برنامه‌های کاربردی ساده برای آموزش و پژوهش در زراعت

تالیف:
دکتر افشین سلطانی
مهندس وحید مداح

پیشگفتار

در طی ۱۵ سال گذشته برنامه‌های کامپیوتری متعددی توسط این جانب تهیه شده و در تدریس و تحقیق مورد استفاده قرار گرفتند. استقبال از برخی از برنامه‌ها (مثل برنامه Germin) توسط دانشجویان و سایر علاقمندان، این‌جانب را به تهیه برنامه‌های کاربردی دیگر تشویق نمود. اکثر این برنامه‌ها به زبان QBasic نوشته شده بودند که با توجه به تحت DOS بودن این زبان، به کارگیری آن‌ها قدری دشوار بود. سپس بر آن شدم تا این برنامه‌ها را به تدریج به زبان Visual Basic for Application در محیط Excel تهیه نمایم تا استفاده از آن‌ها تا حد ممکن ساده شود. عمدتاً این برنامه‌ها توسط افرادی که با این جانب کار می‌کردند، استفاده می‌شدند تا این که درصدد برآمدیم به طریقی این برنامه‌ها را در اختیار عموم علاقمندان قرار دهیم. در همین راستا، این مجموعه شامل راهنمای برنامه‌ها توسط آقای مهندس وحید مداح دانشجوی دکتری زراعت دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان تهیه شد. در این مجموعه سعی شده است تا برای هر یک از برنامه‌های کاربردی یک راهنمای ساده نوشته شود. زحمت اصلی تهیه این راهنما بر دوش آقای مداح بوده است و این جانب نقش زیادی نداشته‌ام. به همراه این مجموعه یک CD شامل برنامه نیز ارائه می‌گردد. بایستی خاطر نشان گردد که در این مجموعه مبنای نظری برنامه‌ها توضیح داده نشده‌اند و در موارد لازم به منابع مناسب ارجاع داده شده است. امیدوارم این مجموعه مورد توجه و استقبال علاقمندان قرار گیرد و با نظرات و پیشنهادات خود ما را در اصلاح و تکمیل آن یاری دهند. در صورت استقبال، سعی خواهد شد این مجموعه در آینده با تعداد بیشتری برنامه و توضیح در خصوص مبنای نظری هر برنامه تهیه گردد. در پایان لازم می‌دانم از انجمن علمی کشاورزی بوم شناختی ایران و آقای دکتر اسکندر زند به واسطه زحماتشان جهت چاپ این مجموعه تشکر نمایم.

افشین سلطانی
بهار ۸۹ گرگان

خواهشمند است از کپی و تکثیر غیر مجاز این مجموعه و CD ضمیمه آن خودداری فرمایید و در صورت استفاده از آن‌ها، به این مجموعه ارجاع داده شود. چنان چه کاربران محترم مایل بودند هر یک از برنامه‌های این مجموعه را تغییر داده و برای منظورهای خاص استفاده نمایند، قبلاً با تهیه کنندگان هماهنگی نمایند.

afsoltani@yahoo.com
vahid.maddah@yahoo.com

نحوه ارجاع به برنامه‌ها:

سلطانی، ا و و. مداح. ۱۳۸۹. برنامه‌های کاربردی ساده برای آموزش و پژوهش در زراعت، انجمن علمی کشاورزی بوم شناختی ایران

فهرست مطالب

عنوان	صفحه
برنامه Saltcalc (برای محاسبه مقدار نمک جهت شور کردن خاک)	۱
برنامه Psy_calc (برای محاسبه منحنی رطوبتی خاک)	۳
برنامه Astro (برای محاسبه تشعشع خورشیدی بالای اتمسفر و ...)	۷
برنامه PP_calc (برای محاسبه طول روز)	۹
برنامه Srad_calc (برای محاسبه تشعشع خوّرشیدی از ساعات آفتابی)	۱۱
برنامه htemp (برای محاسبه دمای ساعت به ساعت در طول روز)	۱۵
برنامه Germin (برای محاسبه خصوصیات جوانه‌زنی)	۱۹
برنامه GDD_calc (برای محاسبه درجه روز رشد)	۲۳
برنامه int_PAR (برای محاسبه دریافت تشعشع توسط جوامع گیاهی)	۲۹
برنامه RLY_calc (برای آنالیز تولید تشعشع محدود)	۳۵
برنامه WLY_calc (برای آنالیز تولید آب محدود)	۴۱
برنامه Lenbud (برای محاسبه بودجه انرژی برگ)	۴۷
برنامه Can_phs (برای محاسبه فتوسنتز و تنفس کنوپی)	۵۳
برنامه fert_calc (برای محاسبه نیاز کودی)	۵۹
برنامه Swb_calc (برای شبیه‌سازی موازنه آب خاک)	۶۳
برنامه subs1_xxx (برای شبیه‌سازی گیاهان زراعی)	۶۷
برنامه subs2_xxx (برای شبیه‌سازی گیاهان زراعی)	۷۵

ن خودداری فرمایید و در

ران محترم مایل بودند هر

ستفاده نمایند. قبلاً با تهیه

afsoltani@yahoo.c

vahid.maddah@ya

وهش در زراعت، انجمن

برنامه Saltcalc

مقدمه و قابلیت‌های برنامه

این برنامه برای محاسبه مقدار نمک جهت شور کردن خاک به کار می‌رود. بنابراین با کمک این برنامه می‌توان به محاسبه مقدار نمک مورد نیاز برای ایجاد هدایت الکتریکی (EC) مورد نظر در عصاره اشباع خاک پرداخت. محلول خاک به علت دارا بودن یون‌ها قدرت انتقال الکتریسیته را دارد. میزان این انتقال را می‌توان با استفاده از دستگاه‌های هدایت‌سنج اندازه‌گیری کرد. مقدار هدایت الکتریکی (EC) بالاتر در واقع بیان کننده مقدار بیشتر یون‌ها در محلول خاک و در نتیجه بالاتر بودن مقدار شوری خاک می‌باشد (البته مقدار شوری خاک به عوامل دیگری از جمله اسیدیته و سدیم قابل تبادل محلول خاک بستگی دارد). شوری را معمولاً با واحد میلی‌موس بر سانتی‌متر یا دسی زیمنس بر متر بیان می‌کنند. مقدار هدایت الکتریکی در خاک‌های شور معمولاً بالاتر از ۴ میلی موس بر سانتی متر می‌باشد. در بسیاری از آزمایشات لازم است که برای بررسی مقادیر مختلف شوری بر روی متغیرهای مختلف گیاه، مقادیر مختلف شوری در خاک ایجاد کرد. بنابراین لازم است که مقادیر دقیقی از مقدار نمک مورد نیاز برای افزودن به خاک برای ایجاد شوری مورد نظر داشته باشیم. بدین منظور باید درصد اشباع خاک مورد نظر را بدانیم که با استفاده از روش‌های آزمایشگاهی مشخص بدست می‌آید که توضیح این روش‌ها خارج از بحث این کتاب است (برای آگاهی از تعریف دقیق درصد اشباع و همچنین اطلاعات بیشتر در این مورد به کتاب رابطه آب خاک و گیاه تألیف سلطانی و فرجی (۱۳۸۶)، قلی پور و همکاران (۲۰۰۲)، سلطانی و همکاران (۲۰۰۴)، قربانی و همکاران (۱۳۸۲) و جدی حسینی و همکاران (۱۳۸۶) مراجعه شود).

نحوه استفاده از برنامه

برای انجام محاسبات در این برنامه فقط کافی است درصد اشباع خاک مورد نظر را داشته باشیم و با وارد کردن مقدار هدایت الکتریکی مورد نظر، مقدار نمک مورد نیاز برای افزودن به خاک برای رسیدن به شوری مورد نظر، بدست می‌آید. برای این کار در مقابل گزینه Target EC از بخش ورودی داده‌ها مقدار شوری را که می‌خواهیم به آن دسترسی پیدا کنیم با واحد دسی زیمنس بر متر وارد کرده و در مقابل گزینه Saturation percentage نیز مقدار درصد اشباع خاک را براساس درصد وارد می‌کنیم. بعد از وارد کردن این دو متغیر بر روی کلید Run کلیک کرده و برنامه در بخش

خروجی مقدار نمک مورد نیاز برای افزودن به خاک برای رسیدن به مقدار شوری مورد نظر را با واحد میلی گرم بر ۱۰۰ گرم خاک محاسبه و ارائه می‌کند. در شکل (۱) نمونه‌ای از محاسبه مقدار نمک مورد نیاز برای افزودن به ۱۰۰ گرم خاک برای رسیدن به مقدار هدایت الکتریکی برابر با ۱۵ دسی زیمنس بر متر با درصد اشباع ۳۵ درصد نشان داده شده است.

شکل ۱- نمونه محاسبات انجام شده در برنامه **Saltcalc** برای رسیدن به مقدار هدایت الکتریکی ۱۵ دسی زیمنس بر متر با درصد اشباع ۳۵ درصد

	A	B	C	D	E	F	G	H	I
1	**A program for calculating salt requirement for creating different electrical conductivity of saturation extract.**								
2	**AS at GUASNR.**								
3									
4	**INPUTS:**								
5	Target EC (dS/m) =				15				
6	Saturation percentage (%) =				35				
7									
8									
9			Run						
10									
11	**OUTPUT:**								
12	Salt requirement (mg.100 g-1 soil) =				336				
13									
14									

برنامه Psy_calc

مقدمه

یکی از روش‌های نشان دادن وضعیت رطوبتی خاک، استفاده از رابطه بین مکش خاک (Ψ_m) و رطوبت خاک است که بوسیله منحنی مشخصه آب خاک[1] (SWCC) یا منحنی آزادسازی رطوبت خاک[2] (SMRC) نشان داده می‌شود (سلطانی، ۱۳۸۶). در آزمایش‌های مربوط به ایجاد سطوح خشکی نیاز است منحنی رطوبتی خاک یا مقادیر ظرفیت زراعی[3] و نقطه پژمردگی دائم[4] خاک معلوم باشد تا به کمک آن‌ها تیمارها محاسبه و طراحی شوند. منحنی مشخصه آب خاک در بر گیرنده یک سری از مشخصات خاک است و خاک‌های مختلف دارای منحنی مشخصه آب خاک مختلفی هستند. شکل منحنی مشخصه آب خاک به توزیع و اندازه منافذ خاک و تخلخل کل خاک بستگی دارد. هرچه درصد منافذ ریز خاک زیادتر و کل تخلخل آن بیشتر باشد، منحنی در وضعیت بالاتری قرار می‌گیرد. از این منحنی، برای تعیین ظرفیت زراعی، نقطه پژمردگی دائم، حل معادلات مختلف حرکت آب در خاک در آبیاری و Ψ_m (پتانسیل ماتریک) در خاک استفاده می‌شود.

به‌طور معمول، منحنی مشخصه آب خاک با دو روش استفاده از دستگاه صفحات فشاری و روابط تجربی- تئوریک تعیین می‌گردد. این برنامه بر اساس روش دوم طراحی شده است و در شرایطی قابل استفاده است که امکانات کافی برای اندازه‌گیری و سنجش منحنی رطوبتی خاک و مقادیر ظرفیت زراعی و نقطه پژمردگی دائم وجود ندارد (سلطانی و فرجی، ۱۳۸۶؛ گالشی و همکاران، ۱۳۸۴؛ عدالتی فرد و همکاران، ۱۳۸۵). فرمول های مورد نیاز این روش از ساکستون و همکاران (۱۹۸۶) گرفته شده‌اند (سلطانی و فرجی، ۱۳۸۶).

نحوه استفاده از این برنامه

برای کار با این برنامه ابتدا باید ویژگی های خاک مورد نظر را در بخش ورودی داده ها وارد کنید. این ویژگی ها شامل درصد رس (clay content%) و شن (sand content%) و همچنین وزن مخصوص ظاهری خاک (Bulk density) مورد نظر بر حسب گرم بر سانتی‌متر مکعب می‌باشند که باید در مقابل گزینه مورد نظر در برنامه وارد شوند. وزن مخصوص ظاهری عبارت است از نسبت

1- Soil Water Characteristic Curve
2- Soil Moisture Release Curve
3- Field Capacity
4- Permanent Wilting Point

وزن ذرات جامد خاک به حجم کل خاک. معمولاً خاک‌های شنی و خاک‌های دارای خلل و فرج کمتر به‌دلیل دارا بودن نسبت ذرات جامد بیشتر، دارای وزن مخصوص ظاهری بیشتری هستند. وزن مخصوص ظاهری خاک‌های زراعی بین ۱/۱ تا ۱/۴ گرم بر سانتی‌متر مکعب می‌باشد. بعد از وارد کردن ویژگی‌های خاک بر روی دکمه Run کلیک کرده و برنامه به محاسبه منحنی مشخصه خاک می‌پردازد و در قسمت خروجی‌های این برنامه به‌ترتیب مقدار آب خاک (TTAM) بر حسب گرم بر گرم، مقدار آب خاک به‌صورت حجمی (TTAV) بر حسب گرم بر سانتی‌متر مکعب خاک و پتانسیل ماتریک (MP) برحسب بار گزارش می‌شوند. در این برنامه منحنی مشخصه رطوبتی خاک بر اساس مقدار رطوبت خاک در مقابل پتانسیل‌های ماتریک مختلف رسم می‌شود. خط y = ۱۵bar نشان دهنده نقطه پژمردگی دائم در خاک و خط y = ۰/۳۳bar نشان‌دهنده نقطه ظرفیت زراعی برای خاک مورد نظر می‌باشد. شکل (۲) محاسبه منحنی رطوبتی خاک برای شرایط خاکی با ۳۶ درصد رس، ۱۵/۱۵ درصد شن و وزن مخصوص ظاهری برابر با ۱/۲۸ گرم بر سانتی متر مکعب را نشان می‌دهد.

شکل ۲- صفحه اول برنامه Psy_calc

A program for calculating soil moisture release curve using clay and sand content and bulk density of soil.

AS at GUASNR, April 2009

INPUTS:	
Clay content (%)	36
Sand content (%)	15.15
Bulk density (g.cm-3)	1.28

OUTPUTS:

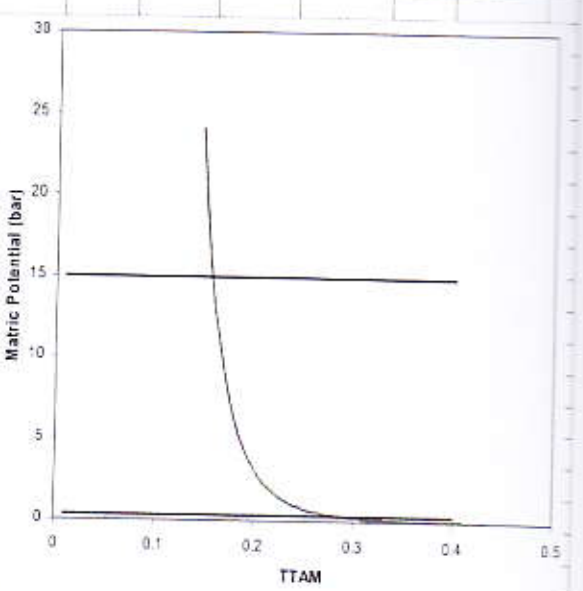
TTAM = Soil moisture content (g.g-1)

TTAV = Soil moisture content (g.cm-3)

MP = Soil matric pressure (bar)

Run

TTAM	TTAV	PM
0.145	0.1856	24.10847
0.15	0.192	19.46882
0.155	0.1984	15.83265
0.16	0.2048	12.96041
0.165	0.2112	10.67478
0.17	0.2176	8.843308
0.175	0.224	7.366147
0.18	0.2304	6.167401
0.185	0.2368	5.188928
0.19	0.2432	4.385852
0.195	0.2496	3.723293
0.2	0.256	3.173959
0.205	0.2624	2.716361
0.21	0.2688	2.333474
0.215	0.2752	2.011737
0.22	0.2816	1.740286
0.225	0.288	1.510375
0.23	0.2944	1.314927
0.235	0.3008	1.148188
0.24	0.3072	1.005458
0.245	0.3136	0.882884
0.25	0.32	0.777292
0.255	0.3264	0.686057



ای دارای خلل و فرج کمتر
اهری بیشتری هستند. وزن
سب می‌باشد. بعد از وارد
ه منحنی مشخصه خاک می-
(TTA) بر حسب گرم بر
ی‌متر مکعب خاک و پتانسیل
ه رطوبتی خاک بر اساس
رد. خط y = ۱۵bar نشان
ه ظرفیت زراعی برای خاک
خاکی با ۳۶ درصد رس،
تر مکعب را نشان می‌دهد.

برنامه Astro

مقدمه و قابلیت‌های برنامه

از برنامه Astro می‌توان برای محاسبات مربوط به طول روز، میل خورشیدی، مقدار تشعشع رسیده به بالای اتمسفر و زاویه تابش خورشید استفاده کرد. این برنامه کمک قابل توجهی به درک دقیق هندسه زمین و خورشید می‌کند.

تشعشع رسیده به زمین (I_s)، در یک روز بر حسب مگاژول بر متر مربع در روز حاصلضرب تشعشع رسیده به بالای اتمسفر در آن روز بر حسب مگاژول در متر مربع در روز و ضریب عبور اتمسفر در آن روز می‌باشد. مدار گردش زمین به دور خورشید، بیضی بسیار نزدیک به دایره است که زمین در یکی از کانون های آن قرار دارد. محور زمین بر صفحه مدار گردش زمین به دور خورشید عمود نیست، بلکه با خط عمود بر این صفحه زاویه ای برابر با ۲۳/۵ درجه می‌سازد. در گردش به دور خورشید، خورشید گاهی بالای امتداد صفحه استوایی زمین و گاهی پایین آن قرار می‌گیرد. به‌عبارت دیگر بین خورشید و صفحه استوا زاویه‌ای وجود دارد که به آن میل خورشیدی (Solar declination) گفته می‌شود. محدوده تغییرات میل خورشیدی بین ۲۳/۵- تا ۲۳/۵+ است و بر تشعشع رسیده به زمین اثر محسوسی دارد. با توجه به هندسه خورشید – زمین، میزان تابش روزانه خورشیدی رسیده به بالای اتمسفر، تابعی از عرض جغرافیایی محل و روز سال (میل خورشیدی) است. عرض جغرافیایی محل و روز سال تعیین کننده زاویه خورشیدی یا ارتفاع خورشیدی (β, Solar elevation) هستند. تشعشع رسیده به بالای اتمسفر در یک روز خود بستگی به ثابت خورشیدی و زاویه تابش دارد. این برنامه با استفاده از عرض جغرافیایی محل، محاسبات مربوط به طول روز، میل خورشیدی، مقدار تشعشع رسیده به بالای اتمسفر و زاویه تابش خورشید در ظهر خورشیدی را انجام می‌دهد. به علاقمندان برای آگاهی بیشتر نسبت به مفاهیم این بخش و همچنین آشنایی با فرمول‌ها به کتاب مدل‌سازی فرایندهای رشد گیاهان زراعی (نصیری، ۱۳۷۹) مراجعه نمایند.

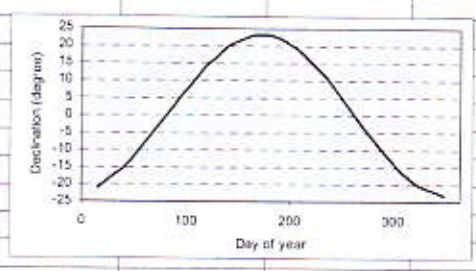
نحوه استفاده از برنامه

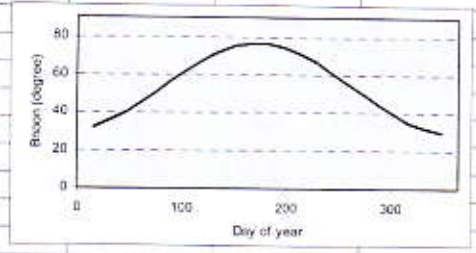
برای انجام محاسبات در این برنامه فقط کافی است که عرض جغرافیایی محل مورد نظر در سلول خالی در مقابل گزینه LAT وارد شود. چهار نمودار مربوط به میل خورشیدی، زاویه تابش خورشیدی در ظهر خورشیدی (بیشترین زاویه تابش خورشید در آن روز)، طول روز و مقدار تشعشع رسیده به بالای اتمسفر توسط برنامه در مقابل روز سال (DOY)، رسم شده و در قسمت پایین نمودارها مقادیر عددی مربوطه به این متغیرها قابل مشاهده می‌باشد.

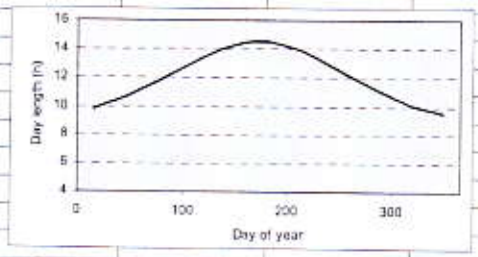
در شکل (۳)، به عنوان مثال نمونه محاسبات انجام شده برای عرض جغرافیایی ۳۶/۸۵ مربوط به شهر گرگان نشان داده شده است.

