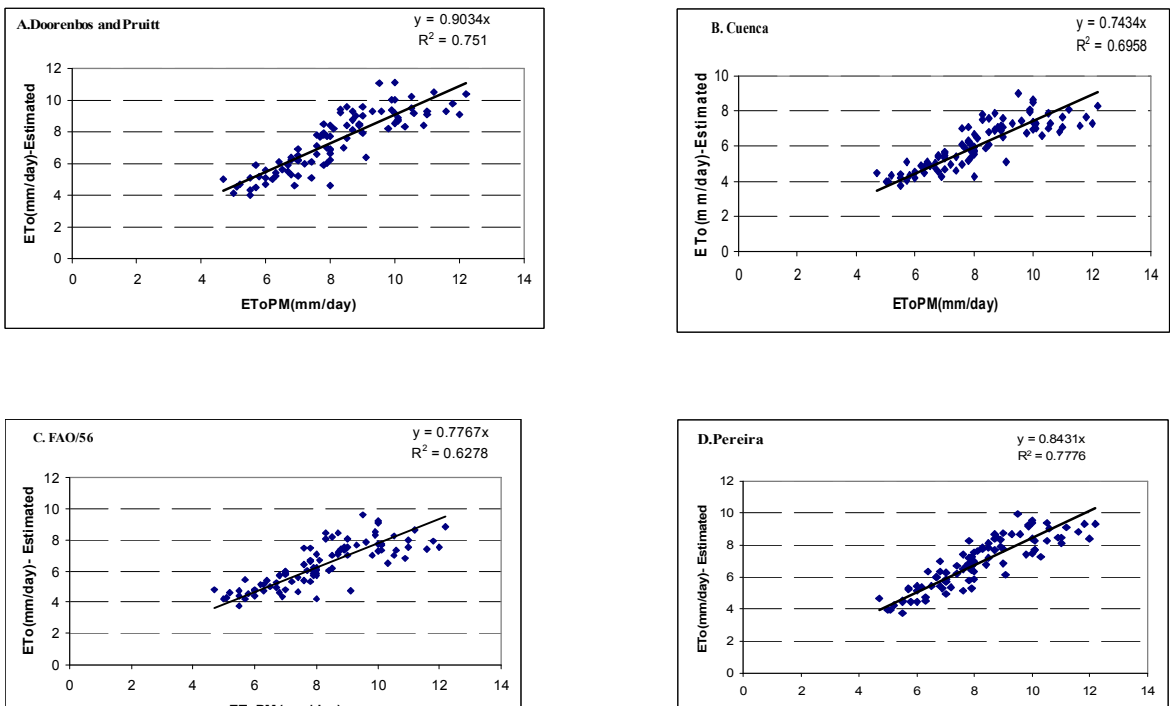
شکل (۱) رابطه بین K_P تخمین زده شده توسط جدول دورنبوس و پروئیت ، معادلات ۳،۲،۱ و۵ و مقادیر محاسبه شده K_P بدست آمده از نسبت ET_O/ECA را نشان می دهد، و مشاهده می گردد که K_P پیش بینی شده توسط تمامی روش ها بین ۰/۴ تا ۰/۸ می باشد، در حالی که مقادیر محاسبه شده بین ۰/۶ تا ۰/۹۵ متغیر است. به طور کلی، روش های ذکر شده مقدار K_P را به خوبی پیش بینی نمی کنند و همانگونه که مشاهده می شود ضریب همبستگی تمامی آنها کمتر از ۰/۲ می‌باشد($R^2<0.2$). سنتلاس[2] وفولگاتی[3] در سال ۲۰۰۳ نتایج مشابهی را در ارزیابی معادلات فوق بیان کردند[۶]. در حالی که مقادیرK_P بدست آمده از این روش ها در تخمین ET_O روزانه تطابق خوبی را در برابر مقادیر اندازه گیری شده ET_O نشان می دهند، به ویژه هنگامی که K_P توسط معادله ۳ و جدول دورنبوس و پروئیت تخمین زده شده باشد(شکل۲). جدول (۱) آنالیز آماری در تخمین ET_O توسط روش های ذکر شده را نشان می دهد . بهترین معادله تخمین K_P برای تبدیل تبخیر از تشت کلاس A به تبخیر وتعرق روزانه معادله ۳ و جدول دورنبوس و پروئیت وپایین ترین تطابق و بیشترین خطا مربوط معادله اشنایدر می باشد. رابطه بین مقادیر اندازه گیری شده و تخمین زده شده ET_O نشان می دهد بالاترین دقت وبهترین پیشگویی دربین معادلات تخمین K_P روش پریرا (R^2= ۰/۷۷۷۶ ،D=۰/۹۲۸ و EF= ۰/۷۲۳) می باشد. معادلات دیگر(۲،۱و۵) دارای کارایی کمی برای تبدیل ECA به ET_O می باشند. به کار بردن ضریب ثابت K_P یک روش آسان و عملی در تبدیل تبخیر از تشت کلاس A به تبخیر وتعرق روزانه می باشد، زیرا برای تعیین آن نیاز به داده های هواشناسی نظیر سرعت باد، رطوبت نسبی و دما نمی باشد (اگرچه این مقدار باید برای هر منطقه تحت شرایط آب

