

نیاز آبی گیاهان

رابطه آب - خاک - گیاه - اتمسفر

رابطه بین آب، خاک، گیاه و اتمسفر را می‌توان به اینصورت توصیف کرد که گیاه برای زنده ماندن نیاز به آب دارد و آب بصورت ذخیره در خاک موجود است. اتمسفر انرژی لازم برای گیاه را تامین می‌کند تا بتواند آب مورد نیاز خود را از خاک دریافت کند. این فرایندهای به ظاهر ساده در یک سیستم بسیار پیچیده و مرتبط به هم صورت می‌گیرد که به آن زنجیره آب- خاک - گیاه - اتمسفر گفته می‌شود. هریک از عناصر این زنجیره متاثر از اجزا دیگر بوده و بر سایر عناصر نیز اثر می‌گذارد.

گیاه

در مناطق خشک و نیمه خشک که مساله کمبود آب یکی از معضلات کشاورزی می‌باشد تعرق اساسی‌ترین فرایندی است که در زنجیره آب-خاک-گیاه-اتمسفر صورت می‌گیرد. حدود ۹۰ درصد اجزا فعال گیاه از آب تشکیل شده و بیش از ۹۹ درصد آب مصرفی گیاه صرف تعرق می‌شود. تعرق فرایندی است که طی آن آب از طریق روزنه‌های گیاه تبدیل به بخار شده و از آن خارج می‌شود. تعرق زمانی انجام می‌شود که فشار بخار آب در داخل روزنه گیاه بیشتر از فشار بخار آب در هوای مجاور بوده و روزنه‌ها نیز باز باشند ولو این که در داخل خود برگ و یا حدفصل برگ و هوای مجاور مقاومت‌هایی صورت بگیرد عمل تعرق انجام می‌پذیرد.

خاک

در زنجیره (آب- خاک- گیاه- اتمسفر) خاک را می‌توان مخزنی دانست که آب را موقتاً در خود ذخیره کرده و سپس به تدریج در اختیار گیاه قرار می‌دهد.

اتمسفر

انرژی لازم برای گیاه به منظور تامین آب مورد نیاز از خاک توسط اتمسفر تامین می‌شود. چنانچه روزنه‌ها باز باشند و آب نیز محدود نباشد وضعیت اتمسفر عامل کنترل کننده سرعت تعرق است. مهمترین پارامتر در این مورد دما و رطوبت است بالا بودن دما باعث افزایش تعرق و مرطوب بودن هوا موجب کاهش آن می‌شود عامل مهم دیگر سرعت باد است که باعث می‌شود بخار آب تجمع یافته در سطح برگ‌ها از محیط خارج شده و اختلاف فشار بخار بین گیاه و هوا را تشدید نماید. البته باید توجه داشت که اتمسفر خود فاقد انرژی است و کلیه انرژی‌های آن توسط تابش خورشید تامین می‌شود که از طریق اتمسفر برگ‌ها اعمال می‌گردد.

تبخیر-تعرق

در زنجیره آب-خاک-گیاه - اتمسفر آب مستقیماً از سطح خاک و یا توسط گیاه به داخل اتمسفر وارد می‌شود. انتقال آب از سطح خاک به هوا را تبخیر (evaporation) و خارج شدن آن از گیاه را تعرق (transpiration) گویند این دو پدیده هر دو ماهیت تبخیری داشته و چون تفکیک آن‌ها از یکدیگر امکان

پذیر نمی‌باشد مجموعاً به نام تبخیر-تعرق (evapo-transpiration) در نظر گرفته شده و با علامت ET نشان داده می‌شود. در کشاورزی آب مورد مصرف زراعت (Consumptive use)، (CU) به مجموع مقدار تبخیر از سطح خاک و مقدار آبی گفته می‌شود که توسط ریشه‌های گیاه از خاک جذب می‌شود بنابراین اختلاف ET و CU تنها در مقدار آبی است که صرف فتوسنتز و انتقال مواد در داخل گیاه می‌شود یا در ساختمان اسکلت گیاه بکاررفته است چون این مقدار در قیاس با تعرق بسیار ناچیز است عملاً تبخیر-تعرق با آب مورد مصرف در زراعت برابر در نظر گرفته می‌شود.