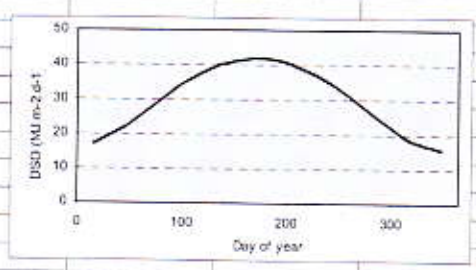
شکل ۳- نمونه محاسبات انجام شده در برنامه **Astro** برای شهر گرگان

	A	B	C	D	E	F	G
1	**A program to calc declination, solar elevation at noon, day length and extratterrestial solar radiation.**						
2	**AS at GUANR.**						
3							
4	**LAT =**	**36.85**					
5							
6							
7							
8							
9							
10							
11							
12							
13							
14							
15							
16							
17							
18							
19							
20							
21							
22							
23							
24							
25							
26			**Ia**				
27	**DOY**	**DayL**	**DSO**	**DECL**	**Bnoon**		
28	15	9.7	17.0	-21.2	31.9		
29	46	10.7	22.3	-13.1	40.0		
30	74	11.7	28.6	-2.8	50.3		
31	105	12.9	35.3	9.1	62.3		
32	135	13.9	39.9	18.5	71.7		
33	166	14.5	41.8	23.3	76.4		
34	196	14.3	40.9	21.5	74.6		
35	227	13.4	37.2	13.6	66.8		
36	258	12.2	31.3	2.3	55.4		
37	288	11.1	24.4	-9.3	43.9		
38	319	10.0	18.4	-18.9	34.2		
39	349	9.5	15.6	-23.3	29.8		
40							









جغرافیایی ۳۶/۸۵ مربوط به

	A	B
1	A program to calc declinat	
2	radiation.	
2	AS at GUANR.	
3		
4	LAT =	36.85
5		
6		
7		
8		
9		
10		
11		
12		
13		
14		
15		
16		
17		
18		
19		
20		
21		
22		
23		
24		
25		
26		
27	DOY	DayL
28	15	9.7
29	46	10.7
30	74	11.7
31	105	12.9
32	135	13.9
33	166	14.5
34	196	14.3
35	227	13.4
36	258	12.2
37	288	11.1
38	319	10.0
39	349	9.5
40		

برنامه PP_calc

مقدمه

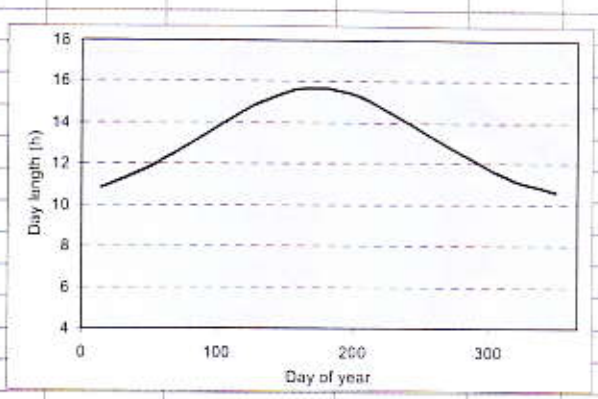
این برنامه به محاسبه فتوپریود بر اساس عرض جغرافیایی و موقعیت خورشید در افق می‌پردازد. فتوپریود مورد استفاده در مطالعه فنولوژی از طول روز متفاوت می‌باشد. به‌طور معمول طول روز عبارت است از فاصله زمانی از طلوع تا غروب خورشید و طلوع و غروب زمانی در نظر گرفته می‌شود که خورشید در افق قرار داشته باشد. اما، میزان نور مورد نیاز جهت تأثیرگذاری بر نمو گیاه اندک می‌باشد و روشنایی قبل از طلوع و بعد از غروب نیز می‌توانند مؤثر باشند. به‌همین دلیل در محاسبات مربوط به فنولوژی به‌طور معمول فتوپریود فاصله زمانی است که طول می‌کشد تا خورشید از ۶ درجه زیر افق حرکت نموده، طلوع کند و مجدداً به ۶ درجه زیر افق برسد. اگرچه عدد ۶ درجه زیر افق متداول است ولی از مقادیر ۴- و ۲- درجه هم استفاده شده است. خوانندگان برای اطلاع بیشتر از معادلات و نحوه محاسبه دقیق فتوپریود توسط این برنامه می‌توانند به مقاله کسیلینگ (۱۹۸۲) و همچنین کتاب مدل‌سازی ریاضی در گیاهان زراعی (سلطانی، ۱۳۸۸ب) مراجعه کنند.

نحوه استفاده از برنامه

کاربرد این برنامه بسیار ساده می‌باشد. این برنامه فقط دارای یک صفحه بوده و نیاز به داده‌های ورودی اندکی دارد. در ابتدا لازم است که در مقابل گزینه LAT از این برنامه عرض جغرافیایی منطقه مورد نظر را وارد کنیم. به‌طور مثال در شکل (۴) که نشان دهنده این برنامه می‌باشد دیده می‌شود که در مقابل این گزینه عدد ۳۶/۸۵ درجه وارد شده است که بیانگر عرض جغرافیایی شهر گرگان می‌باشد. در ادامه در مقابل گزینه SABH باید زاویه خورشید در زیر افق وارد شود. همان‌گونه که در بخش مقدمه نیز اشاره شد عدد ۶- درجه متداول است ولی از مقادیر ۴- و ۲- درجه هم استفاده شده است. به‌طور مثال برای شرایط شهر گرگان این مقدار ۶- درجه در نظر گرفته شده است. با وارد کردن این دو متغیر به‌عنوان ورودی‌های این برنامه، برنامه به محاسبه طول روز برای محل مورد نظر پرداخته و در جدولی در پایین همان صفحه مقدار فتوپریود را در مقابل روزهای سال ارائه می‌کند. لازم به ذکر است که امکان تغییر روزهای سال مورد نظر با توجه به هدف وجود داشته و برنامه می‌تواند برای هر روز سالی که در ستون روز سال (DOY) قرار داده شده است طول روز را محاسبه کند. این برنامه همچنین نموداری را که نشان دهنده تغییرات سالانه طول روز است ارائه می‌دهد.

شکل ۴- نمونه ای از صفحه اول برنامه **PP_calc** برای محاسبه طول روز در گرگان

	A	B	C	D	E	F	G	H
1	**A program to calc photoperiod that accounts for civiltwilight.**							
2	**AS at GUASNR**							
3								
4	**LAT =**	36.85	Latitude, degree					
5	**SABH =**	6	Sun angle below horizon, degree					
6								
7								
8								
9	DOY	DayL						
10	15	10.84266						
11	46	11.71568						
12	74	12.76407						
13	105	13.9991						
14	135	15.07745						
15	166	15.69223						
16	196	15.45912						
17	227	14.52776						
18	258	13.33166						
19	288	12.17331						
20	319	11.15222						
21	349	10.62036						



برنامه srad_calc

مقدمه

در بسیاری از کارهای تحقیقاتی مانند آن‌هایی که به محاسبه میزان تبخیر تعرق می‌پردازند، آگاهی از مقدار تشعشع خورشیدی بخشی اساسی می‌باشد. همچنین آگاهی از مقدار تشعشع رسیده به زمین در فهم و محاسبه برخی از مفاهیم فیزیولوژیکی و اکولوژیکی مانند کارایی مصرف نور کاربرد دارد. از این برنامه برای محاسبه مقدار تشعشع خورشیدی بر مبنای ساعات آفتابی استفاده می‌شود. تشعشع رسیده به زمین در یک روز بر حسب مگاژول در متر مربع در روز حاصل ضرب تشعشع رسیده به بالای اتمسفر در آن روز بر حسب مگاژول در متر مربع در روز و ضریب عبور اتمسفر در آن روز یا لحظه می‌باشد:

$$I_s = I_A \times \tau_a \qquad (۱)$$

که در آن I_A تشعشع رسیده به بالای اتمسفر و τ_a ضریب عبور اتمسفر هستند. I_A با توجه به هندسه زمین و خورشید و با در دست داشتن عرض جغرافیایی محل و روز سال قابل محاسبه است. τ_a نیز با در دست داشتن مقدار I_s و تعداد ساعات آفتابی در تعدادی از روزهای سال (هر چه تعداد روزها بیشتر باشد امکان محاسبه بهتری وجود خواهد داشت) با معادله (۲) که همان معادله آنگستروم می‌باشد قابل محاسبه است:

$$\tau_a = I_s / I_A = a + b(n/N) \qquad (۲)$$

که در آن a و b ضرایب معادله آنگستروم هستند. n/N نسبت ساعات آفتابی است که n تعداد ساعات آفتابی در روز بر حسب ساعت و N طول روز بر حسب ساعت می‌باشد. n/N نشان می‌دهد که در چه بخشی از طول روز آفتاب وجود داشته است. مقادیر تقریبی a و b حدوداً ۰/۲۵ و ۰/۵ هستند (مقادیر a و b برای مقدار قابل توجهی از شهرهای کشور در قالب یک طرح تحقیقاتی توسط سلطانی (۱۳۸۰) محاسبه شده و در صفحه کمکی (help) برنامه قرار داده شده‌اند).

نحوه استفاده از برنامه

استفاده از این برنامه بسیار آسان می‌باشد. برای کاربرد این برنامه دو گام اساسی وجود دارد. در گام اول باید اطلاعات هواشناسی روزانه مربوط به دوره زمانی که می‌خواهیم مقدار تشعشع خورشیدی

گرگان

	A	B
1	A program to calc photoperiod	
2	AS at GUASNR	
3		
4	LAT =	36.85
5	SABH =	6
6		
7		
8		
9	DOY	DayL
10	15	10.84266
11	46	11.71568
12	74	12.76407
13	105	13.9991
14	135	15.07745
15	166	15.69223
16	196	15.45912
17	227	14.52776
18	258	13.33166
19	288	12.17331
20	319	11.15222
21	349	10.62036

برای آن محاسبه شود را وارد کنیم. بخش ورودی داده‌های هواشناسی در بخش پایینی صفحه این برنامه وجود دارد. همانگونه که در شکل (۵) مشاهده می‌شود این متغیرها به ترتیب عبارتند از سال فارسی (Year F)، ماه فارسی (Month F)، روز سال فارسی (Day F)، سال میلادی (Year)، روز سال (DOY)، درجه حرارت حداکثر (TMAX)، درجه حرارت حداقل (TMIN)، مقدار بارندگی (RAIN) و تعداد ساعات آفتابی (SUNH) (خاطر نشان می‌سازد تمامی این متغیرها برای محاسبه تشعشع الزامی نیستند ولی چون در دیگر برنامه ها کاربرد دارند به این صورت استفاده شده‌اند. متغیرهای الزامی عبارتند از روز سال (DOY) و تعداد ساعات آفتابی(SUNH)). در شکل (۵) چگونگی قرارگیری داده‌های هواشناسی روزانه برای سال ۱۳۸۴ دیده می‌شود. بعد از وارد کردن اطلاعات هواشناسی مربوط به سال مورد نظر، در بخش ورودی (Input) داده‌ها در بالا سمت چپ نرم افزار باید عرض جغرافیایی منطقه مورد نظر برحسب درجه وارد شود. به طور مثال عدد ۳۶/۸۵ در شکل در مقابل گزینه عرض جغرافیایی (Latitude)، مقدار عرض جغرافیایی شهر گرگان می‌باشد. در مقابل گزینه‌های Angstrom A و Angstrom B مقدار ضرائب آنگستروم وارد می‌شود. در مقابل گزینه Number of days باید تعداد روزهایی را که می‌خواهیم مقدار تشعشع خورشیدی رسیده به زمین برای آن‌ها محاسبه شود وارد کرده و در نهایت باید بر روی گزینه Run کلیک شود. با کلیک کردن بر روی گزینه Run مقدار تشعشع خورشیدی رسیده به زمین بر اساس ساعات آفتابی محاسبه و در زیر ستون SRAD در بخش داده‌های هواشناسی و در مقابل هر روز به تفکیک ارائه می‌شود. برای مثال مقدار تشعشع خورشیدی رسیده به زمین در روز ۲۳ آذر سال ۱۳۸۴ برابر با مقدار ۵/۳ مگاژول بر متر مربع در روز بوده است. در شکل زیر نمایی از صفحه اول این برنامه و چگونگی قرار گرفتن داده‌ها و محاسبه مقدار تشعشع خورشیدی برای سال ۱۳۸۴ در شهر گرگان دیده می‌شود. لازم به ذکر است که با درج عدد ۲۸۳ در برابر تعداد روزها، محاسبه مقدار تشعشع خورشیدی برای ۲۸۳ روز (برابر با تعداد روزهایی که آمار هواشناسی آن‌ها برای برنامه مشخص شده است) محاسبه می‌شود و در هنگام اجرای برنامه با ادامه حرکت ماوس به سمت پایین صفحه برنامه اکسل، محاسبات برای سایر روزها قابل دسترسی می‌باشد که به‌دلیل کمبود فضا در این کتاب فقط محاسبات برای روزهایی که در بالای پنجره اولیه برنامه مشخص بوده‌اند، آورده شده است.

شکل ۵- نمونه محاسبات انجام شده در برنامه Srad_calc در سال ۱۳۸۴ برای شهر گرگان

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J
1	**A program to calc solar radiation from sunshine hours.**									
2	**AS at GUASNR, May 2009**									
3										
4	INPUTS:									
5	36.85	< Latitude (o)								
6	0.24	< Angstrom A								
7	0.517	< Angstrom B								
8										
9	283	< Number of days								
10										
11										
12		Run								
13										
14										
15	**YearF**	**MontF**	**DayF**	**Year**	**DOY**	**TMAX**	**TMIN**	**RAIN**	**SUNH**	**SRAD**
16	1384	9	23	2005	347	11.4	7.2	0	1.8	5.3
17	1384	9	24	2005	348	14.2	2.4	0	8.2	10.7
18	1384	9	25	2005	349	25.4	5.4	0	3.2	6.5
19	1384	9	26	2005	350	26.5	14.2	0	3.0	6.3
20	1384	9	27	2005	351	22.4	11.6	0	8.4	10.8
21	1384	9	28	2005	352	22.6	6.4	0	8.8	11.2
22	1384	9	29	2005	353	21.7	6.4	0	7.6	10.2
23	1384	9	30	2005	354	15.8	5.8	0	4.5	7.5
24	1384	10	1	2005	355	14	3	0	5.8	8.6
25	1384	10	2	2005	356	15	6.2	0	5.5	8.4

سی در بخش پایینی صفحه این
تغیرها به ترتیب عبارتند از سال
Day)، سال میلادی (Year)،
رارت حداقل (TMIN)، مقدار
می‌سازد تمامی این متغیرها برای
د به این صورت استفاده شده‌اند.
تابی (SUNH)). در شکل (۵)
یده می‌شود. بعد از وارد کردن
Inpu) داده‌ها در بالا سمت چپ
شود. به طور مثال عدد ۳۶/۸۵ در
غرافیایی شهر گرگان می‌باشد. در
نگستروم وارد می‌شود. در مقابل
دار تشعشع خورشیدی رسیده به
گزینه Run کلیک شود. با کلیک
ر اساس ساعات آفتابی محاسبه و
روز به تفکیک ارائه می‌شود. برای
۱۳/ برابر با مقدار ۵/۳ مگاژول بر
ی برنامه و چگونگی قرار گرفتن
گرگان دیده می‌شود. لازم به ذکر
عشع خورشیدی برای ۲۸۳ روز
شده است) محاسبه می‌شود و در
نامه اکسل، محاسبات برای سایر
محاسبات برای روزهایی که در

برنامه htemp

مقدمه

از این برنامه می‌توان برای محاسبه تغییرات دمای روزانه با کمک حداقل و حداکثر دمای روزانه، استفاده کرد. در برخی موارد نیز بهتر است به جای استفاده از میانگین دمای ۲۴ ساعته از مقادیر ساعت به ساعت دما استفاده شود، چون در برخی موارد با وجودی که میانگین دمای ۲۴ ساعته محدود کننده به نظر نمی‌آید، ولی ممکن است در طول ساعات شبانه روز محدودیت وجود داشته باشد و بر عکس گاهی میانگین دمای ۲۴ ساعته برای گیاهی خاص محدودکننده محسوب می‌شود ولی در واقع وجود دامنه دمایی در طول ساعات شبانه روز این محدودیت را در تمامی ساعات نشان نمی‌دهد. مثلاً فرض کنید دمای مطلوب برای نمو ۳۰ درجه سانتی‌گراد باشد، حال اگر روزی با دمای ۳۰ درجه سانتی‌گراد داشته باشیم در نظر اول این روز مطلوب به نظر می‌آید، در حالی که در همین روز ممکن است تغییرات دما بین ۲۳ تا ۳۷ درجه سانتی‌گراد متغیر باشد، بنابراین دست کم در ساعاتی از شبانه روز محدودیت دما وجود خواهد داشت. برعکس فرض کنید میانگین دمای ۳۷ درجه برای یک روز برای گیاهی خاص محدودکننده باشد ولی در واقع این روز دارای تغییرات دمایی بین ۴۷-۲۷ درجه سانتی‌گراد بوده است و در نتیجه تمامی ساعات روز برای این گیاه محدودکننده نبوده است. بنابراین به دو دلیل بالا اطلاع از تغییرات دما در طی ۲۴ ساعت مفید می‌باشد.

تغییرات دمای هوا به گونه‌ای است که حداقل آن در زمان طلوع خورشید و حداکثر آن در ساعت ۱۳/۳۰ رخ می‌دهد (برحسب زمان خورشیدی یعنی ۱/۵ ساعت بعدازظهرخورشیدی). تغییرات دما بین این دو حد را می‌توان با استفاده از دو معادله توصیف کرد. لازم به ذکر است این برنامه برای محاسبه تغییرات دمای روزانه از دو روش استفاده می‌کند. در روش اول که روش پیچیده‌تری می‌باشد تغییرات دما با استفاده از توابع سینوسی و نمایی کاهشی محاسبه می‌شوند: یعنی یک معادله سینوسی برای تغییرات دما در طی ساعات روز و یک معادله نمایی کاهشی برای ساعات شب. زمان انتقال بین این دو معادله زمان طلوع و غروب هستند. با داشتن این دو معادله می‌توان تغییرات لحظه به لحظه دمای شبانه روز را تخمین زد (نصیری، ۱۳۷۹). برای انجام محاسبات بر اساس معادلات سینوسی و نمایی به اطلاعاتی از قبیل طول روز و شب، دمای حداقل و حداکثر روزانه، فاصله زمانی بین ظهر خورشیدی و دمای حداکثر روزانه و زمان غروب خورشید مورد نیاز می‌باشد. همچنین آگاهی از مقدار دمای حداکثر روز قبل (Tmax-B) و دمای حداقل روز بعد (Tmin-A) در بخشی از معادله سینوسی برای بدست آوردن مقدار دقیق دمای ساعتی لازم می‌باشد. بدین‌ترتیب با داشتن روز سال، حداکثر و

حداقل دمای روزانه، حداکثر دما در روز قبل و حداقل دما در روز بعد می‌توان تغییرات ساعتی دما را محاسبه کرد (جزئیات این روش را می‌توانید در نصیری ۱۳۷۹، بیابید).

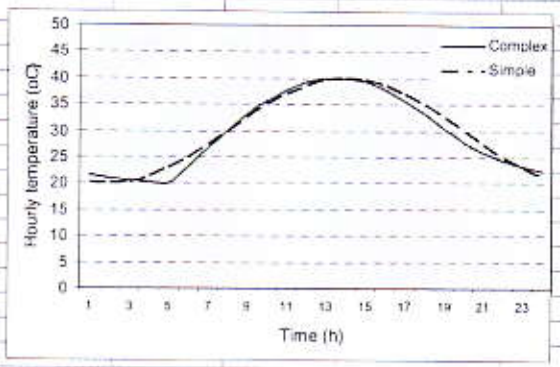
روش دومی که برنامه برای محاسبه تغییرات دمای روزانه استفاده می‌کند روشی است که ساده‌تر بوده (روش سینوسی) و در آن برای محاسبه (تخمین) دمای روزانه از دمای متوسط و همچنین اختلاف دمای حداکثر و حداقل استفاده می‌شود (سلطانی و همکاران، ۲۰۰۶b).

نحوه استفاده از برنامه

ابتدا لازم است که در بخش بالای برنامه در مقابل گزینه LAT، عرض جغرافیایی منطقه موردنظر را وارد کنید. در مقابل گزینه DOY نیز روزی از سال که قصد دارید تغییرات دمای روزانه را برای آن روز محاسبه کنید ثبت کنید. این برنامه از مقدار عرض جغرافیایی و روز سال جهت محاسبه طول روز و زمان طلوع و غروب خورشید استفاده می‌کند. در ادامه در مقابل گزینه Tmax و Tmin به‌ترتیب مقدار دمای حداکثر و دمای حداقل را برای روز مورد نظر وارد می‌کنیم. TMAX-B مقدار دمای حداکثر در روز قبل از روز مورد نظر و TMIN-A نیز عبارت است از مقدار دمای حداقل در روز بعد از روز مورد نظر. با وارد کردن اطلاعات ذکر شده در جای خود برنامه به محاسبه ساعتی دما به دو روش پیچیده (استفاده از توابع سینوسی و نمایی کاهشی) و روش ساده (براساس میانگین و اختلاف دمای حداکثر و حداقل می‌پردازد). همچنین بر اساس محاسبه ساعتی دما که به تفکیک ساعت در بخش پایینی برنامه قابل مشاهده می‌باشد این برنامه نمودار تغییرات ساعتی دما را در طی ۲۴ ساعت شبانه روز به تفکیک روش محاسبه براساس روش پیچیده و ساده ارائه می‌کند. در شکل (۶) نمونه‌ای از تخمین دمای ساعتی در شرایط دمایی شهر گرگان را برای ۲۱۷امین روز سال یعنی ۱۵ مردادماه در شرایطی که دمای حداکثر ۴۰ درجه و دمای حداقل ۲۰ درجه سانتی‌گراد می‌باشد، مشاهده می‌شود.

شکل ۶- نمونه محاسبات انجام شده در برنامه Htemp برای روز ۲۱۷ در شهر گرگان

	A	B	C	D	E	F	G
1	**A program to calc hourly temperature from daily maximum and minimum temperatures.**						
2	**AS at GUASNR.**						
3							
7	36	> LAT					
8	217	> DOY					
9	40	> TMAX					
10	20	> TMIN					
11	40	> TMAX_B	Max temp before the day considered				
12	20	> TMIN_A	Min temp after the day considered				
13							
14							
15							
16							
17							
18							
19							
20							
21							
22							
23							
24							
25							
26							
27							
28							
29	**H**	**TEMP**		**H**	**TEMP**		
30	1	21.61		19	20.34	1	
31	2	21.06		20	20.00	2	
32	3	20.63		21	20.34	3	
33	4	20.30		22	21.34	4	
34	5	20.04		23	22.93	5	
35	6	23.14		24	25.00	6	
36	7	26.79		1	27.41	7	
37	8	30.19		2	30.00	8	
38	9	33.23		3	32.59	9	
39	10	35.81		4	35.00	10	
40	11	37.82		5	37.07	11	
41	12	39.21		6	38.66	12	
42	13	39.91		7	39.66	13	
43	14	39.91		8	40.00	14	
44	15	39.21		9	39.66	15	
45	16	37.82		10	38.66	16	
46	17	35.81		11	37.07	17	
47	18	33.23		12	35.00	18	
48	19	30.25		13	32.59	19	
49	20	27.79		14	30.00	20	
50	21	25.87		15	27.41	21	
51	22	24.38		16	25.00	22	
52	23	23.22		17	22.93	23	
53	24	22.31		18	21.34	24	



د می‌توان تغییرات ساعتی دما را

ه می‌کند روشی است که ساده‌تر
انه از دمای متوسط و همچنین
.(۲۰۰۶b

عرض جغرافیایی منطقه موردنظر
تغییرات دمای روزانه را برای آن
وز سال جهت محاسبه طول روز
زینه Tmax و Tmin به‌ترتیب
کنیم. TMAX-B مقدار دمای
ت از مقدار دمای حداقل در روز
رنامه به محاسبه ساعتی دما به دو
ساده (براساس میانگین و اختلاف
ی دما که به تفکیک ساعت در
ساعتی دما را در طی ۲۴ ساعت
ه می‌کند. در شکل (۶) نمونه‌ای
ی روز سال یعنی ۱۵ مردادماه در
د می‌باشد، مشاهده می‌شود.