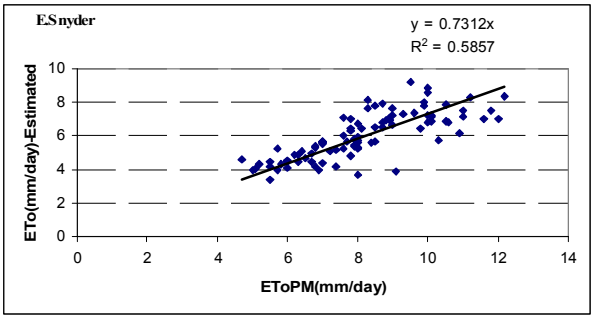
[1] Agreement index
[2] Sentelhas
[3] Folegatti

وهوایی مختلف کالیبره شود) . همانطور که از جدول ۳ مشاهده می گردد استفاده از ضریب ثابت K_P دارای بالاترین دقت در بین روش ها می باشد (D=۰/۹۵۳، R^2 =۰/۸۲۳۵ و EF= ۰/۷۹). شکل(۴) نشان می دهد بین مقادیر تعیین ET_O توسط معادله پنمن مانتیث و استفاده از ضریب ثابت K_P در تخمین تبخیر وتعرق مرجع همبستگی قابل قبولی برقرار است.

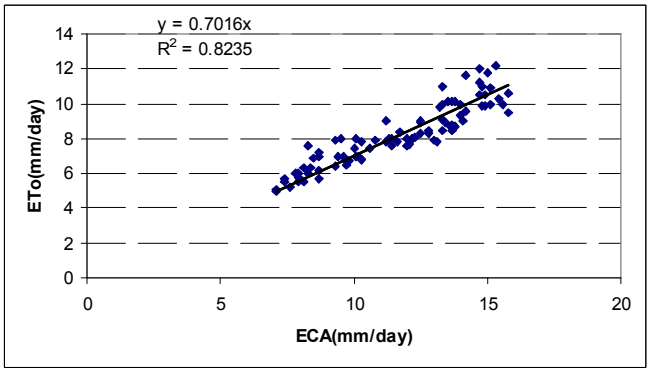


شکل شماره (۱) *رابطه بین مقدار Kp اندازه گیری روزانه و مقدار Kp تخمین زده شده توسط سایر معادلات*

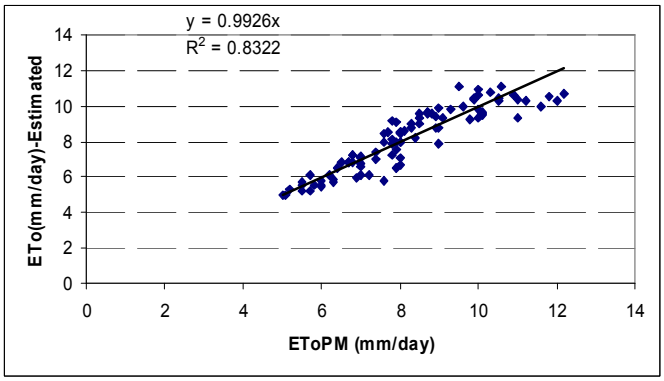




شکل(۲) رابطه بین ET_O اندازه گیری شده روزانه وET_O تخمین زده شده با استفاده از معادلات مختلف تخمین K_P