منظور از تبخیر-تعرق برآورد مقدار آبی است که باید به یک پوشش زراعی داده شود تا در طول دوره رویش صرف تبخیر-تعرق نموده و بدون آنکه با تنش آبی مواجه شود رشد خود را تکمیل نموده و حداکثر مقدار محصول را تولید کند. از جایی که عوامل بسیار زیادی در تبخیر-تعرق دخالت دارد برآورد دقیق تبخیر-تعرق اگر نتوان گفت که غیرممکن است بسیار مشکل است. روشهایی که برای تخمین تبخیر-تعرق بکاربرده می‌شود در دو گروه اصلی قرار می‌گیرند که عبارتند از: روشهای مستقیم و روشهای محاسبه‌ای.

در روشهای مستقیم بخش کوچک و کنترل شده ای از مزرعه را مجزا کرده و مقدار تبخیر و تعرق در یک دوره زمانی مستقیماً اندازه‌گیری می‌شود. حال آنکه در روشهای محاسبه‌ای که می‌توان آن‌ها را روشهای غیرمستقیم نامید از عوامل مختلف اقلیمی و گیاهی استفاده شده و از روی ارتباط آن‌ها با تبخیر-تعرق و معادله‌هایی که قبلاً با روشهای مستقیم واسنجی شده اند تبخیر-تعرق پوشش گیاهی مورد نظر تخمین زده می‌شود. هیچ کدام از این روشها نمی‌توانند تبخیر-تعرق را بطور دقیق برآورد نمایند ولی برخی از آن‌ها در بعضی مناطق نتایج را بدست می‌دهند که بیشتر با واقعیت مطابقت دارد. از نظر عملی روشی مطلوب است که اولاً آسان بوده و ثانیاً نتایج حاصله از آن واقعی تر باشد.

روشهای غیرمستقیم تعیین تبخیر-تعرق

در عملیات طراحی سیستمهای آبیاری برای تعیین تبخیر-تعرق عملاً از روشهای غیرمستقیم یا روشهای محاسباتی استفاده می‌شود. این روشها بر اساس فرمول زیر استوارند:

$$ET_C = K_C(ET_0)$$

که در آن:

$$ET_C = \text{تبخیر-تعرق گیاه مورد نظر}$$

$$ET_0 = \text{تبخیر-تعرق پتانسیل (تبخیر-تعرق گیاه مرجع)}$$

$$K_C = \text{ضریب گیاهی}$$

در فرمول فوق ET_0 ممکن است تبخیر-تعرق پتانسیل یا تبخیر-تعرق گیاه مرجع باشد. تبخیر-تعرق پتانسیل (potential ET) حداکثر مقدار آبی است که اگر بدون محدودیت وجود داشته باشد می‌تواند توسط

سطوح خاک و گیاه از آن خارج شود. تبخیر-تعرق پتانسیل بستگی به مقدار انرژی موجود برای عمل تبخیر داشته و از روزی به روز دیگر متغیر است.

تبخیر-تعرق گیاه مرجع (refernenc ET) همان تبخیر-تعرق پتانسیل برای یک پوشش گیاهی بخصوص است که معمولاً چمن و یا یونجه انتخاب می شوند تعریفی که برای گیاه مرجع چمن ارائه شده است این است که ارتفاع این گیاه ۸ تا ۱۵ سانتی متر بوده سطح وسیعی را در برگرفته و بطور کامل و یکنواخت زمین را پوشش داده باشد سبز و شاداب باشد و بدون محدودیت آب تبخیر-تعرق آن صورت گیرد. برای گیاه مرجع یونجه نیز تعریف مشابهی شده است بدین معنی که بطور یکنواخت مساحت وسیعی را در برگرفته بوته ها سبز و شاداب و قائم با ارتفاع ۲۰ سانتی متر باشند و بدون محدودیت تبخیر-تعرق نمایند. بنابراین تبخیر-تعرق که از یک سطح پوشیده از گیاه فرضی صورت می گیرد بنام تبخیر-تعرق گیاه مرجع معروف است.