برنامه Germin

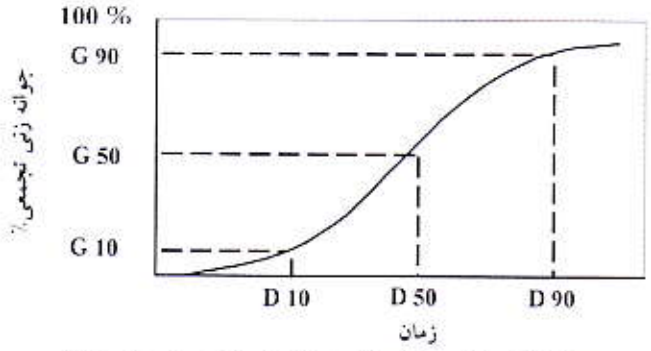
مقدمه و قابلیت‌های برنامه

از برنامه Germin می‌توان برای تعیین متغیرهای مورد نیاز جوانه‌زنی و سبز شدن مانند سرعت جوانه‌زنی، یکنواختی جوانه‌زنی و حداکثر جوانه‌زنی بذور استفاده کرد. همانگونه که در شکل (۷) دیده می‌شود رابطه بین درصد تجمعی جوانه‌زنی در برابر زمان به صورت سیگموئیدی می‌باشد که از این رابطه می‌توان برای بدست آوردن مقدار عددی سرعت جوانه‌زنی و سایر متغیرهای مرتبط با آن در آزمایش تعیین سرعت جوانه‌زنی استفاده کرد. بنا بر تعریف، D10 (یعنی مدت زمانی که طول می‌کشد تا جوانه‌زنی به ۱۰ درصد حداکثر خود برسد)، D50 (یعنی مدت زمانی که طول می‌کشد تا جوانه‌زنی به ۵۰ درصد حداکثر خود برسد) و D90 (مدت زمانی که طول می‌کشد تا جوانه‌زنی به ۹۰ درصد حداکثر خود برسد) هستند و توسط برنامه محاسبه می‌شود. این برنامه این پارامترها را از طریق درون‌یابی (Interpolation) خطی نقاط جوانه‌زنی تجمعی در مقابل زمان محاسبه می‌کند. سرعت جوانه زنی (در ساعت) از طریق فرمول زیر محاسبه می‌شود (سلطانی و همکاران، ۲۰۰۱؛ سلطانی و همکاران، ۲۰۰۲؛ یوسفی‌داز و همکاران، ۱۳۸۵الف؛ یوسفی‌داز و همکاران، ۱۳۸۵ب؛ قربانی و همکاران، ۱۳۸۶):

$$R50=1/D50 \quad \text{(سرعت جوانه‌زنی)}$$

یکنواختی جوانه زنی (GU) عبارت است از مدت زمانی که طول می‌کشد تا جوانه‌زنی از ۱۰ درصد حداکثر خود به ۹۰ درصد حداکثر خود برسد و هر چه مقدار این مدت زمان کمتر باشد نشان‌دهنده جوانه‌زنی یکنواخت‌تر (همزمان) بذور می‌باشد، که از فرمول زیر محاسبه می‌گردد:

$$GU=D90-D10 \qquad (۳)$$



شکل ۷- منحنی سیگموئیدی جوانه زنی تجمعی در برابر زمان

معمولاً در روش استاندارد برای انجام آزمون جوانه‌زنی (بررسی منحنی جوانه‌زنی) در هر پتری‌دیش تعداد ۵۰ عدد از بذر گیاه مورد نظر را قرار داده و آنها را در شرایط مطلوب و در اطاقک رشد قرار می‌دهیم. روزی ۲ بار شمارش را انجام داده و نتایج را به‌صورت تجمعی ثبت می‌کنیم. معیار جوانه‌زنی را می‌توان بر مبنای خروج ریشه‌چه به اندازه ۲ میلی‌متر در نظر گرفت. البته لازم به ذکر است برای انجام آزمون مربوط به هر گیاه شرایط خاص مربوط به همان گیاه لازم است که باید از پروتکل‌های ISTA استخراج شود. نکته آخر این که این برنامه برای سبز شدن در مزرعه هم به شکل مشابهی قابل استفاده است.

نحوه استفاده از برنامه

ابتدا لازم است که در بخش Inputs (ورودی اطلاعات)، در مقابل سلول Record. No تعداد یادداشت‌برداری‌ها (شمارش) ثبت شود. در زیرعنوان T، باید زمان‌های نمونه‌برداری ثبت شوند. این زمان‌ها معمولاً بر مبنای ساعت بوده و در ادامه باید در مقابل هر زمان، درصد تجمعی بذور جوانه‌زده مربوطه در زیر بخش (G)، ثبت شود (البته زمان می‌تواند بر حسب روز، هفته یا ماه هم باشد و واحد زمان هر چه انتخاب شود به‌همین ترتیب واحد D نیز همان خواهد بود). یادداشت‌برداری و ثبت داده‌ها تا رسیدن به مقدار ثابت درصد بذور جوانه‌زده توسط محقق در آزمایش ثبت و در برنامه وارد می‌شود. حال می‌توان بر روی دکمه Go برنامه کلیک کرد، با انجام این عمل در سمت راست صفحه (sheet)، خروجی‌ها ثبت می‌شود. در بخش خروجی مقدار جوانه‌زنی حداکثر (Gmax)، سرعت جوانه‌زنی (R50)، یکنواختی جوانه‌زنی (GU) و مقادیر D05، D10، D50 و D90 توسط برنامه محاسبه و ارائه می‌گردد. در این برنامه، نمودار درصد تجمعی جوانه‌زنی در مقابل زمان بعد از کاشت نیز رسم می‌شود. در زیر به‌طور خلاصه ورودی و خروجی‌های این برنامه در جدول (۱) و (۲) نشان داده شده است.

جدول ۱- لیست متغیرهای ورودی‌های برنامه **Germin**

ورودی (Input)	تعریف
Record No	تعداد یادداشت‌برداری‌ها (شمارش)
T	زمان‌های نمونه‌برداری بر حسب ساعت، روز و ...
G	درصد بذور جوانه‌زده تجمعی مربوط به زمان موردنظر

جدول ۲- لیست متغیرهای خروجی‌های ارائه شده توسط برنامه Germin

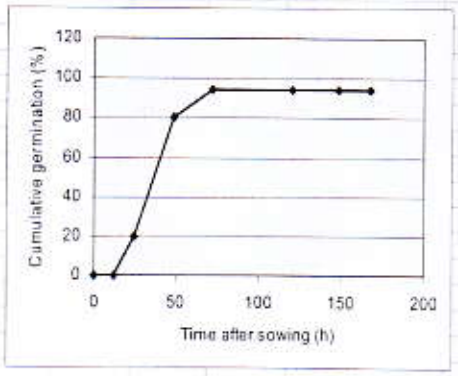
خروجی (Output)	تعریف
Gmax	حداکثر درصد مقدار جوانه‌زنی
R50	سرعت جوانه‌زنی
GU	یکنواختی جوانه‌زنی
D05	زمان لازم از کاشت تا رسیدن به ۵ درصد حداکثر جوانه‌زنی
D10	زمان لازم از کاشت تا رسیدن به ۱۰ درصد حداکثر جوانه‌زنی
D50	زمان لازم از کاشت تا رسیدن به ۵۰ درصد حداکثر جوانه‌زنی
D90	زمان لازم از کاشت تا رسیدن به ۹۰ درصد حداکثر جوانه‌زنی
D95	زمان لازم از کاشت تا رسیدن به ۹۵ درصد حداکثر جوانه‌زنی

به‌طور مثال در شکل (۸) نمونه‌ای از محاسبه متغیرهای نام برده شده در بالا به کمک این برنامه برای بذور گیاه گندم ارائه شده است:

شکل ۸ - نمایی از پنجره اصلی برنامه Germin

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L
1	INPUTS:											
2	Record No. =	8			A program to calc germination characteristics. AS at GUASNR, 2004.							
3												
4	T	G			OUTPUTS:							
5	0	0			Gmax	R50	GU	D05	D10	D50	D90	D95
6	12	0			94.0	0.029	38.25	14.82	17.64	34.80	55.89	63.94
7	24	20										
8	48	80										
9	72	94										
10	120	94										
11	148	94										
12	168	94										
13												
14												
15												
16												
17												
18												
19												
20												
21												
22												
23												
24												
25												
26												
27												
28												
29												

Go



برنامه GDD_calc

مقدمه و قابلیت‌های برنامه

هر گیاه برای گذراندن هر یک از مراحل رشد نیاز به مقداری درجه حرارت دارد که بالاتر از صفر سانتی است که به آن درجه – روز – رشد یا G.D.D[1] گفته می‌شود. در بسیاری از مطالعات لازم است که از مقدار درجه روز رشد برای گیاه مورد نظرمان در طول فصل رشد مطلع باشیم. آگاهی از درجه روز رشد مخصوصاً در مطالعات فنولوژیک و همچنین مطالعاتی که روند فرایندهای فیزیولوژیک گیاه در مقابل زمان بررسی می‌شود بسیار حائز اهمیت است. درجه روز بر اساس روش سنتی از طریق فرمول زیر محاسبه می‌شود.

$$GDD = \sum_{i=1}^{n} \left(\left(\frac{T_{max} - T_{min}}{2} \right) - T_b \right) \quad (۳)$$

که در آن T_{max} و T_{min} به‌ترتیب دمای حداقل و حداکثر روزانه، T_b دمای پایه و n تعداد روز موردنظر هستند. GDD یکی از اولین معیارهایی است که برای کمی کردن فنولوژی پیشنهاد شد. در روش سنتی اگر دمای حداقل کمتر از دمای پایه باشد، دما را در فرمول مساوی دمای پایه قرار می‌دهند و به‌همین‌ترتیب اگر دمای حداکثر بالاتر از حد معینی باشد، دما را برابر با مقدار آن حد معین قرار می‌دهند. معمولاً در گیاهان سرما دوست این حد معین ۳۰ درجه سانتی‌گراد و در گیاهان گرمادوست ۳۵ درجه سانتی‌گراد است. از GDD به‌صورت تجمعی استفاده می‌کنند یعنی GDD روزهای مختلف را با هم جمع می‌زنند. وقتی GDD تجمعی به حد معینی رسید ممکن است مرحله نموی معینی رخ دهد. مثلاً در مورد گندم فرض کنید که GDD از کاشت تا گلدهی برابر با ۱۴۰۰ درجه-روز-رشد باشد، این بدین‌مفهوم است که وقتی GDD تجمعی از زمان کاشت به ۱۴۰۰ رسید گندم وارد مرحله گلدهی می‌شود.

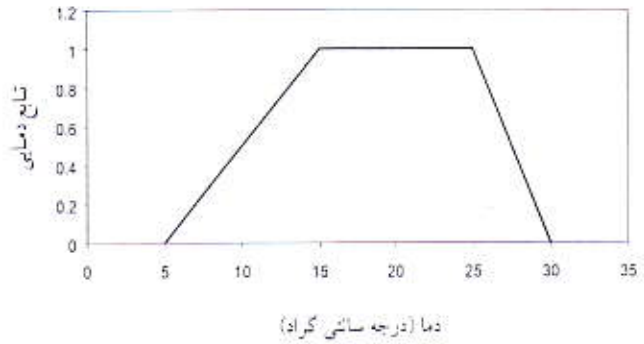
ایراد اصلی محاسبه GDD در روش سنتی این است که در روش سنتی تأثیر دماهای فوق مطلوب به نحو مناسب اعمال نمی‌شود، به این معنی که در این روش حتی اگر درجه حرارت محیط بسیار بالاتر از حد مطلوب برای نمو گیاه بوده و باعث کاهش نمو در گیاه شود، روش سنتی قادر به محاسبه این کاهش سرعت نمو نیست. در روش اصلاح شده که اساس کار این برنامه نیز می‌باشد از یک ضریب f برای محاسبه درجه روز رشد استفاده می‌شود. f یک ضریب ثابت بین صفر و یک می‌باشد که از منحنی واکنش گیاه به دما استخراج می‌شود. برای استفاده از روش اصلاح شده، به دماهای

1- Growing degree day

کاردینال برای هر گیاه نیاز است که باید برای هر گیاه جداگانه از منابع استخراج شود. f در واقع سرعت نمو نسبی است که در دمای مطلوب برای رشد گیاه این مقدار برابر با یک بوده و در حد فاصل دمای پایه و سقف این ضریب عددی بین ۰ تا ۱ خواهد بود (در دماهای بالاتر از دمای سقف و پایینتر از دمای پایه مقدار آن برابر با صفر خواهد بود).

$$GDD = (Tp\text{-}Tb) \times f \qquad (۵)$$

معادله (۵) چگونگی محاسبه GDD به روش اصلاح شده را نشان می‌دهد که در آن Tp دمای مطلوب، Tb دمای پایه و f ضریبی است که با استفاده از منحنی واکنش گیاه به دما استخراج می‌شود. در شکل زیر نمونه‌ای از رابطه سرعت نمو نسبی (f) در برابر دما در یک گیاه فرضی نشان داده شده است. همان‌گونه که در شکل مشخص است دمای پایه در این گیاه ۵ درجه سانتی‌گراد، دمای مطلوب تحتانی ۱۵ درجه، دمای مطلوب فوقانی ۲۵ درجه و دمای سقف برابر با ۳۰ درجه سانتی‌گراد می‌باشد. با توجه به توضیحات بالا مقدار f در فاصله بین دمای مطلوب تحتانی و فوقانی برابر با یک و در حد فاصل دماهای مطلوب تا دمای پایه یا سقف عددی بین صفر تا یک خواهد بود (برای توضیح بیشتر راجع به محاسبه GDD بر مبنای منحنی واکنش به دما و دماهای کاردینال گیاهان زراعی مختلف به سلطانی (۱۳۸۸ب) مراجعه کنید).



شکل ۹- رابطه سرعت نمو نسبی (f) در برابر دما در یک گیاه فرضی (سلطانی، ۱۳۸۸ب)

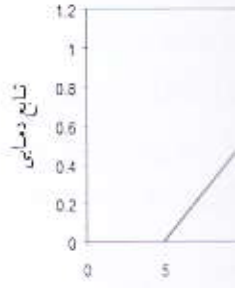
نحوه استفاده از برنامه

برای استفاده از این برنامه لازم است که ابتدا آمار هواشناسی روزانه و اطلاعات مربوط به آزمایش در بخش ورودی داده‌ها در صفحه اول وارد شود. این اطلاعات به‌ترتیب شامل سال فارسی (Year F)، ماه فارسی (Month F)، روز سال فارسی (Day F)، سال میلادی (Year)، روز سال

از منابع استخراج شود. f در واقع
مقدار برابر با یک بوده و در حد
ود (در دماهای بالاتر از دمای سقف

GD

ا نشان می‌دهد که در آن Tp دمای
واکنش گیاه به دما استخراج می‌شود.
در یک گیاه فرضی نشان داده شده
اه ۵ درجه سانتی‌گراد، دمای مطلوب
برابر با ۳۰ درجه سانتی‌گراد می‌باشد.
حتانی و فوقانی برابر با یک و در حد
یک خواهد بود (برای توضیح بیشتر
کاردینال گیاهان زراعی مختلف به



ه فرضی (سلطانی، ۱۳۸۸ب)

روزانه و اطلاعات مربوط به آزمایش
به‌ترتیب شامل سال فارسی (Year
. سال میلادی (Year)، روز سال

(DOY)، درجه حرارت حداکثر (TMAX)، درجه حرارت حداقل (TMIN)، مقدار بارندگی (RAIN) و تعداد ساعات آفتابی (SUNH) می‌باشد (وارد کردن سال میلادی، روز سال، مقدار بارندگی و تعداد ساعات آفتابی در اطلاعات هواشناسی روزانه در این برنامه الزامی نمی‌باشد ولی در صورتی که نخواهیم داده‌های مربوط به این بخش‌ها را در برنامه وارد کنیم باید به جای آنها در سلول‌های خالی عدد ۰ قرار دهیم). بعد از وارد کردن اطلاعات مربوط به داده‌های بخش هواشناسی لازم است که بخش ورودی این برنامه پر شود. در مقابل گزینه سال فارسی در بخش ورودی اطلاعات برنامه (Input)، باید سال، ماه روز شروع محاسبات را وارد کنیم. در مقابل گزینه دوره زمانی (Duration) برای برنامه مشخص می‌کنیم که محاسبه GDD را برای چه دوره زمانی انجام دهد بعبارت خلاصه ما پس از انجام موارد نام برده در واقع تاریخ شروع محاسبه GDD را براساس سال، ماه و روز مشخص کرده و طول مدت مورد نظر برای محاسبه GDD را تعیین می‌کنیم). برای مثال در شکل (۱۰) که نمونه‌ای از صفحه ورودی برنامه در برنامه اکسل می‌باشد از برنامه خواسته شده است که محاسبه درجه روز رشد را از ۲۶ آذر ماه سال ۱۳۸۴شروع کند و این محاسبه برای ۱۵ روز انجام شود. (لازم به یادآوری است که سال، ماه و روزی را که در این بخش برای محاسبه GDD به برنامه می‌دهیم باید قبلاً اطلاعات مربوط به داده‌های هواشناسی روزانه آن را در زیر همین بخش در برنامه وارد کرده باشیم).

همچنین باید اطلاعات مربوط به دماهای کاردینال برای گیاه مورد نظر را به برنامه بدهیم تا براساس این اطلاعات به همراه اطلاعات هواشناسی که قبلاً به برنامه ارائه شده است به محاسبه GDD تجمعی بپردازد. در این بخش در مقابل گزینه Base Temp، مقدار دمای پایه برای گیاه مورد نظر؛ در مقابل گزینه Lower optimum Temp، دمای مطلوب تحتانی؛ در مقابل گزینه Upper optimum temp، مقدار دمای مطلوب فوقانی و در نهایت در برابر گزینه Ceiling temp مقدار دمای سقف را برای گیاه مورد نظر که همگی بر اساس درجه سانتی‌گراد می‌باشند، وارد کنیم. به‌طور مثال در نمونه برنامه ارائه شده در شکل (۱۰) مقادیر این دماها به‌ترتیب برابر با ۰، ۲۶، ۲۶ و ۳۵ درجه سانتی‌گراد می‌باشد. خوانندگان برای دستیابی به دماهای کاردینال گیاهان می‌توانند به کتاب مدل‌سازی ریاضی در گیاهان زراعی (سلطانی، ۱۳۸۸ب) مراجعه نمایند. بعد از این مرحله می‌توان با کلیک بر گزینه Run! برنامه را راه‌اندازی کرد و مقدار درجه روز تجمعی را در زیر Output مشاهده کرد. لازم به ذکر است که محاسبه درجه روز رشد به تفکیک روز نیز در صفحه دوم (sheet2) برنامه قابل مشاهده می‌باشد ولی باید به یاد داشت که قبل از هر محاسبه جدید، باید این صفحه را از اطلاعات قبلی پاک کرد. در شکل (۱۰) نمونه‌ای از صفحه ورودی داده‌ها برای محاسبه مقدار درجه روز رشد

تجمعی می‌باشد. همانگونه که در شکل مشاهده می‌کنید مقدار GDD تجمعی برای این گیاه در یک دوره ۱۵ روزه برابر با ۱۴۸ بدست آمده است. همچنین در شکل (۱۱) صفحه دوم (sheet 2) همین برنامه نشان داده شده است که به‌صورت روزانه به محاسبه درجه روز رشد برای هر روز در همین دوره ۱۵ روزه پرداخته است. در صفحه خروجی متغیر TT زمان حرارتی تجمعی و DTT نیز زمان حرارتی روزانه (درجه سانتی‌گراد روز) هستند. (نسخه این برنامه روی CD کامل تر بوده و قادر به محاسبه مقدار درجه روز رشد در سه گام زمانی روزانه، سه ساعته و یک ساعته است)

شکل ۱۰- نمونه محاسبات انجام شده در برنامه GDD_calc

	A	B	C	D	E	F	G	H	I
1	**A program to calc daily and cumulative thermal time (GDD) from temperatures.**								
2	**AS at GUASNR, May 2009**								
3									
4	**INPUTS:**		0	< Base temp. (oC)					
5			26	< Lower optimum temp. (oC)					
6	1384	< Year_F	26	< Upper optimal temp. (oC)					
7	9	< Month_F	35	< Ceiling temp. (oC)					
8	26	< Day_F							
9	15	< Duration							
10			**NOTE!**						
11			1. YearF, MontF, DayF, TMAX and TMIN are necessary columns.						
12	**OUTPUT:**		2. Fill other columns with 0 if you have no data.						
13			3. Find results in Sheet2						
14	148	< Cum. GDD	4. Clear Sheet2 before run.						
15									
16			Run						
17									
18	**YearF**	**MontF**	**DayF**	**Year**	**DOY**	**TMAX**	**TMIN**	**RAIN**	**SUNH**
19	1384	9	23	2005	347	11.4	7.2	0	1.8
20	1384	9	24	2005	348	14.2	2.4	0	8.2
21	1384	9	25	2005	349	25.4	5.4	0	3.2
22	1384	9	26	2005	350	26.5	14.2	0	3.0
23	1384	9	27	2005	351	22.4	11.6	0	8.4
24	1384	9	28	2005	352	22.6	6.4	0	8.8
25	1384	9	29	2005	353	21.7	6.4	0	7.6
26	1384	9	30	2005	354	15.8	5.8	0	4.5
27	1384	10	1	2005	355	14	3	0	5.8
28	1384	10	2	2005	356	15	6.2	0	5.5
29	1384	10	3	2005	357	18	8.8	0	1.9
30	1384	10	4	2005	358	13.7	5.6	4.5	1.9
31	1384	10	5	2005	359	17.2	9.6	103.1	3.8
32	1384	10	6	2005	360	10.4	6.8	8.6	0.0
33	1384	10	7	2005	361	10	1.6	0	7.4

GDD تجمعی برای این گیاه در یک
(۱۱) صفحه دوم (sheet 2) همین
حه روز رشد برای هر روز در همین
ن حرارتی تجمعی و DTT نیز زمان
ه روی CD کامل تر بوده و قادر به
ه و یک ساعته است)

	A	B	C	D	E	F	G	H
1								
2	**YearF**	**MonthF**	**DayF**	**DAP**	**TMAX**	**TMIN**	**DTT**	**???**
3	1384	9	27	1	22.4	11.6	17.0	??
4	1384	9	28	2	22.6	6.4	14.5	??
5	1384	9	29	3	21.7	6.4	14.1	??
6	1384	9	30	4	15.8	5.8	10.8	??
7	1384	10	1	5	14	3	8.5	??
8	1384	10	2	6	15	6.2	10.6	??
9	1384	10	3	7	18	8.8	13.4	??
10	1384	10	4	8	13.7	5.6	9.7	??
11	1384	10	5	9	17.2	9.6	13.4	???
12	1384	10	6	10	10.4	6.8	8.6	???
13	1384	10	7	11	10	1.6	5.8	???
14	1384	10	8	12	10.6	0.6	5.6	???
15	1384	10	9	13	10.6	0.4	5.5	???
16	1384	10	10	14	9.6	2.6	6.1	???
17	1384	10	11	15	10.2	-1.2	4.5	???
18								
19								

	A	B	C
1	**A program to calc daily and cum**		
2	**AS at GUASNR, May 2009**		
3			
4	**INPUTS:**		
5			
6	1384	< Year_F	
7	9	< Month_F	
8	26	< Day_F	
9	15	< Duration	
10			NO
11			1.
12	**OUTPUT:**		2.
13			3.
14	148	< Cum. GDD	4.
15			
16			
17			
18	**YearF**	**MontF**	**Da**
19	1384	9	
20	1384	9	
21	1384	9	
22	1384	9	
23	1384	9	
24	1384	9	
25	1384	9	
26	1384	9	
27	1384	10	
28	1384	10	
29	1384	10	
30	1384	10	
31	1384	10	
32	1384	10	
33	1384	10	

شکل ۱۱- نمونه محاسبات انجام شده در صفحه دوم در برنامه GDD_calc.