شکل(۳) رابطه بین ET_O اندازه گیری روزانه و ECA در منطقه مورد مطالعه



شکل(۴) رابطه بین ET_O اندازه گیری وتخمین زده شده روزانه در منطقه مورد مطالعه

جدول (۱) آنالیز آماری برای مقایسه بین مقادیر تبخیر وتعرق مرجع روزانه اندازه گیری شده وتخمین زده شده با استفاده از روشهای مختلف تعیین K_P

K_P method	D	MAE	MAXE	EF
Doorenbos and Pruitt	۰/۹۱۸	۰/۴۳۲	۲/۲۱	۰/۶۹
Cuenca	۰/۸۹۱	/۵۱۰	۲/۴۱	۰/۶۴۱
Snyder	۰/۸۶۶	۰/۵۵۹	۲/۵۱	۰/۴۵۱
Pereira	۰/۹۲۸	۰/۴۲۸	۲/۰۱۱	/۷۲۳
FAO/56	۰/۸۷۵	۰/۶۳۰	۲/۸۱	۰/۴۰۶
K_P=0.7016	۰/۹۵۳	۰/۴۰۱	۱/۵	۰/۷۹

مراجع

[1] Snyder, R.L. (1992). Equation for evaporation pan to evapotranspiration conversion. Journal of Irrigation and Drainage Engeneering of ASCE, New York, 118(6), 977-980.
[2] Doorenbos, J., Pruitt, W.O. (1977). Crop water requeriments. FAO Irrigation and Drainage Paper No. 24, FAO, Rome.
[3] Allen, R.G., Pereira, L.S., Raes, D. Smith, M. (1998). Crop evapotranspiration: guidelines for computing crop water requirements. Rome: FAO, 301p. Irrigation and Drainage Paper, 56.
[4] Cuenca, R.H. (1989). Irrigation system design: an engineering approach.New Jersey: Prentice-Hall, Englewood Cliffs. 133p.
[5] Pereira, A.R., Villa Nova, N.A. Pereira, A.S., Barbieri, V. (1995). A model for the class A pan coefficient. Agricultural and Forest Meteorology, Amsterdam, 76(1), 75-82.
[6] Sentelhas, P. C. and Folegatti, M.V. (2003). Class A pan coefficient to estimate daily reference evapotranspiration. Revista Brasileira de Engenharia Agricola e Ambiental, 7(1), 111-115.

ضمیمه

ضریب تشتک Kp کلاس A (دو نوع)، برای پوششهای گیاهی و سطوح مختلف میانگین رطوبت نسبی و باد در یک دوره ۲۴ ساعته (جدول دورنبوس و پروئیت (۱۹۷۷))

تشتک کلاس A	Case A: تشتک روی سطحی از علف های با ارتفاع کوتاه گذاشته شده				Case B[1]: تشتک روی سطحی از زمین بایر گذاشته شده			
RH میانگین %		low < 40	medium 40 - 70	high > 70		low < 40	medium 40 - 70	high > 70
سرعت باد m/s	Windward side distance of green crop (m)				Windward side distance of dry fallow (m)			
آهسته	1	.55	.65	.75	1	.7	.8	.85
< 2	10	.65	.75	.85	10	.6	.7	.8
	100	.7	.8	.85	100	.55	.65	.75
	1000	.75	.85	.85	1000	.5	.6	.7
متوسط	1	.5	.6	.65	1	.65	.75.	.8
2-5	10	.6	.7	.75	10	.55	.65	.7
	100	.65	.75	.8	100	.5	.6	.65
	1000	.7	.8	.8	1000	.45	.55	.6.
تند	1	.45	.5	.6	1	.6	.65	.7
5-8	10	.55	.6	.65	10	.5	.55	.65
	100	.6	.65	.7	100	.45	.5	.6
	1000	.65	.7	.75	1000	.4	.45	.55
خیلی تند	1	.4	.45	.5	1	.5	.6	.65
> 8	10	.45	.55	.6	10	.45	.5	.55
	100	.5	.6	.65	100	.4	.45	.5
	1000	.55	.6	.65	1000	.35	.4	.45