روشهایی که برای محاسبه ET_0 پیشنهاد شده است هر کدام از نظر داده های مورد لزوم نیازهای متفاوتی دارند. درب رخی از آن ها لازم است آمار روزانه وجود داشته باشد حال آنکه برای تعدادی از روشها داشتن آمار ماهانه هواشناسی کفایت می کند برخی از روشها باید آمار تابش خورشید یا ساعات آفتابی روز هم وجود داشته باشد. در اینجا تنها به ذکر دو روش روش بلانی - کریدل و تشتک تبخیر بسنده می شود

روش بلانی - کریدل: یکی از قدیم ترین روشهای تخمین - تعرق پتانسیل روش بلانی - کریدل است که برای تخمین تبخیر - تعرق گیاه مرجع چمن بصورت زیر ارائه شده است.

$$ET_0 = a + b [P(0.46T + 8.13)]$$

که در آن :

ET_0 = تبخیر - تعرق گیاه مرجع (چمن) بر حسب میلی متر در روز (mm/d)

P = ضریب مربوط به طول روز یا درصد سالانه تابش آفتاب در ماه که به صورت روزانه توصیف شده است (متوسط ساعات روشنایی هر روز در ماه مورد نظر تقسیم بر کل ساعات روشنایی سال ضرب در ۱۰۰)

T = متوسط ماهانه درجه حرارت ، °C

a و b = ضرایب اقلیمی

مقادیر روزانه P برای ماهها و عرضهای جغرافیایی مختلف در جدول زیر داده شده است ، مثلاً مطابق این جدول اگر منطقه ای در عرض جغرافیایی ۳۵ درجه شمالی واقع شده باشد برای ماه سپتامبر مقدار P برابر ۰/۲۸ است.

متوسط روزانه درصد ساعت روشنایی نسبت به کل ساعات روشنایی سال در
ماههای مختلف (ضریب P برای استفاده در فرمول بلانی کریدل - FAO)

عرض جغرافیایی شمالی (درجه)	Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec
60°	.15	.20	.26	.32	.38	.41	.40	.34	.28	.22	.17	.13
58	.16	.21	.26	.32	.37	.40	.39	.34	.28	.23	.18	.15
56	.17	.21	.26	.32	.36	.39	.38	.33	.28	.23	.18	.16
54	.18	.22	.26	.31	.36	.38	.37	.33	.28	.23	.19	.17
52	.19	.22	.27	.31	.35	.37	.36	.33	.28	.24	.20	.17
50	.19	.23	.27	.31	.34	.36	.35	.32	.28	.24	.20	.18
48	.20	.23	.27	.31	.34	.36	.35	.32	.28	.24	.21	.19
46	.20	.23	.27	.30	.34	.35	.34	.32	.28	.24	.21	.20
44	.21	.24	.27	.30	.33	.34	.33	.31	.28	.25	.22	.20
42	.21	.24	.27	.30	.33	.34	.33	.31	.28	.25	.22	.21
40	.22	.24	.27	.30	.32	.34	.33	.31	.28	.25	.22	.21
35	.23	.25	.27	.29	.31	.32	.32	.30	.28	.25	.23	.22
30	.24	.25	.27	.29	.31	.32	.31	.30	.28	.26	.24	.23
25	.24	.26	.27	.29	.30	.31	.31	.29	.28	.26	.25	.24
20	.25	.26	.27	.28	.29	.30	.30	.29	.28	.26	.25	.25
15	.26	.26	.27	.28	.29	.29	.29	.28	.28	.27	.26	.25
10	.26	.27	.27	.28	.28	.29	.29	.28	.28	.27	.26	.26
5	.27	.27	.27	.28	.28	.28	.28	.28	.28	.27	.27	.27
0	.27	.27	.27	.27	.27	.27	.27	.27	.27	.27	.27	.27

ضرایب a و b بستگی به حداقل رطوبت نسبی هوا (RH_{min}) ، نسبت ساعات واقعی آفتاب (n) به حداکثر ممکن ساعات آفتابی (N) یعنی n/N و سرعت باد در روز (U_{day}) دارد. در ایستگاههای هواشناسی RH_{min} از روی دماسنج های تر و خشک تعیین می گردد. ساعات واقعی آفتاب در طول روز (n) توسط آفتاب نگار اندازه گیری می شود و مقدار N در هر نقطه بستگی به عرض جغرافیایی داشته که مقادیر آن برای ماههای مختلف در جدول زیر مشاهده می گردد. مثلاً مطابق این جدول در نقطه ای که عرض جغرافیایی آن ۳۵ درجه شمالی باشد در ماه سپتامبر به طور متوسط هر روز می تواند حداکثر ۱۲/۴ ساعت آفتاب داشته باشد. حال اگر اندازه گیری های آفتاب نگار نشان داده باشد که در هر روز ۸ ساعت آفتاب داشته ایم ($n=8$) در این صورت نسبت n/N برابر $0.64 = \frac{8}{12.4}$ خواهد بود.