برنامه int_PAR

مقدمه

گاهی اوقات در انجام تحقیقات زراعی نیاز می‌باشد مقادیر روزانه شاخص سطح برگ و میزان تشعشع خورشیدی دریافت شده محاسبه شود. برای مثال در آزمایش‌هایی که با هدف محاسبه کارایی مصرف نور (RUE) انجام می‌شوند، لازم است میزان تشعشع خورشیدی دریافت شده روزانه محاسبه شود. همچنین در برخی موارد لازم است میزان فصلی دریافت تشعشع خورشیدی و نسبت آن به کل تشعشع خورشیدی رسیده تعیین گردد تا مشخص شود گیاه زراعی مورد نظر چه نسبتی از این منبع محیطی را به دام انداخته است. این برنامه با استفاده از مقادیر اندازه‌گیری شده شاخص سطح برگ و ضریب خاموشی گیاه به همراه اطلاعات هواشناسی مشتمل بر تعداد ساعات آفتابی به محاسبه مقدار روزانه شاخص سطح برگ و مقدار دریافت تشعشع خورشیدی به‌صورت روزانه و تجمعی می‌پردازد (مدل‌سازی ریاضی در گیاهان زراعی، ۱۳۸۸ب؛ سلطانی و همکاران، ۲۰۰۶a؛ راحمی کاریزکی و همکاران، ۱۳۸۶؛ مداح و همکاران؛ ۱۳۸۷).

قانون لامبرت- بیر دریافت تشعشع خورشیدی توسط کانوپی را توصیف می‌کند:

$$IPAR = PAR \times (1-exp(-k \times LAI)) \quad (۶)$$

که در آن PAR تشعشع فعال فتوسنتزی در بالای کانوپی، LAI شاخص سطح برگ، K ضریب خاموشی تشعشع و IPAR[1] تشعشع فعال فتوسنتزی دریافت شده توسط کانوپی می‌باشد. بنابراین مقدار نفوذ تشعشع خورشید در یک جامعه گیاهی تحت تأثیر شاخص سطح برگ و آرایش آنها در کانوپی قرار می‌گیرد (فلنت و همکاران، ۱۹۹۶؛ مانسی وساپکی، ۱۹۵۳).

نحوه استفاده از برنامه

این برنامه از چهار صفحه (sheet) جداگانه تشکیل شده است. برای راه اندازی این برنامه و محاسبه مقادیر روزانه شاخص سطح برگ و تشعشع خورشیدی دریافت شده به مقادیر شاخص سطح برگ اندازه‌گیری شده در چند نوبت و آمار هواشناسی روزانه احتیاج می‌باشد. در صفحه اول (sheet1) این برنامه باید ورودی‌های برنامه را تعریف کرد. در جدول (۳) این متغیرها به همراه توضیح مختصری در مورد آنها ارائه شده‌اند.

1- Intercepted PAR

جدول ۳ - لیست متغیرهای ورودی برنامه int_PAR در صفحه اول (sheet1)

ورودی (Input)	تعریف
Pyear	سال کاشت
Pmonth	ماه کاشت
Pday	روز کاشت
LAI data No	تعداد اندازه‌گیری‌های شاخص سطح برگ
X DUR	طول فصل کشت
Latitude	عرض جغرافیایی (برحسب درجه)
Angstrom A	مقدار ضریب آنگستروم A
Angstrom B	مقدار ضریب آنگستروم B
KPAR	مقدار ضریب خاموشی براساس تشعشع فعال فتوسنتزی

مقدار ضریب خاموشی ۰/۶۵ در این برنامه برای گیاه گندم در نظر گرفته شده است. در زیر نمایی از صفحه اول این برنامه که برای محاسبه مقادیر روزانه شاخص سطح برگ و دریافت تشعشع خورشیدی توسط کانوپی برای گیاه گندم رقم زاگرس می‌باشد را ملاحظه می‌کنید.

شکل ۱۲- نمونه ورودی جهت انجام محاسبات در برنامه intPAR

	A	B	C	D	E	F	G
1	**A program to calc daily values of LAI and PAR interception.**						
2	**Measurments of LAI and weather data are required.**						
3	**AS at GUASNR, September 2009.**						
4							
5							
6	**INPUTS:**						
7	pyear =	1384		1. LAI data in Sheet 2			
8	pmonth =	9		2. Weather data in Sheet 3			
9	pday =	25		3. Results in Sheet 4			
10	LAI data no. =	14		**Clear Sheet4 before run.**			
11	xDUR =	165					
12	Latitude (o) =	36.85					
13	Angstrom A =	0.24					
14	Angstrom B =	0.517					
15	KPAR =	0.65					
16							
17							

Run

در صفحه دوم این برنامه از ردیف ۱۶ به بعد در این صفحه باید مقادیر واقعی شاخص سطح برگ را که در طول فصل رشد به‌دست آمده است (مثلاً با استفاده از دستگاه سنجش سطح برگ یا با استفاده از دستگاه‌های پرتابل) در مقابل گزینه‌های متناظر روز بعد از کاشت (DAP) وارد شوند. در زیر تصویری از صفحه دوم این برنامه را که در مقابل سلول های DAP (روز بعد از کاشت)، مقادیر واقعی و حاصل از آزمایش مقدار سطح برگ وارد شده است، نشان داده شده است. به طور مثال در روز ۱۵ بعد از کاشت (متقارن با روز سبز شدن با توجه به اطلاعات بالای همین صفحه در مورد گندم مورد آزمایش) مقدار LAI برابر با صفر بوده و در روز ۱۲۹ بعد از کاشت گیاه گندم به بالاترین شاخص سطح برگ در طول دوره رشد خود دست یافته است (لازم به ذکر است در این بخش باید اطلاعات مربوط به سطح برگ تا زمان رسیدگی برداشت در برنامه وارد شوند حتی اگر مقدار عددی آن‌ها صفر باشد تا بدین ترتیب برآوردهای منطقی در مورد نسبت دریافت تشعشع خورشیدی بدست آید).

شکل ۱۳- نحوه وارد کردن داده‌ای مربوط به LAI در صفحه دوم برای گیاه گندم مورد آزمایش در گرگان در برنامه intPAR

	A	B	C	D	E	F
1	**LAI data: data should be started from row 16**					
2						
3						
4						
5						
6						
7						
8						
9						
10						
11	**DAP**	**lai**				
16	15	0.00				
17	62	0.30				
18	72	0.49				
19	82	0.94				
20	92	2.03				
21	102	2.85				
22	112	3.95				
23	122	4.19				
24	129	4.42				
25	136	2.70				
26	143	1.23				
27	150	0.97				
28	157	0.29				
29	164	0.00				
30						

در صفحه (۳) نیز مانند سایر برنامه‌هایی که برای محاسبه خروجی‌های خود به اطلاعات هواشناسی نیاز دارند باید مقادیر متغیرهای هواشناسی روزانه برای دوره آزمایش مورد نظر وارد شوند. نحوه وارد کردن اطلاعات بخش هواشناسی همانگونه است که در برنامه srad_calc توضیح داده شده است و از توضیح مکرر آن در این بخش خودداری می‌شود. شکل (۱۴) نمونه‌ای از صفحه خروجی این برنامه شامل محاسبات روزانه را نشان می‌دهد. متغیرهای خروجی در صفحه (۴) این برنامه به‌ترتیب بعد از سال، ماه و روز فارسی عبارتند از: روز بعد از کاشت (DAP)، شاخص سطح برگ که در هر سلول مقدار روزانه آن نشان داده شده است (LAI)، کل تشعشع خورشیدی رسیده به صورت روزانه (SRAD)، تشعشع فعال فتوسنتزی رسیده روزانه (PAR)، تشعشع PAR دریافت شده روزانه (IPAR) و مقادیر تجمعی مقدار PAR دریافت شده.

شکل ۱۴- نمونه صفحه خروجی (sheet 4) از برنامه int_PAR

	A	B	C	D	E	F	G	H	I
1									
2	YearF	MonthF	DayF	DAP	LAI	SRAD	PAR	IPAR	CUMIPAR
3	1384	9	26	1	0.00	6.28	3.14	0.00	0.0
4	1384	9	27	2	0.00	10.84	5.42	0.00	0.0
5	1384	9	28	3	0.00	11.17	5.59	0.00	0.0
6	1384	9	29	4	0.00	10.15	5.08	0.00	0.0
7	1384	9	30	5	0.00	7.53	3.76	0.00	0.0
8	1384	10	1	6	0.00	8.63	4.31	0.00	0.0
9	1384	10	2	7	0.00	8.37	4.19	0.00	0.0
10	1384	10	3	8	0.00	5.33	2.67	0.00	0.0
11	1384	10	4	9	0.00	5.34	2.67	0.00	0.0
12	1384	10	5	10	0.00	6.95	3.48	0.00	0.0
13	1384	10	6	11	0.00	3.74	1.87	0.00	0.0
14	1384	10	7	12	0.00	10.03	5.02	0.00	0.0
15	1384	10	8	13	0.00	11.32	5.66	0.00	0.0
16	1384	10	9	14	0.00	9.98	4.99	0.00	0.0
17	1384	10	10	15	0.00	7.95	3.98	0.00	0.0
18	1384	10	11	16	0.01	10.71	5.36	0.02	0.0
19	1384	10	12	17	0.01	11.00	5.50	0.04	0.1
20	1384	10	13	18	0.02	10.17	5.08	0.06	0.1
21	1384	10	14	19	0.03	12.27	6.13	0.10	0.2
22	1384	10	15	20	0.03	11.44	5.72	0.12	0.3
23	1384	10	16	21	0.04	9.66	4.83	0.12	0.5
24	1384	10	17	22	0.04	9.96	4.98	0.14	0.6
25	1384	10	18	23	0.05	7.12	3.56	0.11	0.7
26	1384	10	19	24	0.06	3.91	1.95	0.07	0.8
27	1384	10	20	25	0.06	3.93	1.97	0.08	0.9
28	1384	10	21	26	0.07	4.66	2.33	0.10	1.0
29	1384	10	22	27	0.08	6.81	3.41	0.16	1.1
30	1384	10	23	28	0.08	7.20	3.60	0.19	1.3
31	1384	10	24	29	0.09	4.03	2.01	0.11	1.4
32	1384	10	25	30	0.09	4.05	2.03	0.12	1.6
33	1384	10	26	31	0.10	5.07	2.54	0.16	1.7
34	1384	10	27	32	0.11	11.71	5.86	0.39	2.1
35	1384	10	28	33	0.11	12.33	6.16	0.44	2.5
36	1384	10	29	34	0.12	11.67	5.83	0.44	3.0
37	1384	10	30	35	0.13	12.10	6.05	0.48	3.5
38	1384	11	1	36	0.13	7.46	3.73	0.31	3.8
39	1384	11	2	37	0.14	10.58	5.29	0.46	4.2
40	1384	11	3	38	0.15	9.43	4.72	0.42	4.7

سبه خروجی‌های خود به اطلاعات
ی دوره آزمایش مورد نظر وارد شوند.
ه در برنامه srad_calc توضیح داده
شود. شکل (۱۴) نمونه‌ای از صفحه
متغیرهای خروجی در صفحه (۴) این
عد از کاشت (DAP)، شاخص سطح
LA)، کل تشعشع خورشیدی رسیده به
زانه (PAR)، تشعشع PAR دریافت
ده.

برنامه RLY_calc

مقدمه

هدف اصلی این برنامه محاسبه و آنالیز تولید در شرایط تشعشع محدود می‌باشد. شرایط تشعشع محدود شرایطی است که در آن تمام عوامل محیطی مانند آب و عناصر غذایی برای گیاه زراعی در حد مطلوب بوده و گیاه از لحاظ این منابع دچار محدودیتی نمی‌باشد. در این شرایط توان تولید تحت تأثیر تشعشع و دی‌اکسیدکربن به‌عنوان منبع محیطی است و دما نقش تعدیل کننده دارد. تولید تشعشع محدود به توانایی گیاه زراعی در دریافت و استفاده از تشعشع خورشیدی بستگی دارد و می‌توان آن را با معادله زیر توصیف کرد:

$$Y = ISR \times F \times RUE \times HI \qquad (۲)$$

که در آن Y عملکرد (برحسب گرم در مترمربع)، ISR کل تشعشع خورشیدی رسیده به مزرعه (PAR) از کاشت تا برداشت بر حسب مگاژول در متر مربع، F متوسط فصلی کسر دریافت تشعشع توسط جامعه گیاهی، RUE کارآیی استفاده از تشعشع (PAR) بر حسب گرم بر مگاژول و HI شاخص برداشت هستند. از معادله بالا برای آنالیز تولید در تحقیقات بسیار اندک استفاده شده است. این برنامه مقدار ISR (PAR تجمعی رسیده) و مقدار F یعنی نسبت تشعشع PAR دریافت شده به رسیده را محاسبه و در قسمت خروجی (Output) درج می‌کند. RUE توسط محققان از تقسیم کل بیوماس تولید شده (عملکرد بیولوژیک) بر تشعشع PAR دریافت شده تجمعی با واحد گرم بر مگاژول قابل محاسبه است. عملکرد (Y) و شاخص برداشت (HI) نیز به طور معمول در اکثر آزمایش ها اندازه گیری می‌شوند. بدین ترتیب، با داشتن چندین نوبت اندازه گیری LAI، محققان می‌توانند با کمک این برنامه و چند محاسبه ساده، اجزای معادله در شرایط تشعشع محدود را بدست آورند و از آن برای مقایسه تیمارهای آزمایشی استفاده نمایند، یعنی آنالیز و تجزیه و تحلیل تیمارها در قالب این معادله انجام می‌گیرد و دلایل اختلاف عملکرد تیمارها مشخص می‌شوند. سلطانی و قلی پور (۱۳۸۵) در بررسی اثر تغییر اقلیم بر عملکرد نخود در شرایط آبی از این معادله استفاده نمودند.

نحوه استفاده از برنامه

این برنامه از چهارصفحه جداگانه تشکیل شده است. برای راه‌اندازی این برنامه مقادیر شاخص سطح برگ اندازه‌گیری شده در زمان‌های متعدد در طول فصل رشد و آمار هواشناسی احتیاج می‌باشد.

در صفحه اول (sheet 1) این برنامه باید ورودی‌های برنامه را تعریف کرد. در جدول (۴) این متغیرها به همراه توضیح مختصری در مورد آنها ارائه شده‌اند.

جدول ۴- لیست متغیرهای ورودی برنامه RLY_calc در صفحه اول (sheet1)

ورودی (Input)	توضیح
Pyear	سال کاشت
Pmonth	ماه کاشت
Pday	روز کاشت
LAI data No	تعداد اندازه‌گیری‌های شاخص سطح برگ
X DUR	طول فصل کشت
Latitude	عرض جغرافیایی (برحسب درجه)
Angstrom A	مقدار ضریب آنگستروم A
Angstrom B	مقدار ضریب آنگستروم B
KPAR	مقدار ضریب خاموشی براساس تشعشع فعال فتوسنتزی

مقدار ضریب خاموشی ۰/۶۵ در این برنامه برای گیاه گندم در نظر گرفته شده است. در زیر نمایی از صفحه اول این برنامه که برای محاسبه مقادیر روزانه شاخص سطح برگ و دریافت تشعشع خورشیدی توسط کانوپی برای گیاه گندم رقم زاگرس می‌باشد را ملاحظه می‌کنید. در صفحه دوم (sheet 2) باید داده‌های مربوط به اندازه‌گیری LAI را وارد کرد. همچنین این برنامه نیازمند داده‌های هواشناسی روزانه نیز می‌باشد که باید آنها را در صفحه سوم وارد کرد. نتایج در نهایت در صفحه چهارم ارائه می‌شود.

شکل ۱۵- صفحه اول (sheet 1) برنامه RLY_calc برای روز ۲۱۷ در شهر گرگان.

	A	B	C	D	E	F	G	H	I
1	A program to calc daily values of LAI and PAR interception and seasonal interception								
2	Measurments of LAI and weather data are required.								
3	AS at GUASNR, September 2009.								
4									
5	INPUTS:					OUTPUTS:			
6	pyear =		1384			CUMPAR =	1059.2		
7	pmonth =		9			CUMIPAR =	484.6		
8	pday =		25			Fi =	0.458		
9									
10	LAI data no. =		14						
11	xDUR =		165						
12									
13	Latitude (o) =		36.85						
14	Angstrom A =		0.24						
15	Angstrom B =		0.517			1. LAI data in Sheet2			
16						2. Weather data in Sheet3			
17	KPAR =		0.65			3. Results in Sheet4			
18						Clear Sheet4 before run.			
19									

Run

در صفحه دوم این برنامه از ردیف ۱۶ به بعد در این صفحه باید مقادیر واقعی شاخص سطح برگ را که در طول فصل رشد بدست آورده‌ایم (مثلاً با استفاده از دستگاه سنجش سطح برگ یا با استفاده از دستگاه های پرتابل) در مقابل گزینه های متناظر روز بعد از کاشت (DAP) وارد کنیم. در شکل ۱۶، قسمتی از صفحه دوم این برنامه را که در مقابل سلول های DAP (روز بعد از کاشت)، مقادیر واقعی و حاصل از آزمایش مقدار سطح برگ وارد شده است، ملاحظه می‌شود. به طور مثال در روز ۱۵ بعد از کاشت (متقارن با روز سبز شدن با توجه به اطلاعات بالای همین صفحه در مورد گندم مورد آزمایش) مقدار LAI برابر با صفر بوده و در روز ۱۲۹ بعد از کاشت گیاه گندم به بالاترین شاخص سطح برگ در طول دوره رشد خود دست یافته است.

شکل ۱۶- نحوه وارد کردن داده‌های مربوط به LAI در صفحه دوم برای گیاه گندم مورد آزمایش در گرگان در برنامه RLY_calc

	A	B	C	D	E	F
1	**LAI data: data should be started from row 10**					
2						
3						
4						
5						
6						
7						
8						
9						
10	**DAP**	**lai**				
11	15	0.00				
12	62	0.30				
13	72	0.49				
14	82	0.94				
15	92	2.03				
16	102	2.85				
17	112	3.95				
18	122	4.19				
19	129	4.42				
20	136	2.70				
21	143	1.23				
22	150	0.97				
23	157	0.29				
24	164	0.00				
25						

همانگونه که قبلاً اشاره شد در صفحه سوم این برنامه باید داده‌های هواشناسی روزانه مربوط به سال آزمایش را وارد کنیم. این اطلاعات به‌ترتیب شامل سال فارسی (Year F)، ماه فارسی (Month F)، روز سال فارسی (Day F)، سال میلادی (Year)، روز سال (DOY)، درجه حرارت حداکثر (TMAX)، درجه حرارت حداقل (TMIN)، مقدار بارندگی (RAIN) و درصد ساعات آفتابی (SUNH) می‌باشد. نحوه وارد کردن داده‌ها مشابه با روشی است که برای برنامه GDD_calc بیان شد. بعد از وارد کردن اطلاعات مربوط به داده‌های بخش هواشناسی باید به صفحه اول برنامه رفته و بر روی دکمه Run کلیک کنیم. نتایج خلاصه در صفحه اول این برنامه قابل رویت خواهد بود. این برنامه نتایج روزانه را در صفحه چهار خود ارائه می‌دهد. در صفحه اول مقادیر تشعشع فعال فتوسنتزی تجمعی رسیده و دریافت شده در طول فصل رشد ارائه می‌شوند و نیز مقدار Fi فصلی ارائه

برای گیاه گندم مورد آزمایش در گرگان در

	A
1	**LAI data: data should be star**
2	
3	
4	
5	
6	
7	
8	
9	
10	**DAP**
11	15
12	62
13	72
14	82
15	92
16	102
17	112
18	122
19	129
20	136
21	143
22	150
23	157
24	164
25	

داده‌های هواشناسی روزانه مربوط به
سی (Year F)، ماه فارسی (Month
سال (DOY)، درجه حرارت حداکثر
ی (RAIN) و درصد ساعات آفتابی
ست که برای برنامه GDD_calc بیان
ناسی باید به صفحه اول برنامه رفته و
این برنامه قابل رویت خواهد بود. این
فحه اول مقادیر تشعشع فعال فتوسنتزی
ی‌شوند و نیز مقدار Fi فصلی ارائه

می‌گردد. جدول (۵) متغیرهای خروجی این برنامه در صفحه (۴) را به همراه لیست متغیرهای خروجی در صفحه اول نشان می‌دهد.

جدول ۵- لیست متغیرهای خروجی برنامه RLY_calc در صفحه اول (sheet1) و چهارم (sheet4).

خروجی	توضیح
YearF	سال فارسی
MonthF	ماه فارسی
DayF	روز فارسی
DAP	روز بعد از کاشت
LAI	شاخص سطح برگ روزانه
SRAD	تشعشع خورشیدی روزانه
PAR	تشعشع فعال فتوسنتزی روزانه
IPAR	تشعشع فعال فتوسنتزی دریافت شده روزانه
CUMIPAR	تشعشع فعال فتوسنتزی دریافت شده تجمعی
خروجی خلاصه	
CUMPAR	تشعشع فعال فتوسنتزی رسیده در طول فصل رشد
CUMIPAR	تشعشع فعال فتوسنتزی دریافت شده در طول فصل رشد
Fi	F متوسط فصلی کسر دریافت تشعشع توسط جامعه گیاهی

برنامه WLY_calc

مقدمه

هدف استفاده از این برنامه آنالیز تولید در شرایط آب محدود می‌باشد. در این وضعیت تولید به توانایی گیاه زراعی در دریافت آب از محیط و استفاده از آن بستگی دارد. این شرایط مشابه زراعت تحت شرایط دیم است. مؤلفه‌های مربوط به محاسبه تولید در شرایط تولید آب محدود عبارتند از: WI کل آب وارد شده به مزرعه از کاشت تا برداشت بر حسب میلی‌متر، Ft کسر آب جذب شده توسط گیاه و مصرف شده در تعرق، TE کارایی استفاده آب تعرق یافته برحسب گرم بر میلی‌متر و HI شاخص برداشت می‌باشند:

$$Y = WI \times Ft \times TE \times HI$$

محققان می‌توانند با به کارگیری این برنامه مقادیر WI و Ft را برای تیمارهای مختلف خود محاسبه کنند. حاصل ضرب این دو متغیر عبارت از میزان آبی است که در تعرق گیاه به مصرف رسیده است. از تقسیم کل بیوماس تولیدی (عملکرد بیولوژیک) به آب تعرق یافته مقدار TE به‌دست خواهد آمد. حال چنانچه عملکرد (Y) و شاخص برداشت (HI) نیز اندازه‌گیری شده باشند، محقق همه متغیرهای معادله تولید در شرایط آب محدود را در اختیار دارد و می‌تواند با کمک اجزای این معادله دلایل اختلاف عملکرد بین تیمارها را تجزیه و تحلیل و تفسیر نماید. متأسفانه، استفاده از چنین تحلیل‌هایی در منابع فارسی اندک است. سلطانی و قلی پور (۱۳۸۵) در بررسی اثر تغییر اقلیم را بر روی رشد، عملکرد و مصرف نخود در شرایط دیم از این معادله استفاده کردند.

شایان ذکر است که از این برنامه می‌توان برای محاسبه اجزای موازنه آب خاک در تیمارها و نیز نیاز آبی استفاده کرد.