حداکثر ممکن تعداد ساعات تابش روزانه آفتاب (N) برای ماهها و عرضهای
جغرافیایی مختلف.

عرض جغرافیایی شمالی (درجه)	Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec
50 °N	8.5	10.1	11.8	13.8	15.4	16.3	15.9	14.5	12.7	10.8	9.1	8.1
48	8.8	10.2	11.8	13.6	15.2	16.0	15.6	14.3	12.6	10.6	9.3	8.3
46	9.1	10.4	11.9	13.5	14.9	15.7	15.4	14.2	12.6	10.9	9.5	8.7
44	9.3	10.5	11.9	13.4	14.7	15.4	15.2	14.0	12.6	11.0	9.7	8.9
42	9.4	10.6	11.9	13.4	14.6	15.2	14.9	13.9	15.6	11.1	9.8	9.1
40	9.6	10.7	11.9	13.3	14.4	15.0	14.7	13.7	12.5	11.2	10.0	9.3
35	10.1	11.0	11.9	13.1	14.0	14.5	14.3	13.5	12.4	11.3	10.3	9.8
30	10.4	11.1	12.0	12.9	13.6	14.0	13.9	13.2	12.4	11.5	10.6	10.2
25	10.7	11.3	12.0	12.7	13.3	13.7	13.5	13.0	12.3	11.6	10.9	10.6
20	11.0	11.5	12.0	12.6	13.1	13.3	13.2	12.8	12.3	11.7	11.2	10.9
15	11.3	11.6	12.0	12.5	12.8	13.0	12.9	12.6	12.2	11.8	11.4	11.2
10	11.6	11.8	12.0	12.3	12.6	12.7	12.6	12.4	12.1	11.8	11.6	11.5
0	12.1	12.1	12.1	12.1	12.1	12.1	12.1	12.1	12.1	12.1	12.1	12.1

سرعت باد در ایستگاههای هواشناسی معمولاً در ارتفاعات مختلف اندازه گیری می شود ولی آنچه به عنوان استاندارد مورد استفاده می گیرد سرعت در ارتفاع ۲ متری است. a و b می توان از معادله های زیر بدست آورد:

$$a = 0.0043(RH_{min}) - \frac{n}{N} - 1.41$$

$$b = 0.82 - 0.0041(RH_{min}) + 1.07(n/N) + 0.066(U_{day}) - 0.006(RH_{min})\frac{n}{N} - 0.0006(RH_{min})(U_{day})$$

در این فرمول ها n تعداد ساعات واقعی آفتاب، N حداکثر ساعات ممکن تابش آفتاب، RH_{min} حداقل رطوبت نسبی (درصد) و U_{day} سرعت باد در طول روز در ارتفاع ۲ متری از سطح زمین (متر بر ثانیه) است. چنانچه آمار اندازه گیری سرعت باد در ارتفاع دیگری مثلاً Z در اختیار باشد برای استفاده در فرمول لازم است سرعت باد در ارتفاع Z به سرعت باد در ارتفاع ۲ متری تبدیل شود. برای این منظور به صورت زیر عمل می کنیم

$$U_{2m} = U_z [2.0 / Z]^{0.15}$$

که در آن:

U_{2m} = معادل سرعت باد در ارتفاع ۲ متری

U_z = سرعت باد در ارتفاع Z متری

Z = ارتفاعی که سرعت باد در آن اندازه گیری شده است.

مثال

برای روز اول ماه مه (اردیبهشت) در منطقه ای با مشخصه های زیر مقدار تبخیر - تعرق گیاه مرجع را به روش بلانی - کریدل محاسبه کنید.

- عرض جغرافیایی $35^{\circ}N$

- دمای حداکثر $T_{max} = 21^{\circ}C$ و دمای حداقل $T_{min} = 9.4^{\circ}C$

- تعداد ساعات آفتابی $n = 10$ ،

سرعت باد در روز در ارتفاع دو متری $7.5m/sec$

- حداقل رطوبت نسبی $RH_{min} = 48\%$

حل

باتوجه به عرض جغرافیایی در روز اول ماه مه مقدار $N = 14$ میباشد و لذا:

$$\frac{n}{N} = \frac{10}{14} = 0.71$$

$$RH_{min} = 48\%$$

از معادله مربوطه مقدار a برابر $1/91$ - بدست می آید چون :

$$a = 0.0043(48) - 0.71 - 1.41 = -1.91$$

از معادله مربوطه مقدار b برابر $1/46$ تعیین می گردد.

$$b = 0.82 - 0.0041(48) + 1.07(0.71) + 0.066(7.5) - 0.006(48)(0.71) - 0.0006(48)(7.5) = 1.46$$

از جدول برای عرض جغرافیایی 35° درجه و ماه مه مقدار $P=0.31$ استخراج می گردد.

میانگین دما برابر $15/2$ درجه سانتی گراد است زیرا:

$$T = \frac{T_{max} + T_{min}}{2} = \frac{21 + 9.4}{2} = 15.2^{\circ}C$$

لذا مقدار ET_0 برابر خواهد بود با

$$ET_0 = -1.91 + 1.46[0.31(0.46 \times 15.2 + 8.13)] = 4.9 \text{ mm/day}$$

روش تشت تبخیر

تشت تبخیر ساده ترین وسیله‌ای است که با آن می توان مقدار تبخیر را از یک سطح نسبتاً آزاد بدست آورد. در ایستگاه‌های هواشناسی معمولاً از تشت استاندارد کلاس A که ظرفی استوانه ای از جنس آهن گالوانیزه با قطر ۱۲۱ سانتی متر و ارتفاع ۲۵/۴ سانتی متر می باشد استفاده می شود. در صورتی که مقدار تبخیر از تشت در یک دوره زمانی مشخص (روز یا ماه) برابر E_p باشد، تبخیر - تعرق گیاه مرجع (ET_0) در همان دوره برابر خواهد بود با:

$$ET_0 = K_{pan}(E_p)$$

ضریب K_{pan} بنام ضریب تشت معروف بوده و بستگی به وضعیت استقرار تشت و محیط اطراف آن داشته و مقدار آن در مناطق مختلف بین ۰/۵ تا ۰/۸۰ متغیر است. سرعت باد، رطوبت هوا و ارتفاع محل از سطح دریا نیز بر ضریب تشت موثرند. ضریب تشت برای کارهای عملی معمولاً ۰/۶۶ در نظر گرفته می شود. ضریب تشت برای ماههای مختلف سال متغیر است که مقدار متوسط آن را می توان از جدول زیر بدست آورد. بطوری که در این جدول مشاهده می شود ضریب تشت در ماههای سرد، کم و در ماههای گرم، زیادتر است.

ضریب تشت کلاس A برای ماههای مختلف سال

ماه	ضریب	ماه	ضریب
ژانویه	0.62	ژوئیه	0.76
فوریه	0.72	اوت	0.75
مارس	0.77	سپتامبر	0.73
آوریل	0.77	اکتبر	0.69
مه	0.78	نوامبر	0.63
ژون	0.80	دسامبر	0.58

ضریب گیاهی

در تمام روشهایی که توسط آن ها تبخیر- تعرق گیاه مرجع (ET_0) محاسبه می شود لازم است ضریب گیاهی نیز محاسبه شود.

محاسبه ضریب گیاهی: برای آنکه بتوان نتایج حاصله از محاسبه ET_0 را به سطوح پوشش گیاهی مورد نظر تعمیم داد لازم است مقادیر ET_0 بدست آمده را در ضریب گیاهی (K_c) ضرب نمود تا نیاز آبی گیاه مورد نظر (ET_c) بدست آید.

$$ET_c = K_c(ET_0)$$

ضریب گیاهی بستگی به عواملی مانند نوع گیاه، مرحله رشد و شرایط آب و هوایی محل دارد. ضریب گیاهی یک مقدار ثابت نبوده و مقدار آن در طول دوره رویش گیاه تغییر می کند. برای تعیین ضریب گیاهی و استفاده آن جهت تبدیل ET_0 به تبخیر - تعرق گیاه مورد نظر بر اساس روش پیشنهادی فائو FAO برای

دوره رویش گیاه منحنی تغییرات ضریب گیاهی رسم می شود تا در هر مرحله از رشد ضریبی متناسب با همان مرحله اعمال شود.