نحوه استفاده از این برنامه

در صفحه اول این برنامه ابتدا لازم است که در بخش ورودی اطلاعات (Input)، و در زیر بخش مدیریت (Mangment) اطلاعات مربوط به زمان و مکان آزمایش مورد نظر را وارد کنیم. جدول (۶) به معرفی متغیرهای موجود در این بخش به همراه توضیح مختصری در مورد آنها می‌پردازد. رواناب در این بخش عبارت است از مقدار بارندگی که در خاک نفوذ نکرده بلکه در سطح آن جاری شده و از مزرعه خارج می‌شود. میزان رواناب به شدت بارندگی، بافت خاک، شیب زمین، مقدار آب خاک و درصد

پوشش زمین بستگی دارد. در مدل ساده محاسبه رواناب فرض شده است که فقط در شرایط دیم (y=2)، رواناب وجود داشته باشد (یعنی در این شرایط رواناب کنترل نمی‌شود و می‌تواند محاسبه شود) و در شرایط آبی (y=1) فرض بر آن است که اقدامات مختلف مثل کرت بندی یا ایجاد جوی و پشته از وقوع رواناب جلوگیری می‌کند، یعنی در واقع رواناب کنترل شده و مقدار آن صفر است.

برای استفاده این برنامه لازم است که اطلاعات مربوط به مقادیر شاخص سطح برگ واقعی که براساس آزمایش بدست آورده‌ایم در صفحه دوم (sheet2) این برنامه از ردیف ۱۵ به بعد در مقابل روز متناظر با آن که اندازه‌گیری در آن روز انجام شده است قرار داده شود. در صفحه سوم این برنامه همچنین لازم است اطلاعات هواشناسی برای دوره زمانی مورد نظر را وارد کنیم. نحوه وارد کردن اطلاعات هواشناسی در این برنامه مشابه با روند ذکر شده در برنامه‌های قبلی مانند GDD_calc و RLY_calc می‌باشد با این تفاوت که باید در دو ستون آخر حتماً مقدار بارندگی روزانه (RAIN) بر حسب میلی‌متر و مقدار آبیاری (IRRIG) نیز وارد شود. در صورتی که در دوره مورد نظر آبیاری انجام نگرفته باشد مقدار عددی آن را برابر با صفر در نظر می‌گیریم.

جدول ۶- ورودی برنامه WLY_calc در صفحه (sheet) اول مربوط به بخش (Mangment)

ورودی (Input)	تعریف
Pyear	سال کاشت
Pmonth	ماه کاشت
Pday	روز کاشت
LAI data No	تعداد اندازه‌گیری‌های شاخص سطح برگ
X DUR	طول فصل کشت
RUNOFF	رواناب (محاسبه شود=۲ و محاسبه نشود=۱)
SWAI	ضریب نشان‌دهنده وضعیت رطوبت خاک: (۰) نقطه پژمردگی دائم، (۱) ظرفیت زراعی

در ادامه در زیر عنوان (soil) باید مشخصات خاک مورد نظر را وارد کنیم. در جدول (۷) این مشخصات به همراه توضیح مختصری در مورد آنها ارائه می‌گردد. شماره منحنی خاک[1] (CN)، به‌طور تجربی و با توجه به ویژگی‌های خاک، زمین و پوشش گیاهی تعیین می‌گردد. ضریب زهکشی عمقی خاک عبارت است از کسری از آب که در بالاتر از ظرفیت زراعی در خاک وجود دارد و این مقدار

1- Curve number

مازاد بر ظرفیت نگهداری خاک هر روز در اثر نیروی جاذبه از خاک خارج خواهد شد. سرعت خارج شدن این آب مازاد به بافت خاک بستگی دارد. اگر ضریب زهکشی ۰/۳ باشد بدین معنی است هر روز ۳۰ درصد از آب مازاد بر ظرفیت زراعی از خاک خارج می‌شود. اطلاعات خاک برای خاک های مختلف در بخش کمکی (help) در برنامه گنجانده شده است (سلطانی، ۱۳۸۸ب؛ سلطانی و فرجی، ۱۳۸۶).

جدول ۷- لیست متغیرهای ورودی برنامه WLY_calc در صفحه (sheet) اول مربوط به بخش (soil)

متغیرهای ورودی (Input)	تعریف
SOLDEP	عمق خاک (میلی‌متر)
LL	مقدار آب در نقطه پژمردگی دائم (میلی‌متر بر میلی متر یا cm^3 بر cm^3)
DUL	حد بالای آب در خاک پس از خروج آب ثقلی یا ظرفیت زراعی (میلی‌متر بر میلی‌متر یا cm^3 بر cm^3)
SAT	مقدار آب هنگام اشباع بودن (میلی‌متر بر میلی متر یا cm^3 بر cm^3)
DRAINF	ضریب زهکشی عمقی خاک
CN	شماره منحنی خاک برای محاسبه رواناب تجمعی
SALB	آلبدوی خاک

در زیرعنوان مربوط به گیاه زراعی (crop) باید اطلاعات مربوط به گیاه زراعی مورد نظر را وارد کنیم. RTDEP عبارت است از عمق مؤثر ریشه در جذب آب و عدد مربوط به آن را بر حسب میلی‌متر در مقابل این گزینه باید قرار داد. WSSG نیز به معنی کسر آب قابل دسترس خاک است که در کمتر از آن رشد و تعرق دچار کاهش می‌شوند (سلطانی، ۱۳۸۸ب؛ سلطانی و فرجی، ۱۳۸۶الف).

بعد از وارد کردن اطلاعات موردنظر بر روی گزینه Run کلیک می‌کنیم و برنامه به محاسبه موازنه آب خاک می‌پردازد و خروجی‌ها را به دو صورت میانگین کل فصل در صفحه اول و روزانه در صفحه چهارم ارائه می‌کند. جداول (۸) و (۹) این خروجی‌ها را به همراه توضیح مختصری از آن‌ها نشان می‌دهند.

جدول ۸- متغیرهای خروجی برنامه WLY_calc در صفحه اول (sheet1)

ورودی (Input)	تعریف
ASW_S	مقدار آب قابل دسترس در ابتدای فصل (میلی‌متر در خاک)
RAIN	مقدار مجموع بارندگی در طول فصل رشد (میلی‌متر)
IRGW	مقدار آبیاری (میلی‌متر)
ASW_F	مقدار آب قابل دسترس مانده در خاک در انتهای فصل رشد (میلی‌متر)
WInput	مقدار کل آب ورودی به مزرعه از کاشت تا برداشت (میلی‌متر)
CE	تبخیر تجمعی (میلی‌متر)
CTR	تعرق تجمعی (میلی‌متر)
DRAIN	زهکشی عمقی تجمعی (میلی‌متر)
RUNOFF	رواناب تجمعی (میلی‌متر)
WOutput	مقدار کل آب خروجی از مزرعه از کاشت تا برداشت (میلی‌متر)
Ft	نسبت تعرق به کل آب وارد شده به سیستم

جدول ۹- متغیرهای خروجی برنامه WLY_calc در صفحه چهارم (sheet4)

ورودی (Input)	تعریف
EO	تبخیر تعرق بالقوه (میلی‌متر در روز)
SEVP	میزان تبخیر روزانه از سطح خاک (میلی متر در روز)
TR	تعرق روزانه (میلی‌متر در روز)
SWC	مقدار آب موجود در خاک (میلی‌متر)
FASW	کسر آب قابل دسترس خاک
CRAIN	بارندگی تجمعی (میلی‌متر)
CIRGW	آبیاری تجمعی (میلی‌متر)
CRUNOF	رواناب تجمعی (میلی‌متر)
CDRAIN	زهکشی تجمعی (میلی‌متر)

در شکل (۱۶) صفحه اول این برنامه را مشاهده می‌کنید. همانگونه که مشاهده می‌کنید قرار است محاسبات از روز ۲۵ام از تهمین‌ماه سال ۱۳۸۴در خاکی با مشخصات ذکر شده در بخش soil و بر روی گیاه گندم شروع شوند. در واقع در زیرعنوان management می‌توان تاریخ شروع محاسبه را بر اساس سال، ماه و روز تعیین کرد و همچنین در مقابل گزینه xDUR می‌توان طول دوره محاسبه برای برنامه را مشخص نمود.

شکل ۴-۲- صفحه اول برنامه WLY_can

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K
1	**A simple simulation model to calc soil water balance using weather, irrigation and actual LAI data.**										
2	**AS at GUASNR, September 2009.**										
3											
7	INPUTS:							OUTPUTS:			
8											
9	**Management:**							**Soil water balance:**			
10	pyear =			1384				ASW_S =			96
11	pmonth =			9				RAIN =			302
12	pday =			25				IRGW =			0
13	LAI data no. =			14				ASW_F =			21
14	xDUR =			165				WInput =			377
15	Runoff (n=1, y=2) =			2							
16	SWAI =			0.8				CE =			76
17								CTR =			168
18	**SOIL:**							DRAIN =			98
19	SOLDEP =			900				RUNOFF =			35
20	LL =			0.087				WOutput =			377
21	DUL =			0.22							
22	SAT =			0.32				Ft =			0.45
23	DRAINF =			0.5							
24	CN =			70							
25	SALB =			0.13							
26											
27	**CROP:**										
28				**wheat.zag**				Run			
29	RTDEP =			900							
30	WSSG =			0.3							
31											
32											
33	1. LAI data in Sheet2										
34	2. Weather data in Sheet3										
35	3. Results in Sheet4										
36	**Clear Sheet 4 before run.**										
37											

(

(she

مانگونه که مشاهده می‌کنید قرار است
خصات ذکر شده در بخش soil و بر
man می‌توان تاریخ شروع محاسبه را
xDUR می‌توان طول دوره محاسبه

برنامه Lenbud

مقدمه و قابلیت‌های برنامه

از برنامه Lenbud می‌توان برای بررسی بودجه انرژی برگ استفاده کرد. این برنامه یک برنامه آموزشی بوده که کمک زیادی به درک مفهوم بودجه انرژی برگ و عوامل محیطی و گیاهی مؤثر بر آن دارد. بودجه انرژی برگ در نهایت تعیین کننده دمای برگ و در نتیجه تعیین کننده عوامل وابسته به آن مثلاً فتوسنتز و تعرق می‌باشد.

بر اساس قانون اول ترمودینامیک انرژی خلق نمی‌شود و از بین هم نمی‌رود، بلکه فقط از شکلی به شکل دیگر تغییر می‌کند. ما می‌توانیم این اصل را در موازنه انرژی یک برگ بکار ببریم. درباره یک برگ شارهای مختلف انرژی را می‌توان به‌صورت زیر خلاصه کرد:

[انرژی ذخیره شده در برگ] = [انرژی خارج شده از برگ] − [انرژی وارد شده به برگ]

اجزای معادله فوق به لحاظ مقدار بسیار متفاوت می‌باشند. انرژی وارد شده به برگ شامل تشعشع خورشیدی جذب شده و تشعشع موج بلند جذب شده می‌باشد. انرژی خارج شده از برگ شامل تشعشع موج بلند گسیل شده از برگ، انتقال گرمای محسوس و انتقال گرما همراه با تعرق است. انرژی ذخیره شده در برگ صرف فرایند فتوسنتز، ساخت سایر متابولیت‌ها و تغییر دمای برگ می‌شود. از آنجایی که ذخیره انرژی در برگ به صورت متابولیکی و تغییر دمای برگ ناچیز است (حدود ۱ درصد تشعشع خورشیدی جذب شده)، بنابراین قابل صرف‌نظر است و می‌توان آن را صفر در نظر گرفت. بنابراین در نهایت می‌توان این گونه بیان کرد که کل تشعشع موج کوتاه و بلند جذب شده توسط برگ برابر با مقدار تشعشع موج بلند خروجی از برگ به همراه شار گرمای محسوس و شار گرمای نهان تبخیر است. مقدار دمای برگ، دمای هوا، رطوبت نسبی، غلظت بخار آب در برگ، غلظت بخار اشباع در دمای هوا، مقاومت لایه مرزی و مقاومت برگ برای تعرق از عوامل مهم در تعیین بودجه انرژی برگ می‌باشند. لازم به ذکر است در این مقدمه کوتاه سعی شده است توضیح مختصری در مورد مفاهیم مرتبط با مبحث بودجه انرژی برگ ارائه شود و پرواضح است که توضیح کامل و مبسوط مقوله بودجه انرژی برگ از حوصله این مطلب خارج بوده و به خوانندگان محترم توصیه می‌شود برای بدست آوردن اطلاعات دقیق و کاملتر در مورد این مقوله به جزوه اکولوژی گیاهان زراعی (سلطانی، ۱۳۸۳) مراجعه نمایند. در جدول (۱۱) به تعریف مختصری از برخی از متغیرها پرداخته شده است.

هدف نهایی این برنامه مشخص کردن مقادیر عددی اجزاء موازنه تشعشع در گیاه، دمای برگ و همچنین مشخص کردن مقدار فتوسنتز، تعرق و کارایی تعرق می‌باشد و استفاده از این برنامه کمک شایانی به درک مبحث بودجه انرژی برگ و مسیرهای ورودی و خروجی انرژی از برگ می‌کند.

نحوه استفاده از برنامه

ابتدا در بخش Inputs (ورودی اطلاعات)، متغیرهای مورد نظر وارد می‌شود. در جدول (۱۰) این متغیرها به همراه تعریف آن‌ها نشان داده شده‌اند. بعد از وارد کردن اطلاعات لازم در بخش ورودی اطلاعات (Input)، دکمه Go را زده و برنامه بودجه انرژی برگ، دمای برگ و میزان تعرق را محاسبه کرده و در بخش خروجی ارائه می‌کند. فتوسنتز در این برنامه بر اساس پیوستگی تعرق و فتوسنتز (تنر وسینکلر، ۱۹۸۳) محاسبه می‌شود (به سلطانی، ۱۳۸۸الف مراجعه کنید) جدول (۱۱) به معرفی این موارد به همراه توضیح مختصری در مورد آن ها می‌پردازد. در انتها نیز نموداری رسم می‌شود که بیانگر اجزاء موازنه انرژی در برگ مورد نظر می‌باشد.

جدول ۱۰- لیست متغیرهای ورودی برنامه Lenbud

ورودی (Input)	تعریف
اطلاعات مربوط به گیاه	
Leaf specific dim	بعد ویژه برگ (متر)، میانگین طول برگ در جهت وزش باد
Leaf Res	مقاومت روزنه‌ای برگ (ثانیه بر متر)
Trans. Eff. Coef.	ضریب کارایی تعرق (پاسکال)
Base temp	دمای پایه گیاه (درجه سانتی‌گراد)
Optimum temp	دمای مطلوب گیاه (درجه سانتی‌گراد)
شرایط محیطی	
Absorbed Rad.	مقدار تشعشع موج کوتاه و بلند جذب شده (وات بر متر مربع)
Wind velocity	سرعت باد (متر بر ثانیه)
Air temp	دمای هوا (درجه سانتی‌گراد)
Relative humidity	رطوبت نسبی (درصد)

جدول ۱۱- لیست متغیرهای خروجی ارایه شده توسط برنامه Lenbud

خروجی (Output)	توضیح
اجزاء بودجه انرژی	
Rabs	مقدار تشعشع جذب شده (وات بر متر مربع)
RI	تشعشع موج بلند گسیل شده از برگ (وات بر متر مربع)
H	انتقال گرمای محسوس (وات بر متر مربع)
LE	انرژی صرف شده در تبخیر (وات بر متر مربع)
دمای برگ	
TI	دمای برگ (درجه سانتی‌گراد)
فتوسنتز و دما، تنش	
GT	فاکتور مطلوبیت دما برای فتوسنتز: ۰= فتوسنتز صفر، ۱= فتوسنتز در حد مطلوب
PHS	میزان فتوسنتز (گرم CO_2 بر متر مربع بر ساعت)
TRANSP	میزان تعرق (میلی متر آب بر متر مربع بر ساعت)
TE	کارایی تعرق (گرم CO_2 تثبیت شده بر میلی متر آب مصرف شده در تعرق)

برای مثال در زیر نمونه‌ای از محاسبه بودجه انرژی برگ با استفاده از این برنامه آورده شده است. در این مثال مقدار بعد ویژه برگ، ۰/۱ متر؛ مقاومت روزنه‌ای، ۲۰۰ ثانیه بر متر؛ ضریب کارایی تعرق، ۵ پاسکال و درجه حرارت پایه و مطلوب به‌ترتیب ۷ و ۳۰ درجه سانتی‌گراد بودند. مقدار تشعشع جذب شده در این شرایط برای گیاه برابر با ۱۲۰۰ وات بر متر مربع؛ سرعت باد، ۱ متر بر ثانیه؛ درجه حرارت هوا، ۳۰ درجه و مقدار رطوبت نسبی ۰/۶ در نظر گرفته شده است. در چنین شرایطی این برگ از این مقدار تشعشع جذب شده، ۹۴۵ وات بر متر مربع را به صورت طول موج بلند، ۹۴ وات بر متر مربع را به صورت انتقال گرمای محسوس و ۱۵۶ وات بر متر مربع از آن را در تعرق به محیط بر می‌گرداند. در چنین شرایطی درجه حرارت برگ به ۳۲/۲۵ درجه سانتی‌گراد می‌رسد و مقدار فتوسنتز در این برگ برابر با ۰/۶۷۴ (گرم CO_2 بر متر مربع بر ساعت) و همچنین مقدار تعرق آن برابر با ۰/۲۳۱ (لیتر آب بر متر مربع بر ساعت) می‌باشد. شکل (۱۷) نمای پنجره اصلی برنامه را بعد از وارد کردن متغیرها و سپس اجرای آن نشان می‌دهد.

تمرینات زیر برای بالابردن درک مقوله بودجه انرژی برگ و تأثیر عوامل محیطی و گیاهی بر آن در نظر گرفته شده است. مطلوب است خوانندگان این تمرینات را با کمک برنامه LENBUD انجام

داده و شرایط مختلف را با هم مقایسه کرده و تأثیر عوامل مختلف را از جهات مختلف بر بودجه انرژی برگ تفسیر کنند. پرواضح است که خوانندگان می‌توانند مثال‌های متعددی از شرایط مختلف حتی به‌صورت فرضی برای برنامه تعریف کرده و تغییرات را مشاهده و تفسیر کنند.

۱- شرایط مقابل را در نظر بگیرید: بعد ویژه برگ (l= ۰/۰۵m)، مقاومت روزنه‌ای ($s.m^{-1}$) (r_{l}=۱۵۰)، سرعت باد (V=۱ $m.s^{-1}$)، دمای هوا (Ta=۳۰°C) و رطوبت‌نسبی (h=۰/۵)، حال مقدار کل تشعشع جذب شده را بین ۶۰۰ تا ۲۰۰۰ وات بر متر مربع در نظر گرفته (فاصله ۱۰۰ وات بر مترمربع) و سهم تشعشع موج بلند گسیل شده از برگ، انتقال گرمای محسوس و انتقال گرما توسط تعرق را تعیین کنید و در نموداری نشان دهید.

۲- برای شرایط h=۰/۱ و سایر شرایط مشابه تمرین ۱، دمای برگ را تعیین کنید اگر تشعشع جذب شده خورشیدی ۱۴۰۰ وات بر متر مربع باشد، سهم تشعشع موج بلند گسیل شده از برگ، انتقال گرمای محسوس و انتقال گرما توسط تعرق را به صورت درصد تعیین کنید.

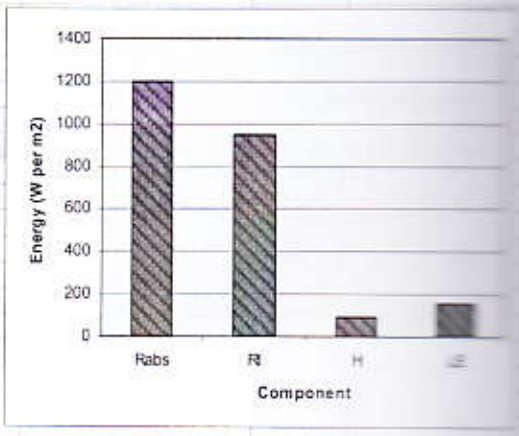
۳- در شرایطی که تشعشع جذب شده خورشیدی ۲۰۰ وات بر متر مربع، دمای هوا ۴۰ درجه سانتی گراد، مقدار رطوبت نسبی ۰/۲، سرعت باد ۱ متر بر ثانیه و مقاومت برگ ۱۰۰۰ ثانیه بر متر باشد، برای سه مقدار l برابر با ۰/۰۱، ۰/۰۵ و ۰/۱ متر، سهم تشعشع موج بلند گسیل شده از برگ، انتقال گرمای محسوس و انتقال گرما توسط تعرق را به دست آورید. همچنین دمای برگ، مقدار تعرق و فتوسنتز نسبی را به‌دست آورید. شرایط این تمرین مربوط به یک محیط بیابانی با آسمان صاف، در وسط ظهر یک روز تابستانی در عرض جغرافیایی میانه است.

۴- شرایط تمرین ۳ را که مربوط به یک محیط بیابانی است را با شرایط مناطق دیگر مانند شرایط خنک وسط روز در اوایل بهار یا اواخر پاییز یا اوایل تابستان در ارتفاعات بالا در عرض‌های میانی (تشعشع جذب شده خورشیدی ۸۰۰ وات بر متر مربع، دمای هوا ۲۰ درجه سانتی‌گراد، مقدار رطوبت نسبی ۰/۶، سرعت باد ۲ متر بر ثانیه و مقاومت برگ ۱۰۰۰ ثانیه بر متر) مقایسه کنید و نتایج را تفسیر کنید.

شکل ۲۷ – نمای پنجره اصلی برنامه Lenbud بعد از اجرا

	A	B	C	D	E	F	G
1	**Plant Inputs**				**Energy Budget Comp.**		
2	Leaf specific dim.	0.1	M		Rabs	1200	W.m-2
3	Leaf res.	200	s.m-1		Rl	945	W.m-2
4	Trans. Eff. Coef.	5	Pa		H	94	W.m-2
5	Base temp.	7	oC		LE	156	W.m-2
6	Optimum temp.	30	oC				
7					**Leaf Temp**		
8	**Environment Inp.**				Tl	32.25	oC
9	Absorbed Rad.	1200	W.m-2				
10	Wind velocity	1	m.s-1		**PHS and Temp. Stress**		
11	Air temp.	30	oC		GT	0.99	
12	Relative humidity	0.6			PHS	0.674	gCO2.m-2.h-1
13					TRANSP	0.231	mm.m-2.h-1
14					TE	2.947	gCO2.kgH2O-1
15							
16							
17							
18							
19							
20	**A program to calc. leaf energy budget.**						
21	**AS at GUASNR, 2005**						
22							
23							
24							
25							
26							
27							
28							
29							
30							
31							
32							
33							
34							

Go



ی را از جهات مختلف بر بودجه
های متعددی از شرایط مختلف
ده و تفسیر کنند.

(h= ۰/). مقاومت روزنه‌ای ($s.m^{-1}$
(Ta= و رطوبت‌نسبی (h=۰/۵)،
ت بر متر مربع در نظر گرفته (فاصله
ده از برگ، انتقال گرمای محسوس و
ن دهید.

برگ را تعیین کنید اگر تشعشع
تشعشع موج بلند گسیل شده از
را به صورت درصد تعیین کنید.

بر متر مربع، دمای هوا ۴۰ درجه
بر ثانیه و مقاومت برگ ۱۰۰۰ ثانیه بر
تر، سهم تشعشع موج بلند گسیل شده
رق را به دست آورید. همچنین دمای
رایط این تمرین مربوط به یک محیط
در عرض جغرافیایی میانه است.