در این روش فرض شده است که ضریب گیاهی از ابتدای رشد گیاه تا مرحله برداشت آن متغیر است. هر چند این تغییرات خطی نیست ولی کل دوره رویش به ۴ بخش تقسیم شده است که هر قسمت تغییرات ضریب گیاهی بصورت یک خط مشخص می شود. بنابراین اولین قدم این است که دوره رشد گیاه را به ۴ بخش تقسیم کنیم. اساس تقسیم بندی به شرح زیر است:

الف- مرحله ابتدایی رشد : یعنی از زمان کاشت تا هنگامی که گیاه ۱۰ درصد سطح زمین را در بر گیرد.

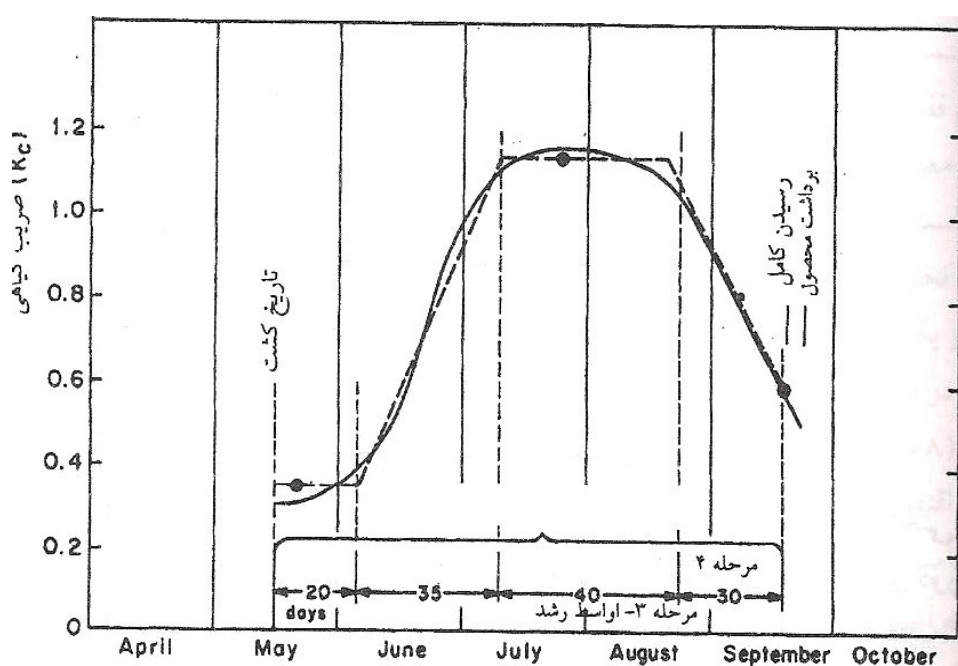
ب- مرحله رشد و توسعه گیاه: از انتهای مرحله ابتدایی تا زمانی که گیاه به حداکثر رشد رسیده و حدود ۷۰ تا ۸۰ درصد سطح زمین را در بر گیرد.

ج- مرحله میانی : از انتهای مرحله توسعه تا زمانی که گیاه در حال کامل بودن می باشد .

د- مرحله نهایی: از انتهای مرحله میانی تا مرحله برداشت محصول.

مراحل مختلف رشد در هر منطقه بسته به شرایط آب و هوایی متفاوت است و اگر اطلاع دقیقی از آن در دست نباشد می بایست با مروجین و زارعین منطقه مذاکره و اطلاعات لازم کسب گردد.

پس از آنکه دوره رشد گیاه به ۴ مرحله تقسیم شد، برای رسم منحنی ضریب گیاهی قدم بعدی آن است که ضریب گیاهی را برای مرحله ابتدایی رشد (K_{c-ini}) ، دوره میانی رشد (K_{c-mid}) و نقطه آخر مرحله چهارم (K_{end}) از جدول زیر بدست آوریم.



نمودار تشریحی برای رسم منحنی تغییرات ضریب گیاهی در طول دوره رشد.