را با شرایط مناطق دیگر مانند شرایط
ستان در ارتفاعات بالا در عرض‌های
ر مربع، دمای هوا ۲۰ درجه سانتی‌گراد،
قاومت برگ ۱۰۰۰ ثانیه بر متر) مقایسه

برنامه Can_phs

مقدمه

این برنامه آموزشی جهت درک فرایند فتوسنتز و تنفس جوامع گیاهی و عوامل محیطی و گیاهی مؤثر بر آن کاربرد دارد. فتوسنتز فرایند اصلی تولید به شمار می‌آید و گیاه را با کربن احیاء شده تأمین می‌کند که این کربن احیاء شده خود در ساخت بیوماس و تولید انرژی برای متابولیسم مورد استفاده قرار می‌گیرد. تنفس نیز انرژی و مواد احیاء کننده برای نگهداری ساختار موجود گیاه و تولید مواد جدید فراهم می‌آورد. بخشی از تنفس که با رشد گیاه یا جامعه گیاهی در ارتباط است تنفس رشد (Rg) نامیده می‌شود. تنفس نگهداری (Rm) نیز به بیوماس گیاه بستگی دارد و برای دریافت مواد فتوسنتزی نسبت به (Rg) تقدم دارد (سلطانی، ۱۳۸۸). از این برنامه می‌توان برای محاسبه مقدار فتوسنتز و تنفس کانوپی استفاده کرد. برای استفاده بهتر از این برنامه و همچنین رسیدن به درکی بالا از مفاهیم فتوسنتزی در کانوپی و نحوه تغییرات آن با شرایط محیطی که یکی از اهداف این برنامه نیز به شمار می‌رود به خوانندگان توصیه می‌شود به سلطانی و همکاران (۲۰۰۷ و ۱۳۷۹) مراجعه نمایند.

نحوه استفاده از برنامه

برای محاسبه مقدار فتوسنتز و تنفس با کمک این برنامه لازم است که ابتدا متغیرهای متفاوتی بصورت اطلاعات ورودی تعریف شود. در بخش اول ورودی‌ها باید اطلاعات مربوط به مکان و زمان آزمایش موردنظر به همراه اطلاعات هواشناسی به برنامه داده شود. جدول (۱۲) این موارد را به همراه توضیح مختصری از آنها نشان می‌دهد. در شکل (۱۸) نیز تصویر صفحه اول این برنامه آورده شده است. وارد کردن این اطلاعات در واقع نشان دهنده شرایط مکانی و زمانی منطقه مورد نظر به همراه اطلاعاتی از شرایط محیطی است (مقدار تشعشع و دمای حداکثر و حداقل) که برای محاسبه فتوسنتز و تنفس لازم می باشد. به‌طور مثال برنامه لازم است که بداند گیاه مورد نظر ما در چه عرض جغرافیایی قرار دارد که بتواند با کمک آن طول روز و زمان طلوع و غروب را محاسبه کند. از طول روز برای محاسبه ضریب طول تنفس و کنترل صحت مقدار تشعشع خورشیدی و از زمان طلوع و غروب خورشید برای محاسبه دمای ساعتی استفاده می‌گردد.

جدول ۱۲- لیست متغیرهای ورودی برنامه **Can_phs** همراه با توضیح مختصری در مورد آنها

خروجی	تعریف
latitude	عرض جغرافیایی منطقه مورد نظر (درجه)
Day of year	روز سال
Solar radiation	مقدار تشعشع خورشیدی (مگاژول بر متر مربع در دقیقه) در روز مورد نظر
Max. temp	مقدار حداکثر دما (سانتی گراد) در روز موردنظر
Min. temp	مقدار حداقل دما (سانتی گراد) در روز موردنظر

لازم است که در مقابل گزینه LAI، مقدار شاخص سطح برگ مورد نظر خود را وارد کنیم. به‌طور مثال همانگونه که در شکل (۱۸) مشاهده می‌کنید این مقدار برای گیاه مورد نظر برابر با ۳/۸ بوده است. در ادامه بخش ورودی داده‌ها باید برخی از پارامترهای گیاهی را برای برنامه تعریف کنیم. این موارد شامل دماهای کاردینال برای گیاه مورد نظر، مقدار حداکثر فتوسنتز در شرایط اشباع نوری و کارایی کوانتوم می‌باشد (شکل ۱۸). جدول (۱۳) ورودی های مربوط به خصوصیات گیاهی را به همراه توضیح مختصری در مورد آن‌ها نشان می‌دهد.

جدول ۱۳- لیست متغیرهای ورودی برنامه **Can_phs** برای خصوصیات گیاهی

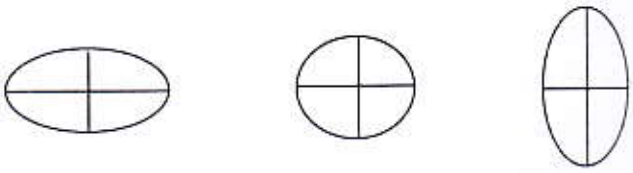
خروجی	تعریف
TBP	دمای پایه (درجه سانتی گراد)
TP1P	حد پایینی دمای مطلوب (درجه سانتی گراد)
TP2P	حد بالایی دمای مطلوب (درجه سانتی گراد)
TCP	دمای سقف (درجه سانتی گراد)
Pmax	حداکثر فتوسنتز ناخالص در اشباع نوری (میلی گرم CO_2 بر متر مربع برگ در ثانیه)
QE	کارایی کوانتوم (میلی‌گرم CO_2 بر کیلوژول PAR دریافتی)
X	پارامتر تعیین کننده توزیع زاویه برگ‌ها

واکنش فتوسنتز ناخالص به تشعشع را می‌توان با کمک یک معادله نمایی منفی که دارای ۲ پارامتر است، توصیف کرد. فتوسنتز خالص از کم کردن تنفس نگهداری از فتوسنتز ناخالص بدست می‌آید.

$$Pg = Pmax\ (1-\exp(-QE\times PAR/Pmax) \qquad (۹)$$

QE شیب اولیه واکنش فتوسنتز ناخالص به نور یا کارایی کوانتوم بر حسب میلی گرم CO_2 تثبیت شده بر کیلوژول PAR می‌باشد. Pmax و QE از خصوصیات ارقام و گونه‌های گیاهی هستند. در صفحه دوم این برنامه به نام (info)، مقادیر این پارامترها برای سه تیپ گیاهی (تیپ C3 سرمادوست مانند گندم، تیپ C3 گرما دوست مانند سویا و گیاهی با تیپ فتوسنتزی C4 مانند ذرت) در جدولی مجزا در خود برنامه آورده شده است که کاربران می‌توانند از این مقادیر برای تعریف پارامترهای گیاهی استفاده کنند. لازم به ذکر است در این جدول دماهای کاردینال مربوط به این سه تیپ گیاهی هم آورده شده است. البته این جدول مقادیر کلی را برای سه تیپ گیاه ارائه می‌کند ولی برای محاسبه دقیق مقادیر این پارامترها باید برای هر گیاه جداگانه از منابع بدست آید. در زیر جدول نامبرده در صفحه دوم این برنامه مقادیر دقیق این پارامترها برای برخی از محصولات مهم زراعی آورده شده است (به صفحه دوم برنامه رجوع کنید).

در ادامه باید مقدار متغیر X را در مقابل گزینه مورد نظر وارد کنیم که عبارت است از نسبت قطر افقی به عمودی در کره (تصویر شماتیک را ببینید). هرچه جامعه گیاهی دارای برگ‌های عمودی‌تر باشد به کره‌ای با X کوچکتر نیاز خواهد بود تا برگ‌های جامعه گیاه بر آن مماس شوند. بالعکس، در جوامع گیاهی با برگ‌های افقی‌تر به کره‌ای با X بزرگتر نیاز است. در نهایت با توجه به این که کدام زاویه برگ‌ها غلبه داشته باشند، ممکن است یکی از حالات زیر را داشته باشیم:



X>1 X=1 X<1

برنامه با توجه به مقدار Xای که در برنامه وارد می‌شود تخمینی از متوسط زاویه برگ (Alpha) محاسبه و نمایش می‌دهد. زاویه برگ به همراه زاویه تابش خورشیدی مقدار ضریب خاموشی را تعیین می‌کند (برای اطلاعات بیشتر در مورد X و زاویه برگ به جزوه اکولوژی گیاهان زراعی تألیف سلطانی [illegible] مراجعه کنید). حالت X=1 توزیع کروی زاویه برگ نامیده می‌شود و در گیاهان زراعی بسیار

به چشم می‌خورد. در صفحه دوم این برنامه مقادیر دقیق این متغیرها برای برخی از محصولات مهم زراعی آورده شده است (به صفحه دوم برنامه رجوع کنید).

بعد از این مراحل باید چهار متغیر دیگر را نیز در این برنامه برای گیاه مورد نظر تعریف کرد. این چهار متغیر همراه با واحد آن‌ها در جدول (۱۴) آورده شده است. CO_2PF یا فاکتور تولید CO_2 بنا بر تعریف مقدار CO_2ای است که برای تولید ماده خشک در تنفس رشد آزاد می‌شود. این مقدار CO2 برای ترکیبات مختلف متفاوت بوده و مقدار آن برای ترکیبات گیاهی قابل دسترس می‌باشد (در صفحه دوم این برنامه مقادیر عددی این متغیر برای گروه‌های مهم گیاهان زراعی آورده شده است). BPE (کارایی تبدیل بیوماس) عبارت است از مقدار بیوماس تولید شده به ازای گلوکز تأمین شده و G (نیاز گلوکزی) در واقع مقدار گلوکز مورد نیاز برای تولید بیوماس می‌باشد (عکس B). B و G به تنفس رشد ارتباط دارند. C هم عبارت است از مقدار کربن موجود در بافت گیاهی.

جدول ۱۴- لیست متغیرهای ورودی برنامه Can_phs برای خصوصیات تنفسی و فتوسنتزی

خروجی	واحد
G	$gCH2O.g^{-1}DM$
B	$gDM.g^{-1}CH2O$
CO2PF	$gCO2.g^{-1}DM$
C	$gC.g^{-1}DM$

مقادیر این چهار متغیر با توجه به ترکیب شیمیایی محتوی بافت گیاهان مختلف و با توجه به درصدهای توزیع مواد فتوسنتزی برای سه دسته از گیاهان شامل بقولات، برنج و سایر گیاهان محاسبه شده‌اند که مقادیر عددی آنها برای این سه دسته از گیاهان در صفحه دوم این برنامه موجود می‌باشد.

بعد از وارد کردن تمامی موارد توضیح داده شده در بالا بر روی دکمه Run کلیک کرده و برنامه شروع به محاسبه کرده و متغیرهای خروجی آن در بخش Output ارائه می‌شود. جدول (۱۵) متغیرهای خروجی این برنامه را همراه با واحد و توضیح مختصری از آنها نشان می‌دهد.

جدول ۱۵- لیست متغیرهای خروجی (به‌صورت خلاصه روزانه) برنامه Can_phs

خروجی	تعریف
Pg	مقدار فتوسنتز ناخالص (گرم CO_2 بر متر مربع برگ در روز)
Rm	مقدار تنفس نگهداری (گرم CO_2 بر متر مربع برگ در روز)
Rg	مقدار تنفس رشد (گرم CO_2 بر متر مربع برگ در روز)
DBP	تولید ماده خشک (گرم ماده خشک بر متر مربع در روز)
RUE	کارایی مصرف نور (گرم ماده خشک بر مگاژول تشعشع PAR دریافتی)

در این برنامه علاوه بر خروجی های ارائه شده در جدول (۱۶) به محاسبه ساعت به ساعت متغیرهایی می‌پردازد که برای آنالیز رشد گیاه و مقدار فتوسنتز بسیار مهم می‌باشد. این خروجی‌ها در سمت راست برنامه به‌صورت ساعتی از طلوع تا غروب خورشید محاسبه و به همراه شکل آنها ارائه شده است. جدول (۱۶) به‌طور خلاصه به معرفی این متغیرها می‌پردازد.

جدول ۱۶- لیست متغیرهای خروجی برنامه Can_phs به صورت ساعت به ساعت

خروجی	توضیح
PAR	تشعشع PAR رسیده (ژول بر مترمربع بر ثانیه)
TMP	درجه حرارت ساعتی (درجه سانتی‌گراد)
FINT	کسر دریافت تشعشع
LSUN	سطح برگ در معرض تشعشع مستقیم
LSHADE	سطح برگ در معرض سایه
ISUN	شدت تشعشع در واحد سطح برگ‌های در معرض نور مستقیم (ژول بر مترمربع برثانیه)
ISHADE	شدت تشعشع در واحد سطح برگ‌های در معرض نور سایه (ژول بر مترمربع بر ثانیه)
PSUN	مقدار فتوسنتز برگ‌های در معرض تشعشع مستقیم (میلی‌گرم CO_2 بر مترمربع برگ بر ثانیه)
PSHADE	مقدار فتوسنتز برگ‌های در معرض سایه (میلی‌گرم CO_2 بر مترمربع برگ بر ثانیه)
PHS	فتوسنتز ناخالص (میلی‌گرم CO_2 بر مترمربع برگ بر ثانیه)

در نهایت این برنامه بر مبنای محاسبات انجام داده و خروجی‌های ارائه شده نمودارهایی مرتبط با خروجی‌های جدول (۱۶) را ترسیم می کند. شکل (۱۸) صفحه اول این برنامه را به همراه خروجی‌ها (هم متوسط روزانه و هم ساعت به ساعت) و همچنین نمودارهای ترسیم شده بر اساس محاسبات ساعت به ساعت را نشان می‌دهد.

شکل ۱۸- صفحه اول برنامه Can_phs

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L
1	**A program to calc canopy photosynthesis and respiration.**											
2	**By AS at GUASNR, February 2009**											
3	**For Production Ecology Course**											
4												
5												
6					**INPUTS:**						**OUTPUTS:**	
7					Latitude (o) =	36.85				Pg (gCO2/m2/d) =	53.0	
8					Day of Year =	100				Rm (gCO2/m2/d) =	8.3	
9					Solar radiation (MJ/m2/d) =	19				Rg (gCO2/m2/d) =	8.9	
10					Max. Temp. (oC) =	22				DBP (gDM/m2/d) =	20.7	
11					Min. Temp. (oC) =	11				RUE (gDM/MJ PAR) =	2.35	
12												
13					**LAI =**	3.8						
14					**TBP (oC) =**	0						
15					**TP1P (oC) =**	10						
16					**TP2P (oC) =**	25						
17					**TCP (oC) =**	30						
18					**Pmax (mgCO2/m2/s) =**	1.1						
19					**QE (mgCO2/kJ PAR) =**	10						
20					**x =**	1						
21					**Alpha (o) =**	56.1						
22					**CO2PF (gCO2/gDM) =**	0.429						
23					**BPE (gDM/gCH2O) =**	0.68						
24					**Rm_coe (%) =**	20						
25												
26												
27	**H**	**PAR**	**TMP**	**KPAR**	**FINT**	**LSUN**	**LSHD**	**ISUN**	**ISHD**	**PSUN**	**PSHD**	**PHS**
28	6	23	11.8	6.60	1.00	0.15	3.65	0.122	0.001	0.74	0.01	0.57
29	7	93	14.0	1.78	1.00	0.56	3.24	0.132	0.006	0.77	0.06	2.20
30	8	166	16.0	1.06	0.98	0.93	2.87	0.141	0.011	0.79	0.11	3.74
31	9	237	17.8	0.78	0.95	1.21	2.59	0.149	0.016	0.82	0.15	4.93
32	10	295	19.4	0.65	0.92	1.40	2.40	0.155	0.019	0.83	0.18	5.73
33	11	334	20.7	0.59	0.90	1.51	2.29	0.158	0.022	0.84	0.20	6.18
34	12	347	21.5	0.57	0.89	1.54	2.26	0.160	0.022	0.84	0.20	6.33
35	13	334	21.9	0.59	0.90	1.51	2.29	0.158	0.022	0.84	0.20	6.18
36	14	295	21.9	0.65	0.92	1.40	2.40	0.155	0.019	0.83	0.18	5.73
37	15	237	21.5	0.78	0.95	1.21	2.59	0.149	0.016	0.82	0.15	4.93
38	16	166	20.7	1.06	0.98	0.93	2.87	0.141	0.011	0.79	0.11	3.74
39	17	93	19.4	1.78	1.00	0.56	3.24	0.132	0.006	0.77	0.06	2.20
40	18	23	17.8	6.60	1.00	0.15	3.65	0.122	0.001	0.74	0.01	0.57
41												

Run

برنامه fert_calc

مقدمه و قابلیت‌های برنامه

این برنامه با اهداف آموزشی- تحقیقی و همچنین اهداف کاربردی و اجرائی آماده شده است. محاسبه مقدار تولید در شرایط عنصر محدود نمونه‌ای از استفاده آموزشی و بررسی واکنش گیاه به کودهای نیتروژن، فسفر و پتاسیم و همچنین محاسبه میزان کود مورد نیاز برای محصولات مختلف و بهینه‌سازی مصرف کود از جنبه‌های استفاده کاربردی از این برنامه می‌باشد. در این برنامه تولید عنصر محدود بر اساس رهیافت موسوم به QUEFTS[1] مورد تجزیه و تحلیل قرار می‌گیرد (جانسن و همکاران، ۱۹۹۰؛ اسمالینگ و جانسن، ۱۹۹۳). QUEFTS پتانسیل دسترسی به سه عنصر NPK را با در نظر گرفتن اثرات متقابل آن ها محاسبه کرده و تخمین کمّی از سطح حاصلخیزی خاک بدست می‌دهد. در روابط تجربی که برای مقدار عرضه عنصر توسط خاک به کار می‌روند باید خصوصیاتی از خاک شامل اسیدیته، کربن آلی، نیتروژن آلی، فسفر قابل دسترس و پتاسیم تبادلی خاک در دسترس باشد. در روش QUEFTS برای هر عنصر میزان جذب دو بار با لحاظ کردن میزان عرضه خود عنصر و وضعیت عرضه دو عنصر دیگر محاسبه می‌شود. چنانچه در شرایط مختلف، در زمان برداشت، میزان کل عنصر جذب شده در اندام هوایی و عملکرد دانه اندازه گیری شده و در یک نمودار رسم شوند، شیب خط بدست آمده از رگرسیون عملکرد دانه در مقابل میزان عنصر جذب شده، کارایی درونی عنصر را نشان می‌دهد و عبارت است از میزان محصول تولیدی بر حسب کیلوگرم به ازای میزان عنصر جذب شده بر حسب کیلوگرم. چنانچه تعداد اندازه گیری‌ها زیاد باشد، حداقل و حداکثر این شیب که همان حداقل و حداکثر کارایی تولید می‌باشند قابل محاسبه می‌باشند و از پارامترهای ضروری برای برنامه هستند. برای توضیح بیشتر اساس و روش QUEFTS و نمونه‌های کاربرد آن به (ون‌لیرمن و وایت، ۱۹۹۹؛ جانسن و همکاران، ۱۹۹۰؛ لیو وهمکارن، ۲۰۰۶؛ یاتاک و همکاران، ۲۰۰۳؛ اسمالینگ و جانسن، ۱۹۹۳ و ویت و همکاران، ۱۹۹۹) مراجعه شود.

نحوه استفاده از برنامه

جدول (۱۷) و (۱۸) به‌ترتیب متغیرهای ورودی و خروجی برنامه fert_calc را نشان می‌دهند. در بخش ورودی داده‌ها (Input)، ابتدا باید مشخصات شیمیایی خاک مورد نظر را که معمولاً با آزمایشات معمول خاکشناسی نیز قابل دسترسی است، وارد کرد. این مشخصات به‌ترتیب شامل مقدار

1- Quantitative evaluation of fertility of tropical soils

	A	B	C	
1	A program to calc canop			
2	By AS at GUASNR, Febr			
3	For Production Ecology (			
4				
5				
6				
7			Latitude	
8			Day of Ye	
9			Solar radiation (MJ/m2	
10			Max. Temp. (o	
11			Min. Temp. (o	
12				
13			LA	
14			TBP (gC	
15			TP1P (gC	
16			TP2P (gC	
17			TCP (gC	
18			Pmax (mgCO2/m2/	
19			QE (mgCO2/kJ PAR	
20				
21			Alpha (e	
22			CO2PF (gCO2/gDM	
23			BPE (gDM/gCH2O	
24			Rm_coe (%	
25				
26				
27	H	PAR	TMP	KP
28	6	23	11.8	6.6
29	7	93	14.0	1.7
30	8	166	16.0	1.0
31	9	237	17.8	0.7
32	10	295	19.4	0.6
33	11	334	20.7	0.5
34	12	347	21.5	0.5
35	13	334	21.9	0.5
36	14	295	21.9	0.6
37	15	237	21.5	0.7
38	16	166	20.7	1.0
39	17	93	19.4	1.7
40	18	23	17.8	6.6
41				

کربن آلی بر حسب درصد، فسفر قابل جذب اندازه‌گیری شده بر اساس روش السن بر حسب p.p.m، پتاسیم قابل تبادل بر حسب p.p.m با روش استات آمونیوم و در نهایت مقدار اسیدیته (pH) خاک می‌باشد. در ادامه باید مقادیر ضریب q، r و s را که به‌ترتیب ضرایب ثابت مورد استفاده در روابط تجربی مورد استفاده برای تعیین عرضه عناصر نیتروژن، فسفر و پتاسیم می‌باشند و بر حسب نوع و شرایط تغذیه‌ای هر خاک برآورد شده‌اند را وارد کرد. این روابط در برنامه نشان داده شده‌اند. در ادامه باید مقدار حداکثر عملکرد و مقدار عملکرد مورد انتظار را برحسب کیلوگرم بر هکتار در بخش ورودی به برنامه داده شود.

همان‌گونه که در مقدمه اشاره شد برای محاسبه مقدار تولید در شرایط عنصر محدود باید از مقادیر کارایی درونی هر عنصر آگاه باشیم، بنابراین در بخش بعدی برنامه در مقابل گزینه حداکثر تجمع (aX)، حداقل کارایی درونی هر عنصر و در مقابل گزینه حداکثر رقیق شدن (dX)، حداکثر کارایی درونی برای هر عنصر را وارد می‌کنیم. در صورتی که در آزمایش مورد نظر از کود استفاده شده باشد باید مقادیر کود داده شده به خاک در بخش مقدار کود برای هر عنصر به صورت مجزا وارد شود و در زیر مقدار هر کود باید مقدار کارایی بازیافت هر کود در برنامه وارد شود (لازم به توضیح است در این بخش باید مقدار خالص عنصر موجود در کود وارد شود). مقدار کارایی بازیافت برای کودهای نیتروژنه، فسفره و پتاسیم به‌ترتیب برابر با ۰/۵، ۰/۲۵ و ۰/۵ در نظر گرفته شده است. در ادامه بر روی گزینه Run کلیک کرده و برنامه به محاسبه مقدار نیاز کودی و مقدار عملکرد در شرایط عنصر محدود می‌پردازد و در قسمت خروجی مقدار ذخیره و مقداری از عنصر که بوسیله کود به خاک اضافه شده است برای نیتروژن، فسفر و پتاسیم به‌ترتیب ارایه می‌شود.

در قسمت بعدی مقادیر جذب عناصر NPK نیز توسط برنامه ارائه شده و در نهایت برنامه به محاسبه مقدار عملکرد قابل استحصال با شرایط خاکی و کودی لحاظ شده در برنامه می‌پردازد و به ما می‌گوید که در خاکی که شما انتخاب کرده‌اید چه مقدار عملکرد قابل دستیابی است.

جدول ۱۷ – لیست متغیرهای ورودی‌های برنامه fert_calc

ورودی (Input)	تعریف
Soil organic carbon	کربن آلی خاک (درصد)
Olsen P	فسفر قابل جذب اندازه‌گیری شده با روش السن (پی.پی.ام)
Exch. K	پتاسیم قابل تبادل خاک (پی.پی.ام) با روش استات آمونیوم
pH	اسیدیته خاک
q	ضریب ثابت در معادله تجربی تعیین عرضه نیتروژن
r	ضریب ثابت در معادله تجربی تعیین عرضه فسفر
s	ضریب ثابت در معادله تجربی تعیین عرضه پتاسیم
Maximum yield	حداکثر عملکرد قابل حصول (کیلوگرم بر هکتار)
Maximum accumulation (aX)	حداقل کارایی درونی هر عنصر (کیلوگرم بر کیلوگرم)، حداکثر تجمع
Max dilution (dX)	حداکثر کارایی درونی هر عنصر (کیلوگرم بر کیلوگرم)، حداکثر رقیق شدن
Fertilizer rate	مقدار کود (کیلوگرم مقدار خالص عنصر بر هکتار)
Recovery efficiency	کارایی بازیافت

جدول ۱۸- لیست متغیرهای خروجی‌های ارایه شده توسط برنامه Lenbud

خروجی (Output)	توضیح
Soil Sup. N + Fert. N	مقدار عرضه نیتروژن توسط خاک + کود نیتروژن (کیلوگرم بر هکتار)
Soil Sup. P + Fert. P	مقدار عرضه فسفر توسط خاک + کود فسفر (کیلوگرم بر هکتار)
Soil Sup. K + Fert. K	مقدار عرضه پتاسیم توسط خاک + کود پتاسیم (کیلوگرم بر هکتار)
N uptake	مقدار جذب نیتروژن (کیلوگرم بر هکتار)
P uptake	مقدار جذب فسفر (کیلوگرم بر هکتار)
K uptake	مقدار جذب پتاسیم (کیلوگرم بر هکتار)
Attainable yield	عملکرد بدست آمده (کیلوگرم بر هکتار)

در ادامه شمایی کلی از محیط این برنامه که برای محاسبه تولید عنصر محدود گندم در شرایط گرگان انجام شده است آورده شده است. لازم به ذکر است که در سایر sheetها (صفحه‌ها)ی این برنامه اطلاعاتی در مورد متغیرهای مورد نیاز برای محاسبات تولید عنصر محدود مانند حداقل و حداکثر کارایی درونی هر عنصر برای گیاهان مختلف آورده شده است.

شکل ۱۹- نمونه محاسبات انجام شده در برنامه **fert_calc** برای گندم در شرایط محیطی گرگان با مقدار کود برابر با صفر

	A	B	C	D	E	F	G
1	**A program based on QUEFTS to calc. nutrient limited production and fertilizer requirement.**						
2	**AS at GUASNR, April 2009 & September 2009**						
3							
4	**INPUTS:**						
5	**Soil Organic Carbon =**	%	1.03				
6	**Olsen P =**	ppm	9.5				
7	**Exch. K =**	ppm	200				
8	**pH =**		8				
9							
10	**q =**		68				
11	**r =**		0.5				
12	**s =**		400				
13							
14	**Maximum Yield =**	kg.ha-1	6500				
15	**Target Yield =**	kg.ha-1	6500				
16							
17			N	P	K		
18	**Max. accumulation (aX):**	kg.kg-1	28	147	22		
19	**Max. dilution (dX):**	kg.kg-1	72	499	71		
20							
21			N	P	K		
22	**Fertilizer Rate:**	kg.ha-1	0	0	0		
23	**Recovery Eff. :**	--	0.5	0.25	0.5		
24							
25							
26	**Eqs. To calc. soil supply:**						
27	SN(kg.ha-1)=q*SOC(g.kg-1)						
28	SP(kg.ha-1)=0.35*SOC(g.kg-1)+r*OlsenP(mg.kg-1)						
29	SK(kg.ha-1)=(s*ExchK(mmol.kg-1))/(2+0.9*SOC(g.kg-1))						
30							
31							
32	Run						
33							
34	**OUTPUTS:**						
35	**Soil Sup. N + Fert. N**	kg.ha-1	70				
36	**Soil Sup. P + Fert. P**	kg.ha-1	8				
37	**Soil Sup. K + Fert. K**	kg.ha-1	176				
38							
39	**N uptake**	kg.ha-1	65				
40	**P uptake**	kg.ha-1	8				
41	**K uptake**	kg.ha-1	139				
42							
43	**Attainable Yield**	kg.ha-1	3361				
44							
45							

برنامه swb_calc

مقدمه

هدف این برنامه محاسبه موازنه آب خاک و اجزای آن یعنی رواناب، تبخیر از سطح خاک، تعرق گیاه و زهکشی عمقی تحت تأثیر مالچ کلش در طی دوره معین و تحت شرایط آبیش می‌باشد. واژه مالچ کلش[1] به معنای بقایای گیاهی است که تمام یا بخشی از آنها به‌عنوان پوشش سطحی در زمین باقی می‌ماند. این برنامه در واقع مدل ساده‌ای برای شبیه‌سازی موازنه آب خاک در دوره‌های آبیش و تخمین مقدار آب خاک ذخیره شده در خاک در پایان فصل آبیش می‌باشد. سلطانی و همکاران (۱۳۸۶ب) در مقاله‌ای برای شبیه‌سازی موازنه آب خاک در آذربایجان شرقی برنامه مشابهی استفاده کردند. علاقمندان برای اطلاع بیشتر نسبت به این برنامه و فرایندهای حاکم برآن و همچنین آشنایی با معادلات و فرمول‌های آن‌ها می‌توانند به این مقاله و کتاب مدل‌سازی ریاضی در گیاهان زراعی (از مؤلف) مراجعه کنند.

نحوه استفاده از برنامه

برای کار با این برنامه مانند بسیاری از برنامه‌هایی که قبلاً در مورد آن‌ها صحبت شد به اطلاعات هواشناسی روزانه نیاز می‌باشد. این اطلاعات باید در صفحه سوم این برنامه با توجه به ستون های مربوطه وارد شوند. این اطلاعات به ترتیب شامل سال فارسی (Year F)، ماه فارسی (Month F)، روز سال فارسی (Day F)، سال میلادی (Year)، روز سال (DOY)، درجه حرارت حداکثر (TMAX)، درجه حرارت حداقل (TMIN)، مقدار بارندگی (RAIN) و تعداد ساعات آفتابی (SUNH) می‌باشد. در صفحه اول این برنامه باید اطلاعات مربوط به زمان، مدیریت بقایا و خاک مورد نظر را در بخش ورودی (input) وارد کنیم. جدول (۱۹) این متغیرها را با توضیح مختصری از آن‌ها نشان می‌دهد. سه متغیر اول از این جدول در واقع بیان کننده تاریخ شروع محاسبات و متغیر xDUR نشان دهنده طول دوره انجام محاسبات است.

1- Stubble mulch

ی گرگان با مقدار کود برابر با صفر

	A
1	A program based on QUE
2	AS at GUASNR, April 200
3	
4	INPUTS:
5	Soil Organic Carbon =
6	Olsen P =
7	Exch. K =
8	pH =
9	
10	q =
11	r =
12	s =
13	
14	Maximum Yield =
15	Target Yield =
16	
17	
18	Max. accumulation (aX):
19	Max. dilution (dX):
20	
21	
22	Fertilizer Rate:
23	Recovery Eff. :
24	
25	
26	Eqs. To calc. soil supply:
27	SN(kg.ha-1)=q*SOC(g.kg-1
28	SP(kg.ha-1)=0.35*SOC(g.k
29	SK(kg.ha-1)=(s*ExchK(
30	
31	
32	
33	
34	OUTPUTS:
35	Soil Sup. N + Fert. N
36	Soil Sup. P + Fert. P
37	Soil Sup. K + Fert. K
38	
39	N uptake
40	P uptake
41	K uptake
42	
43	Attainable Yield
44	
45	

جدول ۱۹- لیست متغیرهای مربوط به برنامه **swb_calc** در صفحه اول برای بخش ورودی اطلاعات

نام متغیر	تعریف
StrtYR	شروع سال فارسی
StrtMTH	شروع ماه فارسی
StrtDAY	شروع روز فارسی
xDUR	طول دوره (روز)
stubldw	وزن بقایای گیاهی، مالچ (تن بر هکتار)
stubllt	طول عمر بقایای گیاهی، مالچ (روز)
Slope	شیب مزرعه
ISOLWAT	مقدار آب قابل دسترس اولیه خاک (میلی‌متر)
SOLDEP	عمق خاک (میلی‌متر)
LL	مقدار آب خاک در نقطه پژمردگی دائم (میلی‌متر بر میلی متر یا cm^3 بر cm^3)
DUL	حد بالای آب در خاک پس از خروج آب ثقلی یا ظرفیت زراعی (میلی‌متر بر میلی‌متر یا cm^3 بر cm^3)
CN2	شماره منحنی خاک
SALB	آلبیدوی خاک

بعد از وارد کردن متغیرهای ورودی برنامه می‌توان بر روی دکمه Run کلیک کرد و برنامه به محاسبه موازنه آب خاک می‌پردازد. خروجی این برنامه به دو صورت میانگین فصلی (قابل مشاهده در صفحه اول در بخش خروجی) و همچنین به‌صورت روزانه (قابل مشاهده در صفحه خروجی) می‌باشد. جدول ۲۰ این متغیرها را با توضیح مختصری از آن‌ها نشان می‌دهد.

جدول ۲۰- لیست متغیرهای خروجی برنامه **swb_calc**

نام متغیر	تعریف
ISOLWAT	مقدار آب قابل دسترس در شروع دوره شبیه سازی (میلی‌متر)
CRAIN	بارندگی تجمعی (میلی‌متر)
WI	مقدار تجمعی آب وارد شده به مزرعه (میلی‌متر)
CRINT	مقدار تجمعی دریافت آب توسط مالچ (میلی‌متر)
CDRAIN	زهکشی تجمعی (میلی‌متر)
CRUNOF	رواناب تجمعی (میلی‌متر)
CE	تبخیر تجمعی (میلی‌متر)
WO	مقدار تجمعی آب خارج شده از مزرعه (میلی‌متر)
AASW	مقدار آب قابل دسترس خاک در پایان دوره شبیه سازی (میلی‌متر)
FASW	کسر آب قابل دسترس خاک (همان متغیر SWAI در مدل Subs می‌باشد)

شکل (۲۰) صفحه اول این برنامه راکه برای شبیه‌سازی موازنه آب خاک انجام گرفته است، نشان می‌دهد.

شکل ۲۰- صفحه اول برنامه **swb_calc**

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L
1	**A simple soil water balance simulation model for fallow periods and estimating initial soil water.**											
2	**AS at GUASNR, January 2010.**											
3												
4	**INPUTS:**									**OUTPUTS:**		
5	StrtYR =		1384							ISOLWAT =		19
6	StrtMTH =		9							CRAIN =		142
7	StrtDAY		26							WI =		161
8	xDUR =		32									
9										CRINT =		0
10	stubldw =		0	t/ha						CDRAIN =		0
11	stubllt =		0	days						CRUNOF =		34
12										CE =		16
13	Slope =		0.05							WO =		50
14	ISOLWAT =		19									
15	SOLDEP =		1200		1. **Weather data in Sheet3** (Weather)					AASW =		111
16	LL =		0.11		2. **Daily results in Sheet2** (Output)					FASW =		0.61
17	DUL =		0.261									
18	CN2 =		79		**Clear Sheet2 (Output) before run.**							
19	SALB =		0.12									
20												
21												
22												

Run

برنامه subs1_xxx

مقدمه

این برنامه در واقع مدل‌های ساده‌ای است که برای شبیه‌سازی رشد و نمو گیاهان زراعی دانه‌ای مختلف به کار می‌رود. در این برنامه، زیر برنامه‌های مربوط به فرایندهای نمو، رشد و تشکیل عملکرد در کنار یکدیگر قرار می‌گیرند و مدل شبیه‌سازی حاصل می‌آید. این مدل به‌طور کامل در کتاب مدل‌سازی ریاضی گیاهان زراعی تألیف سلطانی (۱۳۸۸) توضیح داده شده است. در آن کتاب این مدل به زبان QBasic ارایه شده است که در این جا همین مدل به صورت برنامه‌ای ارائه شده است.

نحوه استفاده از برنامه subs1_xxx

برای استفاده از این برنامه باید داده‌های ورودی را در ذیل سه عنوان در برنامه تعریف کرد. این سه بخش شامل مدیریت، خاک و گیاه زراعی می‌باشد. در زیر بخش مدیریت (Management) اطلاعات مربوط به زمان و مکان آزمایش مورد نظر وارد می‌شود. در زیر بخش خاک (soil) اطلاعات مربوط به خاک را باید برای برنامه تعریف کرد. در بخش CROP نیز باید متغیرهای موجود برای گیاه زراعی را تعریف کرد. جدول (۲۱) به معرفی متغیرهای موجود در این دو بخش به همراه توضیح مختصری در مورد آنها می‌پردازد.

جدول ۲۱- ورودی‌های مدیریتی خاک برنامه subs1_xxx در صفحه اول (sheet1)

ورودی (Input) بخش مدیریت	تعریف
Pyear	سال میلادی کاشت
Pdoy	روز میلادی کاشت
PDEN	تراکم (تعداد در متر مربع)
frmng	نوع زراعت: (۱) آبی، (۲) دیم
IRGLWL	سطح آبیاری: کسری از آب قابل دسترس خاک که در آن با بلافاصله کمتر از آن آبیاری انجام می‌شود.
SWAI	ضریب نشان دهنده رطوبت خاک: (۰) نقطه پژمردگی دائم، (۱) ظرفیت زراعی
ورودی (Input) بخش خاک	
SOLDEP	عمق خاک (میلی‌متر)
LL	مقدار آب در نقطه پژمردگی دائم (میلی‌متر بر میلی متر یا cm^3 بر cm^3)
DUL	حد بالای آب در خاک پس از خروج آب ثقلی یا ظرفیت زراعی (میلی‌متر بر میلی‌متر یا cm^3 بر cm^3)
SAT	مقدار آب هنگام اشباع بودن (میلی‌متر بر میلی متر یا cm^3 بر cm^3)
DRAINF	ضریب زهکشی عمقی خاک
CN	شماره منحنی خاک برای محاسبه رواناب
SALB	آلبیدوی خاک

همانگونه که قبلاً بیان شد این متغیرها زیاد بوده و در این کتاب فقط به معرفی آنها پرداخته می‌شود. خوانندگان برای کسب اطلاعات بیشتر نسبت به چگونگی ساخت این مدل می‌توانند به کتاب مدل‌سازی ریاضی در گیاهان زراعی (۱۳۸۸) مراجعه کنند. جدول (۲۲) این متغیرها را به همراه تعریف آنها ارائه می‌کند.

جدول ۲۲- لیست متغیرهای ورودی‌های مربوط به گیاه در برنامه subs1_xxx مربوط به گندم

نام متغیر	تعریف
TBD	دمای پایه برای نمو (درجه سانتی‌گراد)
TP1D	دمای مطلوب تحتانی برای نمو (درجه سانتی‌گراد)
TP2D	دمای مطلوب فوقانی برای نمو (درجه سانتی‌گراد)
TCD	دمای سقف برای نمو (درجه سانتی‌گراد)
TTBSG	زمان حرارتی تجمعی از کاشت تا مرحله شروع رشد دانه (°Cd)
TTTSG	زمان حرارتی تجمعی از کاشت تا مرحله پایان رشد دانه (°Cd)
TTHAR	زمان حرارتی تجمعی از کاشت تا رسیدگی برداشت (°Cd)
X1PPL	مقدار x1 نقطه اول برای حل معادله سیگوئیدی ($y = x / (x + \exp(a - bx))$) حداکثر شاخص سطح برگ نسبی در مقابل تراکم بوته (تعداد در متر مربع)
Y1MXL	مقدار y1 نقطه اول برای حل معادله سیگوئیدی ($y = x / (x + \exp(a - bx))$) حداکثر شاخص سطح برگ نسبی در مقابل تراکم بوته (تعداد در متر مربع)
X2PPL	مقدار x2 نقطه دوم برای حل معادله سیگوئیدی ($y = x / (x + \exp(a - bx))$) حداکثر شاخص سطح برگ نسبی در مقابل تراکم بوته (تعداد در متر مربع)
Y2MXL	مقدار y2 نقطه دوم برای حل معادله سیگوئیدی ($y = x / (x + \exp(a - bx))$) حداکثر شاخص سطح برگ نسبی در مقابل تراکم بوته (تعداد در متر مربع)
X1NDS	مقدار x1 نقطه اول برای حل معادله سیگوئیدی ($y = x / (x + \exp(a - bx))$) شاخص سطح برگ نسبی در مقابل مرحله نمو نسبی (نرمالیزه شده)
Y1LAI	مقدار y1 نقطه اول برای حل معادله سیگوئیدی ($y = x / (x + \exp(a - bx))$) شاخص سطح برگ نسبی در مقابل مرحله نمو نسبی (نرمالیزه شده)
X2NDS	مقدار x2 نقطه اول برای حل معادله سیگوئیدی ($y = x / (x + \exp(a - bx))$) شاخص سطح برگ نسبی در مقابل مرحله نمو نسبی (نرمالیزه شده)
Y2LAI	مقدار y2 نقطه اول برای حل معادله سیگوئیدی ($y = x / (x + \exp(a - bx))$) شاخص سطح برگ نسبی در مقابل مرحله نمو نسبی (نرمالیزه شده)
LAIMXX	شاخص سطح برگ حداکثر در تراکم بالا
TBRUE	دمای پایه برای تولید ماده خشک (درجه سانتی‌گراد)

ادامه جدول ۲۲-

TP1RUE	دمای مطلوب تحتانی پایه برای تولید ماده خشک (درجه سانتی گراد)
TP2RUE	دمای مطلوب فوقانی برای تولید ماده خشک (درجه سانتی گراد)
TCRUE	دمای سقف برای تولید ماده خشک (درجه سانتی گراد)
KPAR	ضریب خاموشی برای تشعشع فعال فتوسنتزی
RRUE	نسبت کارایی استفاده از تشعشع در بعد از شروع رشد دانه به قبل از آن
IRUE	کارایی استفاده از تشعشع در شرایط مطلوب و در قبل از شروع رشد دانه‌ها (گرم بر مگاژول)
FGRN	ضریب توزیع ماده خشک به دانه در طی دوره پر شدن دانه
FRTRL	کسر ماده خشک در شروع رشد دانه که قابل انتقال مجدد به دانه‌ها است
RTDEP	عمق ریشه مؤثر در جذب آب (میلی متر)
WSSL	کسر آب قابل دسترس خاک که در کمتر از آن گسترش سطح برگ دچار نقصان می‌شود
WSSG	کسر آب قابل دسترس خاک که در کمتر از آن رشد و تعرق دچار کاهش می‌شوند
WSSD	ضریب حساسیت نمو به تنش خشکی

بعد از وارد کردن مقدار متغیرهای مربوط به گیاه زراعی می‌توان بر روی گزینه Run کلیک کرد و خروجی این برنامه بر حسب محاسبات روزانه در صفحه خروجی (output) قابل دستیابی است. لازم به ذکر است که داده های هواشناسی قبلاً باید در صفحه مربوط به خود (weather sheet) وارد شده باشد. در صفحه اول این برنامه همچنین مقادیر فصلی مربوط به خروجی مدل ارائه می‌شود که جدول (۲۳) این متغیرها را به همراه توضیح مختصری از آن ها نشان می‌دهد:

جدول ۲۳- لیست متغیرهای خروجی برنامه subs1_xxx مربوط به بخش مقادیر فصلی در صفحه اول برنامه

بخش فنولوژی	
نام متغیر	تعریف
DTBSG	روز تا شروع رشد دانه
DTTSG	روز تا مرحله پایان رشد دانه
DTHAR	روز تا رسیدگی برداشت
بخش رویشی	
نام متغیر	تعریف
BSGDM	ماده خشک تجمعی در مرحله شروع رشد دانه (گرم در متر مربع)

ادامه جدول ۲۳-

BSGLAI	شاخص سطح برگ در مرحله شروع رشد دانه (متر مربع در مترمربع)
MXLAI	شاخص سطح برگ حداکثر برای تراکم مورد استفاده

بخش برداشت

نام متغیر	تعریف
WVEG	وزن خشک تجمعی اجزای رویشی گیاه (گرم در مترمربع)
WGRN	وزن خشک تجمعی دانه (گرم در مترمربع)
WTOP	وزن خشک تجمعی تاج (گرم در مترمربع)
HI	شاخص برداشت
TRLDM	مقدار ماده خشک در شروع رشد دانه که قابل انتقال مجدد به دانه‌ها است (گرم در مترمربع)

بخش آب خاک

نام متغیر	تعریف
IASW	مقدار آب قابل دسترس خاک در ابتدای شبیه‌سازی (میلی‌متر)
RAIN	بارندگی روزانه (میلی‌متر)
IRGW	مقدار آب در یک نوبت آبیاری (میلی‌متر)
IRGNO	تعداد دفعات آبیاری به صورت تجمعی
SEVP	میزان تبخیر روزانه از سطح خاک (میلی‌متر)
CTR	تعرق تجمعی (میلی‌متر)
ET	مقدار تبخیر تعرق (میلی‌متر)
E / ET	نسبت تبخیر به تبخیر تعرق
DRAIN	زهکشی عمقی در هر روز (میلی‌متر)

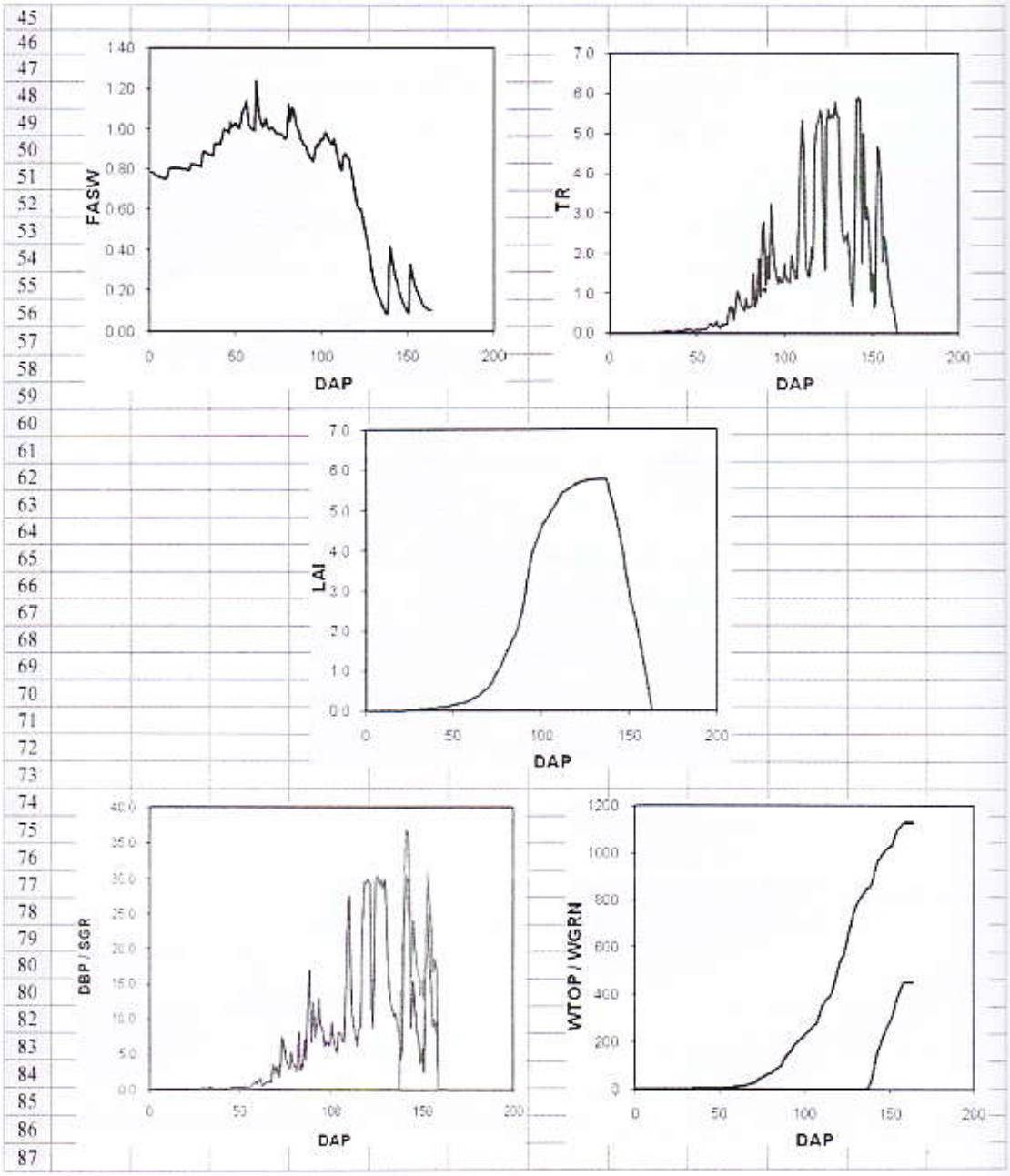
شکل (۲۱) نمونه‌ای از ورودی و خروجی خلاصه برنامه subs1_xxx برای گندم را نشان می‌دهد. همچنین در شکل (۲۲) نمایی از صفحه خروجی این برنامه که متغیرهای رشد و نمو گیاه و همچنین متغیرهای مربوط به موازنه آب خاک را به صورت روزانه محاسبه شده‌اند، نشان داده شده است.

شکل ۲۱- صفحه اول برنامه subs1_xxx

1	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L
2	**A simple crop simulation model; Subroutines for Crop Modeling book.**											
3	**LAI1 and DM1 are used to calc LAI and biomass production and partitioning.**											
4	**AS at GUASNR, January 2010.**											
5												
6												
7	**INPUTS:**				**CROP:**				**OUTPUTS:**			
8	**Management:**				**Name =**		**wheat (zag)**		**Phenology:**			
9	pyear =		2003						DTBSG =		138	
10	pdoy =		5		TBD =		0		DTTSG =		159	
11	PDEN =		300		TP1D =		24		DTHAR =		164	
12	frmng =		2		TP2D =		28					
13	IRGLVL =		0.5		TCD =		35		**Vegetative:**			
14	SWAI =		0.8		TTBSG =		1640		BSGDM =		841	
15	**SOIL:**				TTTSG =		2187		2187		5.8	
16	SOLDEP =		900		TTHAR =		2332		MXLAI =		5.8	
17	LL =		0.087		X1PPL =		125					
18	DUL =		0.22		Y1MXL =		0.6		**Harvest:**			
19	SAT =		0.32		X2PPL =		250		WVEG =		678	
20	DRAINF =		0.5		Y2MXL =		0.95		WGRN =		451	
21	CN =		70		X1NDS =		0.15		WTOP =		1129	
22	SALB =		0.13		Y1LAI =		0.01		HI =		40	
23					X2NDS =		0.5		TRLDM =		168	
24					Y2LAI =		0.95					
25					LAIMXX =		6		**Soil water:**			
26	**1. I/O in "Model"**				TBRUE =		0		IASW =		96	
27	**2. Weather data in "Weather"**				TP1RUE =		15		RAIN =		322	
28	**3. Daily outputs in "Outputs"**				TP2RUE =		22		IRGW =		0	
29					TCRUE =		35		IRNO =		0	
30	**Clear "Outputs" before run.**				KPAR =		0.65		SEVP =		76	
31					RRUE =		1		CTR =		234	
32					IRUE =		2.2		ET =		309	
33	Run				FGRN =		1		E / ET =		0.24	
34					FRTRL =		0.2		DRAIN =		92	
35					RTDEP =		900		RUNOFF =		4	
36					WSSL =		0.4					
37					WSSG =		0.3					
38					WSSD =		0.5					
39												
40												
41												
42												
43												
44												

همان‌گونه که در شکل (۲۲) مشاهده می‌کنید این برنامه بر حسب متغیرهای محاسبه شده روزانه نمودارهایی را نیز رسم می‌کند. این نمودارها شامل نمودار کسر آب قابل دسترس خاک (FASW) در مقابل روز بعد از کاشت (DAP)، تعرق روزانه (TR) بر حسب میلی‌متر در مقابل روز بعد از کاشت، شاخص سطح برگ در مقابل روز بعد از کاشت، سرعت رشد محصول (DBP) بر حسب گرم بر متر مربع در روز و سرعت رشد دانه (SGR) بر حسب گرم بر متر مربع در روز در مقابل روز بعد از کاشت (هر دو متغیر در یک نمودار آورده شده‌اند) و در نهایت نمودار روند تغییرات وزن خشک بخش هوایی (WTOP) و وزن خشک تجمعی دانه (WGRN) بر حسب گرم بر متر مربع در مقابل روز بعد از کاشت می‌باشند (هر دو متغیر در یک نمودار آورده شده‌اند). قابل ذکر است که نمودارهای دیگر نیز توسط کاربران قابل محاسبه و اضافه کردن به برنامه می‌باشد.

شکل ۲۲- صفحه خروجی برنامه **subs1_xxx** به همراه نمودارهای ترسیم شده بر مبنای اطلاعات روزانه



محاسبه شده روزانه
خاک (FASW) در
روز بعد از کاشت،
بر حسب گرم بر متر
در مقابل روز بعد از
تغییرات وزن خشک
بر متر مربع در مقابل
است که نمودارهای

برنامه subs2_xxx

مقدمه

نام این برنامه از مدلی به همین نام گرفته شده است. این مدل توسط سلطانی (۱۳۸۸) به طور کامل توضیح داده شده است. این مدل در مقایسه با subs1_xxx به تعداد بیشتری پارامتر و اطلاعات نیاز دارد ولی باز هم مدل ساده‌ای بوده و نیز با فیزیولوژی گیاهان زراعی انطباق بیشتری دارد. لازم به ذکر است از آنجایی که اکثر متغیرهای موجود در این برنامه کاملاً شبیه با آنهایی است که در برنامه subs1_xxx توضیح داده شده است لذا در توضیح این برنامه از بیان متغیرهای تکراری خودداری می‌شود و خوانندگان می‌توانند برای آگاهی از این متغیرها به جداولی که قبلاً در آن برنامه آورده شده است مراجعه کنند. در این جا بازهم بر این نکته تأکید می‌شود که آشنایی با مدل‌سازی گیاهان زراعی برای رسیدن به درک عمیق‌تری از چگونگی کارکرد این مدل ها و استفاده صحیح و بهتر از این مدل‌ها برای کاربران ضروری می‌باشد و توصیه می‌شود که کاربران در صورت نیاز به استفاده از این مدل‌ها کتاب مدل سازی ریاضی در گیاهان زراعی تألیف سلطانی (۱۳۸۸ب) را مطالعه نمایند.

در این برنامه نیز مانند مدل قبلی سه زیر بخش مدیریت، خاک و گیاه زراعی وجود دارد و اطلاعات در سه بخش توسط مدل دریافت می‌شود. بخش مدیریت و بخش خاک مانند آنچه که در برنامه subs1_xxx ذکر شد می‌باشد، اما در بخش گیاه زراعی برخی متغیرهای جدید به برنامه اضافه شده‌اند، برخی حذف شده و برخی تغییر یافته‌اند که جدول (۲۴) این متغیرها را به همراه تعریف آن‌ها نشان می‌دهد.

جدول ۲۴- لیست متغیرهای مربوط به برنامه subs2_xxx برای گندم در زیر بخش گیاه زراعی (crop) در صفحه اول برنامه که در برنامه subs1_xxx موجود نبوده‌اند.

نام متغیر	تعریف
TTEMR	زمان حرارتی تجمعی از کاشت تا سبز شدن (درجه سانتی‌گراد روز)
TTTLG	زمان حرارتی تجمعی از کاشت تا مرحله پایان رشد برگ‌ها (درجه سانتی‌گراد روز)
PHYL	فیلوکرون (درجه سانتی‌گراد بر برگ)
TMPLAI	شاخص سطح برگ که در بیشتر از آن رشد برگ‌ها ممکن است در اثر فراهمی مواد فتوسنتزی محدود شود
PLACON	ضریب a در معادله توانی ارتباط دهنده سطح برگ بوته به تعداد گره در ساقه اصلی
PLAPOW	ضریب b در معادله توانی ارتباط دهنده سطح برگ بوته به تعداد گره در ساقه اصلی
RLSR	سرعت نسبی پیر شدن سطح برگ (متر مربع در متر مربع بر درجه سانتی گراد روز)
SLA	سطح ویژه برگ (متر مربع بر گرم)
FLV1A	ضریب توزیع ماده خشک به برگ ها از مرحله سبز شدن تا پایان رشد برگ در سطوح پایین ماده خشک

ادامه جدول ۲۴-

FLV1B	ضریب توزیع ماده خشک به برگها از مرحله سبز شدن تا پایان رشد برگ در سطوح بالای ماده خشک.
WTOPFL	وزن خشک تاج که در بالاتر از آن ضریب توزیع ماده خشک به برگ ها در دوره زمانی از مرحله سبز شدن تامرحله پایان رشد برگ کاهش می‌یابد (گرم در متر مربع)
FLV2	ضریب توزیع ماده خشک به برگ‌ها از مرحله پایان رشد برگ تا شروع رشد دانه

در این برنامه نیز مشابه با مدل قبلی باید اطلاعات مربوط به بخش هواشناسی را در صفحه سوم این برنامه از قبل وارد کرد. پس از وارد کردن تمامی اطلاعات مورد نیاز در صفحه اول این مدل بر روی دگمه Run کلیک کرده و مدل به شبیه سازی رشد گیاه زراعی پرداخته و در نهایت خروجی را به دو صورت فصلی (موجود در بخش خروجی در صفحه اول برنامه) و روزانه (موجود در صفحه خروجی) به همراه نمودارهای مربوطه می‌پردازد. متغیرهای خروجی این دو برنامه یکی می‌باشند و فقط در خروجی بخش فنولوژی دو این مدل دو متغیر روز تا سبز شدن (DTEMR) و روز تا مرحله پایان رشد مؤثر برگ (DTTLG) را نیز ارائه می‌دهد. شکل (۲۱) صفحه اول این مدل را که برای شبیه سازی رشد و عملکرد گندم رقم زاگرس مورد استفاده قرار گرفته است را نشان می‌دهد.

شکل ۲۳- صفحه اول برنامه subs2_xxx

1	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L
2	**A simple crop simulation model; Subroutines for Crop Modeling book.**											
3	**LAI2 and DM2 are used to calc LAI and biomass production and partitioning.**											
4	**AS at GUASNR, January 2010.**											
5												
6												
7	**INPUTS:**				**CROP:**				**OUTPUTS:**			
8	**Management:**				**Name =**	**wheat (zag)**			**Phenology:**			
9	pyear =		2003		TBD =	0			DTEMR =	21		
10	pdoy =		5		TP1D =	24			DTTLG =	129		
11	PDEN =		300		TP2D =	28			DTBSG =	138		
12	frmng =		2		TCD =	35			DTTSG =	159		
13	IRGLVL =		0.5		TTEMR =	173			DTHAR =	164		
14	SWAI =		0.8		TTTLG =	1400						
15	**SOIL:**				TTBSG =	1640			**Vegetative**			
16	SOLDEP =		900						BSGDM =	898		
17	LL =		0.08 7		TTTSG =	2187			BSGLAI =	7.6		
18	DUL =		0.22		TTHAR =	2332			MXLAI =	7.6		
19	SAT =		0.32		PHYL =	112						
20	DRAINF =		0.5		TMPLAI =	0.7			**Harvest:**			
21	CN =		70		PLACON =	1			WVEG =	724		
22	SALB =		0.13		PLAPOW =	3.051			WGRN =	446		
23					RLSR =	0.003			WTOP =	1170		
24					SLA =	0.028			HI =	38		
25					TBRUE =	0			TRLDM =	180		
26	**1. I/O in "Model"**				TP1RUE =	15						
27	**2. Weather data in "Weather"**				TP2RUE =	22			**Soil water:**			
28	**3. Daily outputs in "Outputs"**				TCRUE =	35			IASW =	96		
29					KPAR =	0.65			RAIN =	322		
30	**Clear "Outputs" before run.**				RRUE =	1			IRGW =	0		
31					IRUE =	2.2			IRNO =	0		
32					FLV1A =	0.65			SEVP =	73		
33		Run			FLV1B =	0.25			CTR =	245		
34					WTOPFL =	160			ET =	318		
35					FLV2 =	0			E / ET =	0.23		
36					FGRN =	1			DRAIN =	82		
37					FRTRL =	0.2			RUNOFF =	4		
38					RTDEP =	900						
39					WSSL =	0.4						
40					WSSG =	0.3						
41					WSSD =	0.5						
42												
43												
44												

منابع

جدی حسینی، س.م.، س. گالشی، ا. سلطانی و ف. اکرم‌قادری. ۱۳۸۶. بررسی خصوصیات فیزیولوژیک ژنوتیپ های حساس و متحمل به شوری پنبه. مجله علوم کشاورزی و منابع طبیعی. سال ۱۴، شماره ششم، بهمن و اسفند. صفحه ۶۳ تا ۷۱.

راحمی کاریزکی، ع.، ا. سلطانی، ج. پوررضا، ا. زینلی. ۱۳۸۶. برآورد ضریب خاموشی و کارایی استفاده از تشعشع در نخود در شرایط مزرعه. مجله علوم کشاورزی و منابع طبیعی. جلد ۱۴، ش۵ ویژه‌نامه زراعت، ۲۱۱-۲۲۱.

سلطانی، ا.، ا. زینلی، و س. گالشی. ۱۳۷۹. یک مدل رایانه‌ای برای شبیه‌سازی فتوسنتز و تعرق در گیاهان زراعی. مجله علوم کشاورزی و منابع طبیعی، جلد ۷، شماره۱، صفحه ۳۸ تا ۴۸.

سلطانی، ا. ۱۳۸۳. درسنامه اکولوژی گیاهان زراعی تکمیلی. دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان.

سلطانی، ا. ۱۳۸۸ (الف). درسنامه اکولوژی تولید گیاهان زراعی. دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان.

سلطانی، ا.، ۱۳۸۰. تولید و تکمیل داده‌های هواشناسی ناقص با استفاده از داده‌های موجود. گزارش طرح تحقیقاتی دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان.

سلطانی، ا.، ۱۳۸۸ (ب). مدل‌سازی ریاضی درگیاهان زراعی. انتشارات جهاد دانشگاهی مشهد.

سلطانی، ا.، ا. فرجی. ۱۳۸۶ (الف). رابطه آب خاک و گیاه. انتشارات جهاد دانشگاهی مشهد.

سلطانی، ا.، ف. رحیم‌زاده خویی، ع. کوچکی، ع. جوانشیر و ا. سلطانی. ۱۳۸۶ (ب). مقایسه آیش فصلی و سالانه با مقادیر مختلف کاه و کلش از طریق شبیه‌سازی موازنه آب خاک در آذربایجان شرقی. مجله پژوهش‌های زراعی ایران. جلد ۵، شماره ۲، صفحه ۲۹۱ تا ۳۰۰.

سلطانی، ا.، و م. قلی پور. ۱۳۸۵. شبیه‌سازی اثر تغییر اقلیم بر رشد، عملکرد و مصرف نخود. مجلهٔ علوم کشاورزی و منابع طبیعی. جلد ۱۳، شمارهٔ ۲، ص. ۶۹ تا ۷۹.

عدالتی فرد، ل.، س. گالشی، ا. سلطانی و ف. اکرم‌قادری. ۱۳۸۵. نقش صفات مورفولوژیک در مقاومت به خشکی در ژنوتیپ‌های پنبه. مجلهٔ علوم کشاورزی و منابع طبیعی. جلد ۱۳، ویژه‌نامه زراعت،ص ۷۸ تا ۹۳.

قربانی، م.، ا. زینلی، ا. سلطانی، و س. گالشی. ۱۳۸۲. تأثیر تنش شوری بر رشد، عملکرد و اجزای عملکرد دانه دو رقم گندم. مجلهٔ علوم کشاورزی و منابع طبیعی. جلد ۱۰، شمارهٔ ۴، ص ۵ تا ۱۳.

قربانی، م.ح.، ا. سلطانی و امیری، س. ۱۳۸۶. تاثیر شوری و اندازه بذر بر واکنش جوانه‌زنی و رشد گیاهچه گندم. مجله علوم کشاورزی و منابع طبیعی، جلد ۱۴، شماره ششم، بهمن و اسفند. صفحه ۴۴-۵۲.

گالشی، س.، س. فرزانه، و ا. سلطانی. ۱۳۸۴. بررسی تحمل به خشکی در چهل ژنوتیپ پنبه در مرحله گیاهچه. مجلهٔ نهال و بذر. جلد ۲۱، شمارهٔ ۱، ص ۶۵ تا ۷۹.

مداح‌یزدی، و.، ا. سلطانی، ب. کامکار و ا. زینلی. ۱۳۸۷. فیزیولوژی مقایسه‌ای گندم و نخود: شاخص سطح برگ، دریافت و استفاده از تشعشع و توزیع ماده خشک به برگ‌ها. مجله علوم کشاورزی و منابع طبیعی، جلد ۱۵، شماره ۴، ۴۵-۵۵.

نصیری محلاتی، م. ۱۳۷۹. مدل‌سازی فرآیندهای رشد گیاهان زراعی. انتشارات جهاد دانشگاهی مشهد.

یوسفی‌داز، م.، ا. سلطانی، ا. زینلی و ر. سرپرست. ۱۳۸۵ (الف). اثرات دما و عمق کاشت بر سبز شدن گیاه نخود رقم هاشم. مجلهٔ علوم کشاورزی و منابع طبیعی، جلد ۱۳، ویژه‌نامه زراعت، ص. ۱۲ تا ۲۰.

یوسفی‌داز، م.، ا. سلطانی، ف. اکرم‌قادری، ا. زینلی، و ر. سرپرست. ۱۳۸۵ (ب). ارزیابی مدل‌های رگرسیونی غیر خطی برای توصیف سرعت سبز شدن نخود نسبت به دما. مجلهٔ علوم و صنایع کشاورزی. جلد ۲۰، شمارهٔ ۱، ۹۳-۱۰۲.

Dobermann, A., White, P. F. 1999. Strategies for nutrient management in irrigated and rainfed lowland rice systems. Nutrient Cycling in Agroecosystems 53: 1-18.

Flénet, F., Kiniry, J. R., Board, J. E., Westgate, M. E., Reicosky, D. C., 1996. Row Spacing Effects on Light Extinction Coefficient of Corn, Sorghum, Soybean, and Sunflower. Agron. J. 88, 185-190.

Gholipoor, M., A. Soltani, F. Shekari, and Fb. Shekari. 2002. Effect of salinity on water use efficiency and its components in chickpea. Acta Agronomica Hungarica 50(2): 127-134.

Janssen, B. H., Guiking, F. C. T., van der Eijk, D., Smaling, E. M. A., Wolf, J., van Ruler, H. 1990. A system for quantitative evaluation of the fertility of tropical soils. Geoderma 46: 299-318.

Keisiling, T. C., 1982. Calculation of the length of day. Agron. J. 74: 758-759.

Liu, M., Yu, Z., Liu, Y., Konjin, N. T. 2006. Fertilizer requirement for wheat and maize in china. The QUEFTS approach. Nutrient Cycling in Agroecosystems 74: 245-258.

Monsi, M., and T. Saeki., 1953. Uber den lichtfaktor in den pflanzenge sellschaften und seine bedeutung fur die stoffproduktion. Jpn. J. Bot. 14, 22-52.

Pathak, H., Aggarwal, P. K., Roetter, R., Karla, N., Bandyopadhaya, S. K., Prasad, S., van Keulen, H. 2003. Modelling the quantitative evaluation of soil nutrient supply, nutrient efficiency, and fertilizer requirements for wheat in India. Nutrient Cycling in Agroecosystems 65: 105-113.

Saxton, K. E., W. J. Rawls, J. S. Romberger, R. I. Papendick. 1986. Estimating generalized soil-water characteristics from texture. Soil Sci. Soc. Am, J. 50: 1031-1036.

Smaling E. M. A., Janssen B. H. 1993. Calibration of QUEFTS, a model predicting nutrient uptake and yields from chemical soil fertility indices. Geoderma 49, 21-44.

Soltani, A., E. Zeinali, S. Galeshi, and N. Latifi. 2002. Germination, seed reserve utilization and seedling growth of chickpea as affected by salinity and seed size. Seed Sci. Technol. 30: 51-60.

Soltani, A., M. Gholipoor, K. Ghassemi-Golezani. 2007. Analysis of temperature and atmospheric CO2 effects on radiation use efficiency in chickpea (*Cicer arietinum* L.). J. Plant Sci. 2(1): 89-95.

Soltani, A., M. H. Ghorbani, S. Galeshi, E. Zeinali. 2004. Salinity effects on germinability and vigor of harvested seeds in wheat. Seed Sci. Technol. 32(2): 583-592.

Soltani, A., M.J. Robertson, and A.M. Manschadi. 2006a. Modeling chickpea growth and development: nitrogen accumulation and use. Field Crops Res. 99: 24-34.

Soltani, A., M.J. Robertson, B. Torabi, M. Yousefi-Daz, and R. Sarparast. 2006b. Modeling seedling emergence in chickpea as influenced by temperature and sowing depth. Agric. For. Meteorol. 138: 156-167.

Soltani, A., S. Galeshi, E. Zeinali, and N. Latifi. 2001. Genetic variation for and interrelationships among seed vigor traits in wheat from the Caspian Sea coasts of Iran. Seed Sci. Technol. 29(3): 653-662.

Witt, C. A., Dobermann, S., Gines, H. C., Guanghuo, W., Nagarajan, R. 1999. Internal nutrient efficiencies in irrigated lowland rice of tropical and subtropical Asia. Field Crops Research 63: 113-138.

Simple, Applied Programs for Education and Research in Agronomy

By:
Soltani, A. (Ph.D)
Maddah, V. (M.Sc)

ISBN: 9786009030088