ابتدا دو محور متعامد در نظر گرفته می شود که محور افقی را برای زمان (طول دوره رشد) و محور عمودی را برای K_c مدرج می کنیم. در محور افقی طول دوره های چهارگانه رشد را مشخص کرده و از نقاط ابتدا و انتهای هر دوره خطوط عمودی بر محور افقی اخراج می کنیم. در شکل بالا از شروع کاشت دوره های چهارگانه مشخص شده است. از محور عمودی یک خط افقی را از نقطه ای که ارتفاع آن برابر K_{c-ini} یعنی ضریب گیاهی در مرحله ابتدایی رشد باشد اخراج می کنیم تا خطوط عمودی مربوط به ابتدا و انتهای دوره ابتدایی رشد را قطع کند. این خط قسمتی از منحنی ضریب گیاهی خواهد بود که نشان می دهد در طول دوره اولیه رشد ضریب گیاهی ثابت و مقدار آن برابر K_{c-ini} می باشد. سپس به همین طریق از روی محور y ها (محور عمودی) و از نقطه ای که برابر K_{c-mid} در مرحله سوم رشد باشد خط افقی اخراج می کنیم تا خطوط عمودی مربوط به ابتدا و انتهای مرحله سوم را قطع کند.

بدین ترتیب یک قطعه خط افقی دیگر که قسمتی از منحنی ضریب گیاهی است به دست می آید. این قطعه خط نشان می دهد که ضریب گیاهی در مرحله سوم رشد نیز ثابت در نظر گرفته می شود. حال انتهای قطعه خط افقی اول را به ابتدای قطعه خط افقی دوم وصل می کنیم تا قسمت دیگری از منحنی که در واقع تغییرات ضریب گیاهی در مرحله دوم رشد است بدست می آید. آن گاه روی محور عمودی مقدار ضریب گیاهی مربوط به دوره چهارم (K_{c-end}) را مشخص کرده و از آن یک خط افقی اخراج می کنیم تا خط عمودی مربوط به انتهای مرحله چهارم را در نقطه ای قطع کند. سپس این نقطه را به انتهای قطعه خط افقی دوم یا قطعه خط مربوط به ضریب گیاهی مرحله ۳ وصل می کنیم تا قسمت چهارم منحنی گیاهی ضریب گیاهی که تغییرات ضریب گیاهی در مرحله آخر رشد است بدست می آید. بدین ترتیب منحنی تغییرات ضریب گیاهی که مشتمل بر چهار قطعه خط است بدست می آید.

ضرایب گیاهی (K_c) جهت استفاده در رسم منحنی تغییرات آن در دوره رشد

نوع گیاه	ضریب گیاهی			حداکثر ارتفاع گیاه (h) متر
	K_{c-end}	K_{c-mid}	K_{c-ini}	
کاج و سرو	1.00	1.05	1.05	10
سیب	0.45	0.95	0.95	8
هلو	0.45	0.90	0.65	3
گلابی	0.45	0.90	0.90	4
زیتون	0.65	0.75	0.70	6-10
خرما	0.95	0.95	0.95	8
پسته	0.30	1.15	0.45	3-6
گردو	0.50	1.10	0.65	4-5
مرکبات	0.65	0.70	0.65	4
بادام	0.40	0.95	0.65	5
کیوی	0.30	1.05	1.05	3-5
انگور	0.30	0.85	0.45	2
چای	0.40	0.95	0.65	5
تمشک	0.30	1.05	0.50	1.5
پنبه	0.32	1.15	0.70	0.7-1.5
زیره	0.34	0.74	0.43	0.25
زعفران	0.43	0.75	0.55	0.20
آفتابگردان	0.32	1.15	0.32	2
گندم	0.30	1.15	0.25	1.0
جو	0.30	1.15	0.25	1.0
سورگوم	0.30	1.0	0.22	1.0
برنج	1.10	1.20	0.90	1.0
یونجه	0.40	1.20	1.15	0.7
نیشکر	0.40	1.25	0.75	3-4
جالیز	0.40	1.05	0.75	0.4
سبزیجات	0.40	1.15	0.80	0.8
چغندر قند	0.35	1.20	0.60	0.6

برنامه ریزی آبیاری

به کلیه عملیاتی که طی آن مشخص شود چه موقع و چه مقدار آب به زمین داده شود برنامه ریزی آبیاری (irrigation scheduling) گویند. مقدار آبی که باید به زمین داد (I_n) بستگی به سه عامل زیر دارد: