

**O‘ZBEKISTON RESPUBLIKASI OLIY TA’LIM, FAN VA
INNOVATSIYALAR VAZIRLIGI**

«TIQXMMI» MILLIY TADQIQIOT UNIVERSITETI

SHEROV ANVAR GULAMOVICH

GADAYEV NODIRJON NOSIRJONOVICH

SUG‘ORISH TARTIBLARINI MODELLASHTIRISH



Toshkent – 2023 yil

UDK: 631.6

Mualliflar: Sherov A., Gadayev N.N. Sug'orish tartiblarini kompyuter dasturlari asosida ishlab chiqish. O'quv qo'llanma., Toshkent-2023., 106 b.

Taqrizchilar: Y.Shermatov O'zbekiston Respublikasi Suv xo'jaligi vazirligi «Irrigatsiya va muammolari» ilmiy - tadqiqot katta ilmiy xodim, t.f.d.

I.Ruziyev, TIQXMMI MTUning "Geologiya va gidrogeologiya" kafedra mudiri PhD

O'quv qo'llanma 60813000 –Suv xo'jaligida innovatsion texnologiyalar va ulardan foydalanish bakalavrlarining bilim darajasini oshirish, o'rganish va o'zlashtirish uchun zarur bo'lgan maxsus ma'lumotlar va kerakli adabiyotlar ro'yxati berilgan.

ANNOTATSIYA

Ushbu o'quv qo'llanmada Birlashgan millatlar tashkilotining Oziq-ovqat va qishlok xo'jaligi tashkiloti tomonidan ishlab chiqilgan AquaCrop, CropWat ekin modelining qisqacha tavsifi, uning tuzilishi va imkoniyatlari hamda simulyatsiyalash bosqichlari, qishloq xo'jaligi ekinlarining sug'orish tartiblari bayon etilgan. Modelga kiritiladigan ma'lumotlar to'plami, model yordamida simulyatsiyalash va bashoratlash natijalari hamda haqiqiy va bashoratlangan tuproq, suv hamda o'simlik ko'rsatkichlarini statistik yo'llar yordamida taqqoslash va baholash batafsil keltirilgan. Mazkur o'quv qo'llanma AquaCrop, CropWat modeli asosida tayyorlandi.

АННОТАЦИЯ

В этом учебном пособии представлено краткое описание модели сельскохозяйственных культур AquaCrop, CropWat, разработанной Продовольственной и сельскохозяйственной организацией Объединенных Наций, ее структуры и возможностей, а также этапов моделирования и процедур разработка режима орошения сельскохозяйственных культур. Подробно представлены наборы входных данных модели, результаты моделирования и прогнозирования, а также статистические сравнения и оценки фактических и прогнозируемых параметров почвы, воды и растительности. Этот урок был подготовлен на основе модели Aqua Crop, Crop Wat.

ANNOTATION

This tutorial provides a brief description of the crop model AquaCrop, CropWat, developed by the Food and Agriculture Organization of the United Nations, its structure and capabilities, as well as simulation steps and irrigation procedures for agricultural crops. The model input data sets, model simulation and prediction results, and statistical comparisons and evaluations of actual and predicted soil, water, and vegetation parameters are presented in detail. This tutorial was prepared based on AquaCrop, CropWat model.

«TIQXMMI» Milliy tadqiqot universiteti Ilmiy Kengashining 2023 yil ___ «___» sonli buyrug'iga asosan chop etildi.

KIRISH

Ushbu o'quv qo'llanmada global iqlim o'zgarishi va suv tanqisligining oshib borishi munosabati bilan qishloq xo'jaligi ekinlarini suvga bo'lgan talabini meteorologik parametrlardan foydalangan holda FAO uslubiyoti, ya'ni CropWat 8.0, Aqua Crop dasturi asosida sug'orish tartiblarini tuproq-gidrogeologik sharoitlarni hisobga olib ishlab chiqish bo'yicha olib borilgan ilmiy tadqiqotlarning natijalari keltirilgan. Ekinlarning suvtejamkor, ilmiy asoslangan sug'orish tartiblari umum qabul qilingan gidromodul rayonlar bo'yicha ishlab chiqilgan. Uslubiy qo'llanma meteorologik ma'lumotlar va ekin koeffitsientlaridan olingan ma'lumotlarning va o'simliklarning evapotranspiratsiyasini hisoblashning yangilangan tartiblari ishlab chiqilgan.

O'z Gidrometning taxlillariga binoan 2030 yilga qadar suv resurslari hozirgi me'yorda saqlanib qoladi. Havo haroratining yanada oshishi bilan daryolar oqimi kamayadi, iqlim isishining Sirdaryo va Amudaryo havzasi daryolari va kichik soylarga ta'siri nisbatan sezilarli bo'ladi, barcha xavzalarda oqimning o'zgaruvchanligi oshadi. Iqlimning isishi bo'yicha ko'rib chiqilgan iqlimiy ssenariylarning hech birida mavjud suv resurslarini oshishi bashorat qilinmaydi, kutilayotgan iqlimning isishi sharoitida umumiy bug'lanishning ortishi sug'oriladigan maydonlardan suvning yo'qotilishini oshiradi, bu esa qo'shimcha suv sarfini talab qiladi.

Iqlim o'zgarishi suv yuzalaridan suvning bug'lanishini 10-15% ga, o'simliklar transpiratsiyasi va sug'orish me'yorlarining ortishi tufayli suvning 10-20% ko'proq sarflanishiga olib keladi. Bu esa, suvning tiklanmay iste'mol qilinishini o'rta hisobda 18% ga ortishiga olib keladi. Iqlim sharoitlarining o'zgarishi hisobiga sug'oriladigan yerlarda suv iste'molining mumkin bo'lgan oshishini baholash (turli xil ekinlarning suv iste'moli, yo'qotishlar, yerlarning meliorativ holatini o'zgarishi) bugungi kunning dolzarb muammosidir.

O'zbekiston Respublikasi Orol dengizi havzasida joylashgan bo'lib, uning asosiy suv manbai Amudaryo va Sirdaryo daryolari, shuningdek, ichki daryo va soylar hamda yer osti suvlaridir. Orol dengizi havzasidagi barcha manbalarning

oʻrtacha koʻp yillik suv oqimi 114,4 mlrd m³ ni tashkil etadi, shundan 78,34 m³ va Amudaryo havzasida va 36,06 m³ Sirdaryo havzasida shakllanadi. Yer osti suvlarining umumiy zaxirasi 31,2 mlrd m³ ni tashkil etib, uning 47,2 % Amudaryo havzasiga, 52,8 % i esa, Sirdaryo havzasiga toʻgʻri keladi. «Amudaryo» va «Sirdaryo» havzalari suv resurslaridan kompleks foydalanish va ularni muhofaza qilish sxemalariga muvofiq Oʻzbekiston Respublikasi uchun oʻrtacha koʻp yillik suv olish limiti 64 mlrd m³ ni tashkil etadi, ammo soʻnggi yillarda global iqlim oʻzgarishi, shuningdek transchegaraviy daryolar suv resurslaridan foydalanish muammolari tufayli, foydalanilgan oʻrtacha yillik suv miqdori 51 - 53 mlrd m³ ni tashkil etib, jami suv resurslarining oʻrtacha 90-91 foizi qishloq xoʻjaligida, 4,5 foizi, kommunal-maishiy xoʻjalik sohasida, 1,4 foizi sanoatda, 1,2 foizi baliqchilikda, 0,5 foizi issiqlik energetikasida, 1 foizi esa, iqtisodiyotning boshqa tarmoqlarida foydalaniladi.

Respublikamizda va qishloq xoʻjaligi uchun sugʻorish suvining jiddiy tanqisligi kuzatilmoqda hamda iqlim oʻzgarishi natijasida qishloq xoʻjaligi ekinlarini suvga boʻlgan talabi ortib borayotganligi sababli qishloq xoʻjaligida suvdan samarali foydalanish ustuvor yoʻnalish hisoblanadi. AquaCrop modeli yordamida quyidagi ishlarnibajarishmumkin: Suv resurslari chegaralangan sharoitlarda erishiladigan hosildorlikni baholash, dala, fermer xoʻjaligi yoki mintaqa doirasida rejalashtirilgan va xaqiqiy hosilni solishtirma ravishda taxlil qilish, hosil kamayishi sabablarini izlab topish, turli ob-havo sharoitlarida ekinlardan yuqori hosilga erishish uchun maqbul sugʻorish tartibotini ishlab chiqish, suv tanqisligi sharoitida ekinlarni sugʻorish tartibotini ishlab chiqish, belgilangan miqdorda suv ajratilganda sugʻorish oʻtkazishning rejalashtirilgan hosilga taʼsirini baholash, ekinlarni almashlab ekish va ob-havo oʻzgarishining ekinlar hosildorligiga taʼsiri boʻyicha koʻrinishlar yaratish, chegaralangan miqdordagi suvdan samarali foydalanish, dala, fermer xoʻjaligi yoki mintaqa doirasida xaqiqiy (biologik/iqtisodiy) suv mahsuldorligini baholash, suv taqsimotida rahbar va mutaxassislariga yaqindan yordam koʻrsatish.

I-BOB. SUG‘ORISH TARTIBLARINI ZAMONAVIY KOMPYUTER TEXNOLOGIYALARIGA ASOSLANGAN FAO USLUBIYOTI –CROPWAT DASTURIGA BINOAN ISHLAB CHIQUISH

1.1.Sug‘orish tartiblari bo‘yicha tushuncha

Biz o‘rganayotgan ushbu CropWat dasturi birinchi bo‘lib 1992-yil BMTning “Food and Agriculture Organization” (FAO) tashkiloti tomonidan ishlab chiqilgan. Ushbu dastur 6 ta kontinental iqlim va 144 ta mamlakatdagi yomg‘irli va qurg‘oqchil maydonlarda foydalanish uchun mo‘ljallangan.

O‘zbekiston sharoitida qishloq xo‘jaligida suv resurslaridan foydalanishni rejalashtirishni FAO ning CropWat dasturini qo‘llash asosida bajarish mumkin.

CropWat dasturining asosiy maqsadi qishloq xo‘jaligi ekinlarini suvga bo‘lgan talabi va sug‘orish me‘yorini aniqlashdan iborat. Dastur yordamida ekinlarning suvga bo‘lgan talabini aniqlash, iqlim, tuproq va o‘simlik to‘g‘risidagi ma‘lumotlarni kiritish orqali amalga oshiriladi. CropWat dasturi qishloq xo‘jaligi ekinlari yetishtirilayotgan hududning iqlimi, tuproq sharoitlari va ekin to‘g‘risidagi ko‘p yillik ma‘lumotlarni qayta ishlash asosida ekinning suvga bo‘lgan talabini aniqlash uchun mo‘ljallangan bo‘lib, undan foydalanishning asosiy maqsadi ekinning sug‘orish me‘yori va muddatlari hamda ekinni mavsum davomida sug‘orish grafigini ishlab chiqishdan iborat.

CropWat suvning mavjudligi va talabini baholash, sug‘orish tizimlarini optimallashtirish va qishloq xo‘jaligida suvdan foydalanish samaradorligini oshirish uchun ishlatilishi mumkin.

CropWat dasturidan foydalanish uchun quyidagi ma‘lumotlar talab qilinadi:

1. Iqlim ma‘lumotlari: o‘rtacha yillik havo harorati, yog‘ingarchilik, nisbiy namlik, shamol tezligi va quyosh radiatsiyasi.
2. Tuproq ma‘lumotlari: tuproq turi, yer osti suvlarining chuqurligi, tuproq tuzilishi, undagi qum, gil va organik moddalar miqdori.
3. Ekin ma‘lumotlari: ekin turi, hosildorlik darajasi, vegetatsiya davrining davomiyligi, mahsulot birligiga suv qo‘llash darajasi.

4. Sug'orish tizimi ma'lumotlari: sug'orish tizimining turi, sug'orish usuli, sug'orish samaradorligi koeffitsienti.

Ushbu ma'lumotlarga asoslanib, CropWat hisob-kitoblarni amalga oshiradi va ma'lum bir ekin va sharoit uchun optimal sug'orish jadvali haqida ma'lumot beradi.

CropWat 8.0 da qo'llaniladigan barcha hisoblash tartib-qoidalari FAOning sug'orish va drenajlash seriyasining ikkita nashriga, xususan, № 56-soni "O'simliklarning bug'lanishi - O'simlik suviga bo'lgan ehtiyojni hisoblash bo'yicha ko'rsatmalar" va "Suvga hosildorlik munosabati" nomli № 33-sonli nashrlarga asoslanadi.

Boshlanish nuqtasi sifatida va faqat mahalliy ma'lumotlar mavjud bo'lmaganda foydalanish uchun CropWat 8.0 standart ekin va tuproq ma'lumotlarini o'z ichiga oladi. Mahalliy ma'lumotlar mavjud bo'lganda, bu ma'lumotlar fayllarini osongina o'zgartirish yoki yangilarini yaratish mumkin. Xuddi shunday, agar mahalliy iqlim ma'lumotlari mavjud bo'lmasa, ularni butun dunyo bo'ylab 5000 dan ortiq stantsiyalar uchun ClimWat, tegishli iqlimiy ma'lumotlar bazasidan olish mumkin. CropWat 8.0 da sug'orish jadvallarini ishlab chiqish suv ta'minoti va sug'orishni boshqarish shartlari uchun foydalanuvchi tomonidan belgilangan turli xil variantlardan foydalangan holda kunlik tuproq-suv balansiga asoslanadi. Suv ta'minoti sxemasi foydalanuvchi tomonidan aniqlangan, 20 tagacha ekinni o'z ichiga olishi mumkin bo'lgan ekin ekish sxemasiga muvofiq hisoblanadi.

CropWat 8.0 oldingi DOS versiyalariga asoslangan Windows dasturidir. To'liq qayta ishlangan foydalanuvchi interfeysidan tashqari, Windows uchun CropWat 8.0 ko'plab yangilangan va yangi xususiyatlarni o'z ichiga oladi, jumladan:

- mos yozuvlar evapotranspiratsiyani (ET_o) hisoblash uchun oylik, o'n yillik va kunlik iqlim ma'lumotlarini kiritish;
- Climwat ma'lumotlar bazasidan ma'lumotlardan foydalanishga ruxsat berish uchun orqaga qarab muvofiqlik;
- o'lchangan qiymatlar bo'lmaganda iqlimiy ma'lumotlarni baholash imkoniyati;
- yangilangan hisoblash algoritmlari asosida ekinlarning suvga bo'lgan ehtiyojini oylik, yillik va kunlik hisoblash, shu jumladan ekin koeffitsienti qiymatlarini sozlash;

ekinlarning suvga bo'lgan ehtiyojini hisoblash va sholi va tog'li sholi uchun sug'orish jadvalini tuzish, suvga bo'lgan ehtiyojni hisoblash uchun yangi ishlab chiqilgan tartibni qo'llash, shu jumladan yer tayyorlash davri;

- interaktiv foydalanuvchi tomonidan sozlanishi sug'orish jadvallari;
- kunlik tuproq suv balansi chiqish jadvallari;
- seanslar va foydalanuvchi tomonidan belgilangan sug'orish jadvallarini osongina saqlash va olish;
- kirish ma'lumotlarining grafik taqdimotlari, ekinlar uchun suv talablari va sug'orish jadvallari;

FAO ning CropWat dasturini qishloq xo'jaligi ekinlarining barcha turlarida qo'llashimiz mumkin. Ushbu dasturning ishlashida foydalaniladigan iqlim, tuproq va o'simlik haqidagi ma'lumotlarni ketma-ket tartibda ko'rib chiqamiz. Sug'orish suvi o'simlikning o'sishi davrida uning quruq massasini hosil qilish uchun ishlatiladi. Qolgani o'simlikning barglari va tanasi orqali bug'lanishiga - transpiratsiyaga sarflanadi.

Transpiratsiya - o'simliklarning barglaridan suvning bug'lanishidir. Buni aniqlashning bir qancha usullari mavjud. Formulalar va lizimetr yordamida aniqlash mumkin.

Transpiratsiya ko'effitsiyenti - o'simlikning bir birlik quruq massasini hosil qilish uchun sarflangan suv miqdoridir.

Transpiratsiyani baholashda asosan, radiyatsiya, havo harorati, havo namligi va shamol tezligi muhim ahamiyatga ega.

1.2.Iqlim ma'lumotlarini yig'ish tartibi.

ET_0 ni hisoblash uchun bizga ayrim iqlim ma'lumotlari talab qilinadi. Bu ma'lumotlar eng kamida:

- Makon joylashgan joyi;
- Makonning dengiz sathidan balandligi;
- Havoning kunlik minimum va maksimum harorati;
- Havoning nisbiy namligi;

- Yuzadan 2m balandlikdagi shamol tezligi;
- Quyosh radiatsiyasi.

Bu ma’umotlar 2022 yil yanvar oyidan boshlab bo’lgan iqlim ko’rsatkichlarini aks etib, biz talab qilgan barcha ma’lumotlarni taqdim qildi. Nuqtalarni tanlashda Google Earth® dasturi orqali faqatgina ekin maydonlarini tanlashga harakat qildik va cho’l zonalaridagi quruq havo o’rtacha ko’rsatkichlarni oshirib ko’rsatishiga yo‘l qo‘ymaslik kerak edi. Barcha ma’lumotlar O‘zbekiston Gidrometereologiya markazidan olindi (1.1-jadval).

1.1-jadval.

Xorazm viloyati bo‘yicha bir yillik iqlim ma’lumotlari.

Oylar	Kunlar	Yil	Max xavo xarorati	Min xavo xarorati	O‘r. xavo xarorati	Yog‘in	Xavoning nisbiy namligi	Shamol tezligi	Quyoshning nur sochish davomiyligi
1	1	2022	10.2	0.8	5.5	0	83	2.8	4.50
1	2	2022	6.7	1.5	4.1	0	92	2	4.60
1	3	2022	9.4	1.5	5.45	0	88	2.9	0.00
1	4	2022	7	-1.1	2.95	0	75	3.8	3.60
1	5	2022	2	-8.6	-3.3	0	83	2.9	6.90
1	6	2022	0.6	-3.9	-1.65	0	80	2	1.00
1	7	2022	0.1	-8.4	-4.15	0	81	1.9	5.50
1	8	2022	3.6	-11.4	-3.9	0	74	4.4	5.10
1	9	2022	6.6	-4.6	1	0	80	5	5.80
1	10	2022	3	-6.2	-1.6	0	77	3.1	4.90
1	11	2022	2.3	-2.9	-0.3	0	82	3.3	0.00
1	12	2022	1.1	-2.2	-0.55	0	72	3.1	3.20
1	13	2022	3.3	-3.9	-0.3	0	70	3.3	2.90
1	14	2022	6.9	-1.8	2.55	0	71	4	0.00
1	15	2022	4.7	0.4	2.55	0	65	3	1.50
1	16	2022	4.5	-4.5	0	0	63	4.5	8.80
1	17	2022	5.2	-10.3	-2.55	0	75	2	3.80
1	18	2022	3.8	-8.5	-2.35	0	78	3.9	3.80
1	19	2022	4.3	-1	1.65	0	74	3.1	0.00
1	20	2022	2.4	-3.3	-0.45	0	79	3	0.00
1	21	2022	0.3	-5	-2.35	0	78	2.9	0.40
1	22	2022	2.4	-2.5	-0.05	0	69	4.1	1.90
1	23	2022	7	-2	2.5	0	72	4.4	8.40
1	24	2022	9	-6	1.5	0	76	4	1.00
1	25	2022	3.5	-2.5	0.5	1.6	81	3.6	5.60
1	26	2022	5	-4.4	0.3	0	70	4.9	0.30
1	27	2022	4.2	-1.2	1.5	0.4	66	5.6	8.90
1	28	2022	7.7	-2.6	2.55	0	63	3	0.00
1	29	2022	6.7	-2.3	2.2	0	70	3.9	9.00
1	30	2022	8.1	-3.3	2.4	0	73	4.4	3.40
1	31	2022	11.4	-7.7	1.85	0	71	2.9	8.20
2	1	2022	11.6	-2	4.8	0	71	2.8	3.80
2	2	2022	6.5	-3	1.75	1.1	79	3.3	1.00

2	3	2022	4.1	2.2	3.15	0	86	4.9	6.10
2	4	2022	13.4	-1.2	6.1	0	75	5.8	7.30
2	5	2022	8.2	2.6	5.4	0	70	5.8	1.50
2	6	2022	12.4	-4.4	4	0	74	4.5	7.30
2	7	2022	20.6	4.7	12.65	0	58	5.6	9.70
2	8	2022	21.2	2.9	12.05	0	50	3.8	8.10
2	9	2022	14	5.6	9.8	0	68	4.8	0.00
2	10	2022	5.6	0.4	3	0	68	4.9	1.10
2	11	2022	2.2	-6.1	-1.95	0	61	4.4	6.30
2	12	2022	0.5	-3.2	-1.35	0.7	65	4	0.00
2	13	2022	10.1	-6.7	1.7	0	76	4	5.00
2	14	2022	12.9	-0.1	6.4	0	67	2.8	0.00
2	15	2022	7	1.1	4.05	0.3	77	6.5	6.90
2	16	2022	8.4	-5.7	1.35	0	72	2.3	6.70
2	17	2022	7.7	-2.2	2.75	0	71	4.1	9.50
2	18	2022	3.5	-5.4	-0.95	0	65	4.3	10.30
2	19	2022	6.3	-6.5	-0.1	0	63	4.6	10.00
2	20	2022	10.3	-4.2	3.05	0	61	5	5.00
2	21	2022	7.4	4	5.7	12.5	76	2.8	10.30
2	22	2022	10	0.9	5.45	0	81	2	5.40
2	23	2022	12.1	2.4	7.25	0	75	2.3	5.70
2	24	2022	14.3	1.1	7.7	0	77	2.5	0.60
2	25	2022	20.5	5.3	12.9	0	69	3.9	6.60
2	26	2022	18.1	5.5	11.8	0	58	6.4	2.00
2	27	2022	8.9	-4.4	2.25	0	47	3.8	10.30
2	28	2022	11.1	-1.4	4.85	0	59	5.4	9.80
2	29	2022	14.9	2.4	8.65	0	71	5.1	5.50
3	1	2022	17.8	3.2	10.5	0	68	3	10.00
3	2	2022	16	3.7	9.85	0	65	4.1	9.40
3	3	2022	11.2	3	7.1	0	57	8.1	9.00
3	4	2022	11	-1.4	4.8	0	55	5.1	10.70
3	5	2022	13.1	-1.1	6	0	46	3.4	10.70
3	6	2022	11.1	2.1	6.6	0	51	4.1	7.50
3	7	2022	6.3	-5.1	0.6	0	47	8.8	10.60
3	8	2022	7	-5.3	0.85	0	35	5.1	10.90
3	9	2022	11.3	-3.1	4.1	0	35	2.3	10.80
3	10	2022	13.5	-3.6	4.95	0	41	1.3	10.90
3	11	2022	16.6	-1.7	7.45	0	38	1.9	11.00
3	12	2022	19.2	0.9	10.05	0	38	1.8	10.50
3	13	2022	20.8	6.3	13.55	0	40	3.6	8.90
3	14	2022	22	3.8	12.9	0	53	3.4	9.60
3	15	2022	27.2	10.2	18.7	0	40	4.1	8.00
3	16	2022	22.7	9.6	16.15	0	48	4.4	10.70
3	17	2022	22.2	7.1	14.65	0	51	2.5	10.40
3	18	2022	21.9	9.3	15.6	0.3	44	4.8	8.10
3	19	2022	23.6	7.8	15.7	0	42	5.6	8.60
3	20	2022	18.6	9	13.8	0	55	4.5	0.30
3	21	2022	10.8	7.5	9.15	0	73	5.6	0.10
3	22	2022	13.9	3	8.45	0	65	4.6	7.90
3	23	2022	19.1	6.3	12.7	0	32	7.8	8.00
3	24	2022	18.4	5.1	11.75	0	24	8	9.00
3	25	2022	14.4	3.9	9.15	0	30	7.4	9.40
3	26	2022	13.9	0	6.95	0	29	4	11.40
3	27	2022	15.7	-1	7.35	0	35	3.3	11.80

3	28	2022	18.9	1.6	10.25	0	32	3.6	12.00
3	29	2022	21	2.6	11.8	0	29	4.4	11.00
3	30	2022	22.3	6.8	14.55	2.4	42	4	3.80
3	31	2022	20.8	10.1	15.45	11.9	69	4.4	6.30
4	1	2022	19.2	9.3	14.25	0	60	5.8	7.30
4	2	2022	23.3	7.5	15.4	0	52	4.8	7.70
4	3	2022	25.3	13.1	19.2	0	55	2.9	10.90
4	4	2022	22.5	9.9	16.2	0	62	2.3	11.10
4	5	2022	20.9	9.1	15	0	57	3.8	11.00
4	6	2022	22.7	7.8	15.25	0	43	2.3	4.70
4	7	2022	18.8	6	12.4	0	41	7.9	6.90
4	8	2022	8.6	3.4	6	0	38	5.3	8.10
4	9	2022	12.2	-1.9	5.15	0	45	4.3	11.50
4	10	2022	15.8	2	8.9	0	41	5.3	7.80
4	11	2022	21.2	3.5	12.35	4.4	52	2	8.00
4	12	2022	20.3	8.9	14.6	0	66	3.4	8.30
4	13	2022	19.6	8.6	14.1	0	46	3.4	6.90
4	14	2022	15.3	3	9.15	0	38	3.9	12.60
4	15	2022	18.6	1.7	10.15	0	38	3.6	12.80
4	16	2022	22.7	5.2	13.95	0	41	3.8	12.40
4	17	2022	27.1	8.3	17.7	0	38	2.6	12.60
4	18	2022	26.5	8.6	17.55	0	38	1.9	12.80
4	19	2022	29.9	11.6	20.75	0	32	2.4	12.50
4	20	2022	31.3	10.8	21.05	0	31	1.9	12.40
4	21	2022	32.7	11.8	22.25	0	33	2.5	12.50
4	22	2022	30.2	15.9	23.05	0	37	4.4	7.40
4	23	2022	30.7	14.7	22.7	0	39	5.1	8.60
4	24	2022	24.5	10.3	17.4	0	56	6.3	0.00
4	25	2022	21.2	10.2	15.7	0	62	4.4	1.20
4	26	2022	30.8	14.1	22.45	0	51	4.9	2.00
4	27	2022	26.4	17.1	21.75	4.8	67	4.6	1.10
4	28	2022	22.5	14	18.25	0	67	4.3	11.40
4	29	2022	26.5	11.1	18.8	0	51	3.1	12.40
4	30	2022	25.7	13.7	19.7	0	43	5.1	12.40
5	1	2022	26.6	16.9	21.75	0	40	5.3	10.60
5	2	2022	27.4	16	21.7	0	47	4.5	5.70
5	3	2022	29.7	11.2	20.45	0	39	2.5	11.30
5	4	2022	24.8	17.7	21.25	0.9	63	4.3	0.80
5	5	2022	25.4	14.2	19.8	0.4	56	5.8	11.00
5	6	2022	29.1	11.4	20.25	0	51	3.6	13.00
5	7	2022	29.2	16.4	22.8	0.9	61	5.1	3.90
5	8	2022	28.8	14.4	21.6	10.2	63	5.8	3.80
5	9	2022	29.9	16.3	23.1	0	56	6.3	12.40
5	10	2022	31.9	13.9	22.9	0	46	3	12.10
5	11	2022	33.2	15.7	24.45	0	43	3.5	10.80
5	12	2022	26.3	15	20.65	9.4	69	6	6.10
5	13	2022	24.3	15.1	19.7	2.6	53	3.8	6.90
5	14	2022	26.8	11.8	19.3	0	58	2.9	8.40
5	15	2022	27.5	15.4	21.45	0	43	4.1	12.80
5	16	2022	30.3	12.1	21.2	0	44	2	13.90
5	17	2022	31.7	15	23.35	2.2	46	4.4	7.70
5	18	2022	20.9	13.1	17	0	55	6.1	13.40
5	19	2022	27.5	13.2	20.35	0	36	5.4	9.40
5	20	2022	25.5	11.9	18.7	0	37	4.9	12.90

5	21	2022	29.7	11.2	20.45	0	39	3.4	13.60
5	22	2022	33.7	15.2	24.45	0	32	4.1	13.80
5	23	2022	36.1	17.7	26.9	0	29	4.3	14.20
5	24	2022	38.9	18	28.45	0	34	2.9	14.00
5	25	2022	41	19.1	30.05	0	29	2.5	14.00
5	26	2022	41.1	21.6	31.35	0	25	2.8	13.70
5	27	2022	41.6	22.9	32.25	0	29	5.1	14.10
5	28	2022	41	22.4	31.7	0	26	4	14.20
5	29	2022	38.6	20.2	29.4	0	27	3.4	14.00
5	30	2022	38.2	17.6	27.9	0	26	2.8	14.10
5	31	2022	38.9	19.1	29	0	23	2.4	13.90
6	1	2022	40.4	21	30.7	0	26	1.6	13.90
6	2	2022	41.9	20.8	31.35	0	29	2.1	13.90
6	3	2022	42.6	20.3	31.45	0	36	2.6	13.10
6	4	2022	41.6	22.3	31.95	0	30	3.3	10.70
6	5	2022	40.4	21.8	31.1	0	30	4	13.70
6	6	2022	35	21.2	28.1	0	23	4.4	11.30
6	7	2022	29.7	20.8	25.25	0	35	4.1	0.00
6	8	2022	33.5	14.7	24.1	0	40	4.8	14.40
6	9	2022	35.5	16.9	26.2	0	30	3.9	14.50
6	10	2022	35	17.3	26.15	0	30	3.6	14.00
6	11	2022	34.9	17.1	26	0	32	3.5	14.20
6	12	2022	36.8	18.7	27.75	0	29	2.8	14.00
6	13	2022	38.9	18.9	28.9	0	31	2.5	14.30
6	14	2022	40.1	21.7	30.9	0	28	2.3	14.10
6	15	2022	41.3	20.7	31	0	29	3.3	12.90
6	16	2022	32.8	19.7	26.25	0	28	3.4	11.90
6	17	2022	31.1	17.8	24.45	0	27	4	14.50
6	18	2022	33	16.8	24.9	0	31	2.9	14.60
6	19	2022	35.9	16.6	26.25	0	34	2	14.60
6	20	2022	36.7	17.4	27.05	0	34	3.9	14.00
6	21	2022	36.2	21.2	28.7	0	33	3.1	6.30
6	22	2022	39.7	19.2	29.45	0	29	3.6	12.50
6	23	2022	37.9	21.1	29.5	0	23	3.8	10.40
6	24	2022	35.6	21.9	28.75	0	20	3.8	14.90
6	25	2022	36.9	17.3	27.1	0	30	2.6	13.00
6	26	2022	33.1	23.6	28.35	0	30	6.4	11.40
6	27	2022	26.3	13.7	20	0	33	4.3	14.40
6	28	2022	29.1	13.6	21.35	0	34	2.3	13.90
6	29	2022	31.7	15.5	23.6	0	39	2.4	11.90
6	30	2022	34.6	18.6	26.6	0	31	3	12.70
7	1	2022	36.3	18.5	27.4	0	33	2.6	14.00
7	2	2022	31.1	17.6	24.35	0	37	4.4	14.00
7	3	2022	31.4	16.4	23.9	0	35	4	14.30
7	4	2022	34.4	15.2	24.8	0	40	2.4	14.30
7	5	2022	36.1	22.2	29.15	0	35	3.9	14.10
7	6	2022	34.6	19	26.8	0	38	2.9	13.70
7	7	2022	37.4	19.5	28.45	0	36	1.9	13.80
7	8	2022	37.3	22.5	29.9	0	38	3.9	14.00
7	9	2022	38	22.1	30.05	0	41	3.5	13.20
7	10	2022	36.7	21.1	28.9	0	41	3	13.70
7	11	2022	38.9	21	29.95	1.8	35	4.8	14.20
7	12	2022	39.3	22.9	31.1	0	38	3.5	13.70
7	13	2022	38.9	22.6	30.75	0	34	3.9	13.60

7	14	2022	39.8	22.3	31.05	0	32	3.5	13.50
7	15	2022	40.2	23.1	31.65	0	32	4.4	13.60
7	16	2022	38.5	20.7	29.6	0	33	3.6	12.30
7	17	2022	39.6	22	30.8	0	35	5.4	13.50
7	18	2022	40.4	21.3	30.85	0	33	3.8	13.80
7	19	2022	41.4	22.7	32.05	0	34	4.5	13.20
7	20	2022	42	23	32.5	0	33	2.9	13.90
7	21	2022	36.7	25.3	31	0	33	3.5	13.40
7	22	2022	39.1	21.7	30.4	0	41	3	7.10
7	23	2022	32.1	23.2	27.65	0	52	3.1	4.40
7	24	2022	35.9	19.2	27.55	0	48	2.9	13.10
7	25	2022	35.9	21	28.45	0	46	2.8	11.50
7	26	2022	35.4	20.9	28.15	0	54	4.1	10.50
7	27	2022	37.9	20.6	29.25	0	45	2.1	10.90
7	28	2022	36.1	23.9	30	0	41	3.8	13.70
7	29	2022	33.1	19.3	26.2	0	38	5	12.90
7	30	2022	34.2	20.9	27.55	0	39	3.5	9.90
7	31	2022	31.5	21.9	26.7	0	39	7.3	10.90
8	1	2022	34.8	17.8	26.3	0	43	4.3	13.20
8	2	2022	35.6	19	27.3	0	48	2.4	13.20
8	3	2022	38.4	20.8	29.6	0	38	2.3	13.00
8	4	2022	33.7	21.5	27.6	0	46	5	7.00
8	5	2022	30.3	15.9	23.1	0	47	4.3	13.00
8	6	2022	32.5	18.7	25.6	0	48	1.3	11.00
8	7	2022	30.9	24.1	27.5	0	45	4.5	12.30
8	8	2022	32.5	22.4	27.45	0	45	4.3	12.60
8	9	2022	36.1	23.2	29.65	0	40	3.9	12.10
8	10	2022	34	21	27.5	0	42	4.1	13.00
8	11	2022	32.6	16.4	24.5	0	44	2.4	13.90
8	12	2022	32.6	16.3	24.45	0	49	1.9	11.20
8	13	2022	33	20.5	26.75	0	44	2.6	12.80
8	14	2022	35.1	18.5	26.8	0	39	2.6	12.60
8	15	2022	35.2	19	27.1	0	43	2.5	7.30
8	16	2022	30	19.8	24.9	0	53	5.1	12.80
8	17	2022	30.1	14.7	22.4	0	44	3	8.70
8	18	2022	29.5	15.1	22.3	0	45	2.9	12.60
8	19	2022	30.8	13.3	22.05	0	53	1.5	13.00
8	20	2022	32.4	16.4	24.4	0	46	1.9	12.90
8	21	2022	33.5	16.1	24.8	0	40	2.9	12.90
8	22	2022	35.5	17.4	26.45	0	37	3.1	10.30
8	23	2022	35.9	21.7	28.8	0	39	3.4	9.80
8	24	2022	31	19.7	25.35	0	43	6.5	11.60
8	25	2022	27.3	15.1	21.2	0	58	4.8	12.80
8	26	2022	29.6	15.1	22.35	0	50	4.3	12.30
8	27	2022	30.8	13.1	21.95	0	44	2.5	12.40
8	28	2022	32.7	13.9	23.3	0	45	3.9	12.30
8	29	2022	33.5	16.6	25.05	0	40	2.4	12.30
8	30	2022	34.6	15.5	25.05	0	42	3.5	10.60
8	31	2022	33.5	16.5	25	0	43	5.6	11.80
9	1	2022	34.5	16.3	25.4	0	35	3.5	11.70
9	2	2022	35	15.5	25.25	0	37	4	12.20
9	3	2022	35.2	16.3	25.75	0	38	3.6	12.20
9	4	2022	34	15.6	24.8	0	46	2.4	12.10
9	5	2022	28.9	14.2	21.55	0	34	3.8	12.10

9	6	2022	25.4	10.4	17.9	0	37	4.4	11.90
9	7	2022	25.2	8.5	16.85	0	40	4.4	11.60
9	8	2022	26.7	8.8	17.75	0	38	4.4	11.00
9	9	2022	28.2	14	21.1	0	37	3.1	11.00
9	10	2022	29.4	12.4	20.9	0	37	2.5	11.90
9	11	2022	26.1	13.4	19.75	0	49	3.5	11.50
9	12	2022	28	13.5	20.75	0	47	2	12.20
9	13	2022	29.4	11.4	20.4	0	47	1.9	11.50
9	14	2022	31.2	13.4	22.3	0	41	2.4	11.70
9	15	2022	32.1	17	24.55	0	37	5	11.70
9	16	2022	26.7	11.4	19.05	0	42	3.9	10.20
9	17	2022	21.5	13	17.25	0	45	4.5	11.30
9	18	2022	22.5	5.9	14.2	0	55	1.4	11.20
9	19	2022	26.6	6.9	16.75	0	45	4.6	10.60
9	20	2022	23.5	9.8	16.65	0	39	4.4	10.50
9	21	2022	22.7	7.5	15.1	0	53	3.3	11.00
9	22	2022	21.7	6.4	14.05	0	51	1.6	10.80
9	23	2022	23.9	5.1	14.5	0	50	1.9	10.60
9	24	2022	26	6.7	16.35	0	47	1.8	10.60
9	25	2022	25.4	8.8	17.1	0	49	2.6	10.90
9	26	2022	22.2	8	15.1	0	36	4.9	9.70
9	27	2022	20.8	6.9	13.85	0	37	5.1	9.60
9	28	2022	20.9	8.2	14.55	0	38	4.8	10.90
9	29	2022	19.7	4.8	12.25	0	42	4.3	10.70
9	30	2022	20.7	2.3	11.5	0	44	2.3	10.50
10	1	2022	23	3.2	13.1	0	55	1.8	10.40
10	2	2022	23.7	4.2	13.95	0	54	2.1	10.80
10	3	2022	24.3	7.1	15.7	0	42	3	11.00
10	4	2022	22.6	6.3	14.45	0	42	3	10.60
10	5	2022	23	6.7	14.85	0	43	2.6	9.00
10	6	2022	15.8	4.6	10.2	0	36	6.1	10.10
10	7	2022	16.8	-0.8	8	0	36	3.5	11.00
10	8	2022	17.7	1.6	9.65	0	37	3.5	10.70
10	9	2022	14.1	3.4	8.75	0	56	4.5	10.80
10	10	2022	15.9	-0.5	7.7	0	45	4.4	10.30
10	11	2022	19	2.3	10.65	0	42	3.8	10.80
10	12	2022	20.5	3.6	12.05	0	31	3.1	10.70
10	13	2022	22.5	3.4	12.95	0	27	2.3	10.50
10	14	2022	22.1	3.7	12.9	0	37	2.1	10.20
10	15	2022	23.4	4.2	13.8	0	41	2.1	10.70
10	16	2022	24.7	4.7	14.7	0	40	1.6	10.90
10	17	2022	24.5	3.4	13.95	0	51	1.1	10.40
10	18	2022	25	3.2	14.1	0	51	1.8	10.40
10	19	2022	25.7	5.2	15.45	0	33	3.1	10.10
10	20	2022	27.1	5	16.05	0	30	1.5	10.30
10	21	2022	19.5	6.7	13.1	0	42	3.4	7.00
10	22	2022	14.6	7.2	10.9	0	56	3.5	3.60
10	23	2022	16.5	2.2	9.35	0	59	1.5	4.00
10	24	2022	19.9	8.9	14.4	0	49	2.9	8.80
10	25	2022	21.2	6	13.6	0	43	5.4	9.30
10	26	2022	24.9	5.8	15.35	0	40	3.6	9.40
10	27	2022	14.4	3.5	8.95	0	59	3.6	8.70
10	28	2022	9.7	-3.7	3	0	60	3.3	10.30
10	29	2022	11.8	-2	4.9	0	59	3.9	9.10

10	30	2022	16.5	-0.8	7.85	0	48	4	9.10
10	31	2022	18.9	-0.2	9.35	0	42	2.5	9.40
11	1	2022	20.9	-0.7	10.1	0	43	1.8	8.20
11	2	2022	21.9	2.4	12.15	0	37	2.1	8.80
11	3	2022	21.8	2.8	12.3	0	35	2.6	9.10
11	4	2022	20.1	3.5	11.8	0	31	3.8	9.20
11	5	2022	18.7	0.6	9.65	0	40	3.8	9.60
11	6	2022	18.7	0	9.35	0	43	1.6	8.00
11	7	2022	20.3	3.6	11.95	0	46	2.1	0.40
11	8	2022	15.2	8.3	11.75	4.4	76	3.8	4.40
11	9	2022	12.7	-1.1	5.8	0	75	2.6	9.40
11	10	2022	15.2	0.7	7.95	0	77	2.6	5.20
11	11	2022	12.2	4.6	8.4	0	76	3.3	0.00
11	12	2022	9.5	-2.6	3.45	0	58	3.3	8.90
11	13	2022	7.5	-4.4	1.55	0	62	1.5	7.90
11	14	2022	7.2	-0.5	3.35	0	55	4.9	3.90
11	15	2022	8.7	-2.7	3	0	65	3	9.10
11	16	2022	2.3	-7.9	-2.8	0	61	6.4	9.10
11	17	2022	-1.5	-10.8	-6.15	0	56	6.1	7.80
11	18	2022	-3.5	-12.4	-7.95	0	65	6	8.80
11	19	2022	-2.2	-12.7	-7.45	0	61	3.4	9.10
11	20	2022	-1.6	-13.3	-7.45	0	54	2.9	9.10
11	21	2022	-0.7	-13.3	-7	0	60	4.5	8.60
11	22	2022	0.2	-12.1	-5.95	0	60	3.4	8.60
11	23	2022	2.8	-11.3	-4.25	0	54	2	8.00
11	24	2022	2.2	-6.1	-1.95	0	57	1.8	7.90
11	25	2022	3.8	-2.3	0.75	1.1	84	2.5	7.60
11	26	2022	8.3	-2.5	2.9	0	76	2.9	2.10
11	27	2022	3.8	-0.1	1.85	7.6	87	3	0.00
11	28	2022	2.9	0.5	1.7	0	74	3.4	0.00
11	29	2022	4.2	-2.6	0.8	0	82	5	0.00
11	30	2022	0.1	-4	-1.95	0	67	7.1	0.00
12	1	2022	-0.7	-6.3	-3.5	0	66	5.4	1.80
12	2	2022	-1.1	-10	-5.55	0	70	3.1	7.10
12	3	2022	-1.2	-9.7	-5.45	0	68	3.3	2.90
12	4	2022	-2.2	-12.1	-7.15	0	68	2.3	6.60
12	5	2022	-5.5	-13.7	-9.6	0	69	3	8.50
12	6	2022	-4.5	-15.4	-9.95	0	65	4.6	8.40
12	7	2022	-6.1	-15.4	-10.75	0	66	5	8.30
12	8	2022	-4.8	-14.8	-9.8	0	67	3.3	8.40
12	9	2022	-4.3	-14	-9.15	0.2	75	3.3	8.10
12	10	2022	-2.2	-7.6	-4.9	6.9	79	3.6	0.00
12	11	2022	-1.7	-9.3	-5.5	0	65	3	4.70
12	12	2022	-2.9	-12.3	-7.6	0	73	2.1	7.90
12	13	2022	-3	-12.4	-7.7	0	76	1.9	8.20
12	14	2022	-1	-14.9	-7.95	0	81	0.8	8.70
12	15	2022	-2.8	-14.6	-8.7	0	87	3.1	8.10
12	16	2022	1.6	-10.4	-4.4	0	79	3.5	8.40
12	17	2022	4.5	-9.8	-2.65	0	72	3.1	8.20
12	18	2022	5.5	-10.6	-2.55	0	70	2.3	7.80
12	19	2022	0.2	-4	-1.9	0	76	4.9	0.00
12	20	2022	0.3	-2.2	-0.95	0	75	1.8	0.00
12	21	2022	0.7	-1.9	-0.6	0	66	2.8	0.00
12	22	2022	-0.9	-4.5	-2.7	0	61	3.9	0.00

12	23	2022	-2.1	-6.9	-4.5	0	61	2.6	5.50
12	24	2022	3.7	-3.4	0.15	0	66	4.9	0.00
12	25	2022	3.7	-4	-0.15	0	71	4.9	4.30
12	26	2022	-0.5	-7.8	-4.15	0	73	4.5	8.10
12	27	2022	-0.7	-11.8	-6.25	0	75	1.6	6.50
12	28	2022	3.4	-10.8	-3.7	0	75	2.5	6.90
12	29	2022	5.3	-7.2	-0.95	0	76	2.8	8.30
12	30	2022	5.6	-8.5	-1.45	0	76	2	8.10
12	31	2022	-1.9	-9	-5.45	0	84	3.6	8.30

Izoh: Ma'lumotlar faqat Ita meteostansiya misolida olingan.

1.3. Hudud joylashgan joyi va dengiz satxidan balandligi

Xorazm viloyati O'zbekiston Respublikasining shimoliy g'arbida joylashgan. Xorazm viloyatidagi Xiva meteostansiyasi bo'yicha koordinatalari aniqlanib (Davlat: uzb 2020 Stansiya: Balandlik: 96 m.; Kenglik: 41.38 °S; Uzunlik: 61.40 °V) ma'lumotlari. Google Earth® dasturi orqali olinadi.

Dengiz sathidan balandligi (m) va joylashuvning kengligi (shimol yoki janubiy daraja) ko'rsatilishi kerak. Ushbu ma'lumotlar atmosfera bosimining mahalliy o'rtacha qiymatiga ob-havoning bazi parametrlarini moslashtirish uchun (o'rtacha dengiz sathidan balandligi funksiyasi) va yerdan tashqari radiatsiya (R_a) va bazi hollarda kunduzgi soatlarni (N) hisoblash uchun kerak. R_a va N uchun hisoblash tartib-qoidalarida kenglik radianda ifodalanadi (ya'ni, o'nlik darajalar soni $p/180$).

1.3.1. Meteorologik ma'lumotlar

Meteorologik ma'lumotlardan evapotranspiratsiyani hisoblash usullari turli iqlim va fizik parametrlarni talab qiladi. Bazi ma'lumotlar to'g'ridan-to'g'ri ob-havo stantsiyalarida o'lchanadi. Boshqa parametrlar umumiy o'lchanadigan ma'lumotlar bilan bog'liq va ularni to'g'ridan-to'g'ri yoki empirik munosabatlar yordamida olish mumkin. Ushbu qismda mos yozuvlar evapotranspiratsiyasini hisoblash uchun zarur bo'lgan barcha ma'lumotlarning manbai, o'lchovi va hisoblanishi muhokama qilinadi

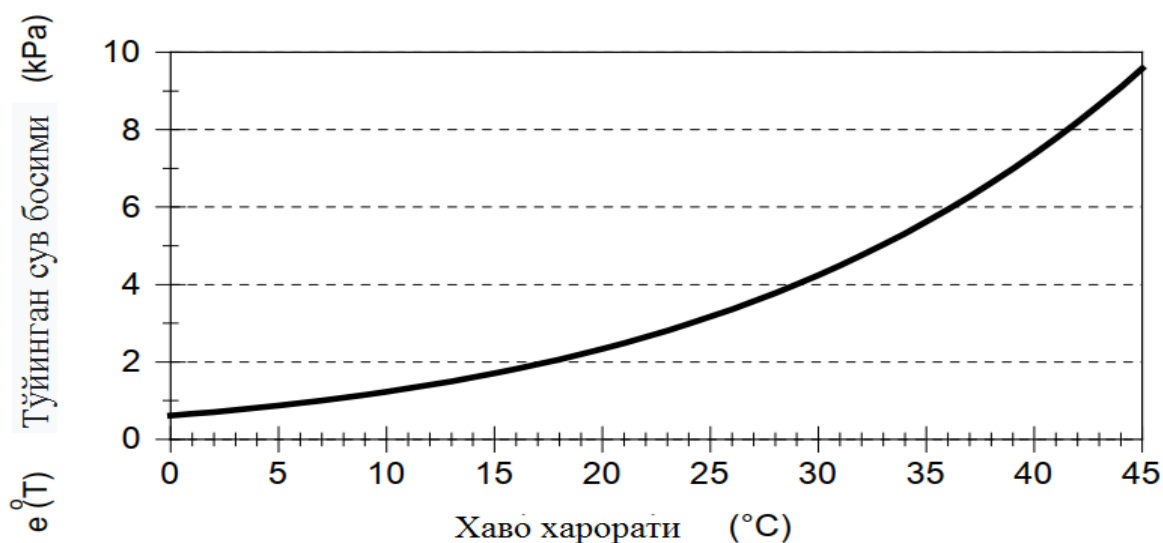
FAO Penman-Monteit usuli. Turli xil misollar turli - xil hisoblash protseduralarini ko'rsatadi. Kerakli ma'lumotlarni hisoblash uchun tegishli protseduralar ham ta'minlangan.

Hisoblangan iqlim parametrlari ushbu ushbu qismda keltirilgan tenglamalar vositalari 1-jadvalda keltirilgan va turli meteorologik sharoitlar uchun jadvallar

shakllantirilib ko'rsatilgan. Ushbu qismda faqat standartlashtirilgan munosabatlar keltirilgan.

1.4. Xavo xarorati va xavoning nisbiy namligi

Selsiy ($^{\circ}\text{C}$) bo'yicha (o'rtacha) kunlik maksimal va minimal havo harorati talab qilinadi. Faqat o'rtacha kunlik haroratlar mavjud bo'lganda, hisob-kitoblar hali ham bajarilishi mumkin, ammo to'yingan bug' bosimi - harorat munosabatlarining chiziqli bo'lmaganligi sababli EToning biroz past baholanishi yuzaga kelishi mumkin (1-rasm).



1.1-rasm. Haroratning funksiyasi sifatida ko'rsatilgan to'yingan bug' bosimi $e^{\circ}(T)$ egri chizig'i.

O'rtacha kunlik haqiqiy bug' bosimi, e_a - kilopaskalda (kPa) talab qilinadi. Haqiqiy bug' bosim agar mavjud bo'lmasa, maksimal va minimal nisbiy namlik (%), psikrometrik ma'lumotlar (quruq va ho'l lampochka harorati $^{\circ}\text{C}$) yoki shudring nuqtasi harorati ($^{\circ}\text{C}$) dan 1-rasmda ko'rsatilgan tartiblarga muvofiq olinishi mumkin.

Xavoning nisbiy namligi

Quyosh va atrofdagi havodan energiya ta'minoti suvni bug'lantirish uchun asosiy harakatlantiruvchi kuch bo'lsa-da, bug'lanish paytida suv bug'ining bosimi o'rtasidagi farq bug' chiqarishini belgilovchi omil sirt va atrofdagi havo. Issiq quruq qurg'oqchil hududlardagi yaxshi sug'orilgan dalalar energiyaning ko'pligi va atmosferaning quritadigan kuchi tufayli ko'p miqdorda suv iste'mol qiladi. Nam

tropik mintaqalarda, yuqori energiya kiritilishiga qaramay, havoning yuqori namligi evapotranspiratsiya talabini kamaytiradi. Bunday muhitda havo to‘yinganlikka yaqin, shuning uchun kamroq suv saqlanishi mumkin va shuning uchun bug‘lanish tezligi qurg‘oqchil hududlarga qaraganda past bo‘ladi.

Atmosfera tomonidan so‘rilgan quyosh nurlari va er tomonidan chiqarilgan issiqlik havo haroratini oshiradi. Atrofdagi havoning sezgir isishi hosilni energiya bilan ta‘minlaydi va ta‘sir qiladi buhlanish tezligiga nazorat qiluvchi ta‘sir kabi. Quyoshli iliq ob-havoda bug‘lanish orqali suv yo‘qotish bulutli va salqin ob-havoga qaraganda ko‘proq bo‘ladi.



1.2-rasm. Issiq quruq va nam iliq ob-havo sharoitida shamol tezligining evapotranspiratsiyaga ta‘siri tasvirlangan.

1.5. Quyosh radiatsiyasi va shamol tezligi

Bug‘lanish jarayoni suvni bug‘lash uchun mavjud bo‘lgan energiya miqdori bilan belgilanadi. Quyosh nurlari eng katta energiya manbai bo‘lib, ko‘p miqdordagi suyuq suvni suv bug‘iga o‘zgartira oladi. Bug‘lanadigan sirtga yetib boradigan nurlanish miqdori uning joylashishi va yilning vaqtiga qarab belgilanadi. Oradagi farqlar tufayli quyosh, potensial nurlanish turli kengliklarda va turli fasllarda farq qiladi. Bug‘lanadigan sirtga yetib boradigan haqiqiy quyosh nurlari atmosferaning xiralashishiga va nurlanishning asosiy qismlarini aks ettiruvchi hamda o‘zlashtiradigan bulutlarning mavjudligiga bog‘liq. Quyosh nurlanishining

evapotranspiratsiyaga ta'sirini baholashda hamma ham buni yodda tutish kerak mavjud energiya suvni bug'lash uchun ishlatiladi. Quyosh energiyasining bir qismi atmosferani va tuproq profilini isitish uchun ishlatiladi.

Kuniga kvadrat metrda megajoullarda ifodalangan (o'rtacha) kunlik aniq nurlanish talab qilinadi ($\text{MJ m}^{-2} \text{ kun}^{-1}$). Ushbu ma'lumotlar keng tarqalgan emas, ammo ulardan olinishi mumkin (Kempbell-Stokes) quyosh nuri yozuvchisi bilan o'lchanadigan piranometr bilan yoki kunlik quyosh nurining (kuniga o'rtacha) kunlik haqiqiy davomiyligi bilan o'lchanadigan (o'rtacha) qisqa to'liqlik nurlanish. Hisoblash protseduralari 2-bo'limda keltirilgan.

Shamol tezligi. Yer sathidan 2 m balandlikda o'lchanadigan (o'rtacha) kunlik shamol tezligi sekundiga metrda (m s^{-1}) talab qilinadi. Shamol tezligi o'lchanadigan balandlikni tekshirish juda muhim, chunki tuproq yuzasidan har xil balandlikda o'lchanadigan shamol tezligi farq qiladi. Shamol tezligini standart balandlikka 2 m ga moslashtirish uchun hisoblash tartibi 2-bo'limda keltirilgan.

Bug'ni olib tashlash jarayoni ko'p jihatdan shamol va havo turbulentsligiga bog'liq bo'lib, u ko'p miqdordagi havoni bug'lanadigan yuzaga o'tkazadi. Bug'langanda, bug'lanadigan sirt ustidagi havo asta-sekin suv bug'iga to'yingan bo'ladi. Agar bu havo doimiy ravishda quruq havo bilan almashtirilmasa, suv bug'ini olib tashlash uchun harakatlantiruvchi kuch va evapotranspiratsiya tezligi pasayadi. Bug'lanish transpiratsiyasiga ta'sir qiluvchi iqlim omillarining birgalikdagi ta'siri 2-rasmda ikki xil iqlim sharoitlari uchun keltirilgan. Havoning quruqligi va to'g'ridan-to'g'ri quyosh nurlari va yashirin issiqlik sifatida mavjud bo'lgan energiya miqdori tufayli issiq quruq ob-havoda bug'lanish transpiratsiyasi talab katta. Bunday sharoitda ko'p suv bug'ini havoda saqlash mumkin, shamol esa ko'proq suv bug'ini olishga imkon yaratiladi. Boshqa tomondan, nam ob-havo sharoitida havoning yuqori namligi va bulutlarning mavjudligi evapotranspiratsiya tezligini pasayishiga olib keladi. Bug'lanish transpiratsiyasiga ta'siri ikki xil iqlim sharoitida shamol tezligining oshishi, qiyalik bilan tasvirlangan 2-rasmdagi egri chiziqlar. Atmosfera quriydi, ET_0 ga ta'siri qanchalik katta bo'lsa va u shunchalik katta bo'lsa egri chiziq xosil bo'ladi. Nam sharoitda shamol faqat to'yingan havoni ozgina almashtirishi

mumkin kamroq to‘yingan havo va issiqlik energiyasini olib keladi. Shunday qilib, shamol tezligi ta’sir qiladi shamol tezligining kichik o‘zgarishi evapotranspiratsiya tezligining katta o‘zgarishiga olib keladigan qurg‘oqchil sharoitlarga qaraganda kamroq darajada evapotranspiratsiya miqdori o‘zgaradi.

II-BOB. FAO PENMAN-MONTEITH TENGLAMASI ASOSIDA

EVAPOTRANSPIRATSIYA XISOBI

Evapotranspiratsiya nima - Bir tomondan suvning tuproq yuzasidan bug‘lanishi va boshqa tomondan ekin barglaridan terlab atmosferaga chiqish jarayonini o‘zida jamlovchi atama evapotranspiratsiya (ET_0) deyiladi. Suvning holatini suyuqdan bug‘ga aylanishi energiya talab qiladi. Ushbu jarayon energiyani Quyosh radiatsiyasi va havo haroratidan oladi. Bug‘lanish jarayoni mobaynida yuza ustidagi havo namlikka to‘yingan sari toki bug‘ atmosferaga tarqalmagunigacha bug‘lanish sekinlashadi. Suvga bo‘kkan havoning quruqroq havo bilan almashish jarayonini esa shamol boshqaradi. Shunday ekan nafaqat Quyosh energiyasi va havo xarorati, balki, havo namligi va shamol tezligi ham bug‘lanishni baholash uchun talab qilinadigan iqlim ko‘rsatkichlaridir.

Ba‘zi ob-havo o‘zgaruvchilari uchun ma’lumotlar etishmayotgan joylarda vaziyatlar yuzaga kelishi mumkin. Ba‘zi ob-havo o‘zgaruvchilari uchun ma'lumotlar etishmayotgan joylarda vaziyatlar yuzaga kelishi mumkin. Yo‘qolgan ma’lumotlarning aniq muammosini hal qilgandan so‘ng, FAOning Penman-Monteith standart usulidan foydalangan holda ET_0 ni hisoblash tavsiya etiladi. Yo‘qolgan iqlim ma’lumotlarini hisoblash tartibi 2-bo‘limda keltirilgan. FAO Penman-Monteyt tenglamasi bilan olingan ET_0 qiymatlari o‘rtasidagi farqlar, bir tomondan, cheklangan ma’lumotlar to‘plami va boshqa tomondan, to‘liq ma’lumotlar to‘plami, undan kichikroq bo‘lishi kutilmoqda alternativ ET_0 tenglamasidan foydalanish natijasida kelib chiqadigan farqlarga o‘xshash kattalik.

Ma’lumotlar to‘plamida faqat maksimal va minimal havo harorati bo‘lsa ham, FAO PenmanMonteith tenglamasi bilan o‘n kunlik yoki oylik ET_0 miqdorini taxmin qilish mumkin. 2-bo‘limda aytilganidek, radiatsiya ma’lumotlari havo harorati farqidan olinishi mumkin yoki shamol tezligi va namlik ma’lumotlari bilan birga yaqin atrofdagi ob-havo stantsiyasidan olib kirilishi mumkin. Namlik ma’lumotlarini kunlik minimal havo haroratidan ham hisoblash mumkin. Boshqa stansiyadagi ma’lumotlardan foydalanishning to‘g‘riligini baholaganidan so‘ng, o‘n kunlik yoki oylik ET_0 hisob-kitoblarini hisoblash mumkin.

Buni to'liq ma'lumotlar to'plamiga ega ob-havo stansiyalari uchun ET_0 ni to'liq va cheklangan ma'lumotlar to'plamlari bilan taqqoslash orqali amalga oshirish mumkin. Bu nisbat bittaga yaqin bo'lishi kerak. Bu yerda nisbat sezilarli darajada og'adi biridan, nisbat cheklangan ma'lumotlar to'plami bilan qilingan hisob-kitoblar uchun tuzatish koeffitsienti sifatida ishlatilishi mumkin. Agar standart hisoblash xatosi o'rtacha ET_0 ning 20% dan oshsa, etishmayotgan ma'lumotlarni import qilishda foydalaniladigan usulning sabablarini va chegaralarini aniqlash uchun sezgirlik tahlilini o'tkazish kerak. Tasdiqlash har oy uchun va o'zgaruvchan, oylik uchun to'ldirilishi kerak shuningdek kundalik hisob-kitoblar uchun.

Har bir ekin va o'sish bosqichi uchun noyob bug'lanish parametrlarini aniqlash zaruratini bartaraf etish uchun mos yozuvlar yuzasi tushunchasi kiritildi. Har xil ekinlarning bug'lanish tezligi ekin koeffitsientlari orqali mos yozuvlar yuzasidan (ET_0) bug'lanish tezligiga bog'liq. Ilgari ochiq suv yuzasi mos yozuvlar yuzasi sifatida taklif qilingan. Biroq, aerodinamik, o'simliklarni nazorat qilish va radiatsiya xususiyatlaridagi farqlar ET_n ni erkin suv bug'lanishini o'lchash bilan bog'lashda kuchli qiyinchilik tug'diradi. ET_0 ni ma'lum bir ekin bilan bog'lash, kesilgan yuzalardan ET_0 da ishtirok etadigan biologik jarayonlarni o'z ichiga olgan afzalliklarga ega. O't, beda bilan birga, aerodinamik va sirt xususiyatlari bo'yicha yaxshi o'rganilgan ekin bo'lib, butun dunyoda mos yozuvlar yuzasi sifatida qabul qilinadi. Bug'ning tarqalishiga qarshilik ko'p jihatdan hosilning balandligi, tuproq qoplami, barg maydoni indeksi va tuproq namligi sharoitlariga bog'liq bo'lganligi sababli etalon ekinning xususiyatlari yaxshi aniqlangan va mustahkamlangan bo'lishi kerak. Ekin balandligidagi o'zgarishlar qo'pollik va barg maydoni indeksining o'zgarishiga olib keladi. Binobarin, tegishli soyabon va aerodinamik qarshilik vaqt o'tishi bilan sezilarli darajada o'zgaradi. Bundan tashqari, suvning kuchlanishi va yer qoplaminin darajasi qarshiliklarga shuningdek, albedoga ta'sir qiladi.

Mahalliy kalibrlashda mashaqqatli va qimmat tadqiqotlarni talab qiladigan muammolarni oldini olish uchun gipotetik o't ma'lumotnomasi tanlangan. Tirik o't ma'lumotnomasi bilan bog'liq qiyinchiliklar o'tning xilma-xilligi va morfologiyasi bug'lanish tezligiga sezilarli ta'sir ko'rsatishi bilan bog'liq, ayniqsa suvning eng

yuqori choʻqqisida issiq mavsumda va sovuq mavsumda oʻt turlari oʻrtasida katta farqlar boʻlishi mumkin. Sovuq mavsumdagi oʻtlar stomatal nazoratning past darajasiga ega va shuning uchun bugʻlanish tezligi yuqori. Baʼzi qurgʻoqchil tropik iqlim sharoitida salqin mavsumda oʻtlarni yetishtirish qiyin boʻlishi mumkin.

FAOning ekinlarning suvga boʻlgan talablari boʻyicha metodologiyasini qayta koʻrib chiqish boʻyicha ekspertlar maslahati mos yozuvlar yuzasi uchun quyidagi bir maʼnoli taʼrifni qabul qildi:

Yoʻnaltiruvchi sirt faol oʻsadigan, yerni toʻliq soya qiladigan va yetarli miqdorda suv bilan bir xil balandlikdagi yashil oʻtlarning keng yuzasiga juda oʻxshaydi. Oʻt yuzasi keng va bir xil boʻlishi kerakligi haqidagi talablar barcha oqimlarning yuqoriga qarab bir oʻlchovli ekanligi haqidagi taxmindan kelib chiqadi. FAO Penman-Monteyt usuli ushbu mos yozuvlar yuzasining (ET_o) bugʻlanishini aniq aniqlash mumkin boʻlgan usul va barcha mintaqalar va iqlimlarda izchil ET_o qiymatlarini taʼminlaydigan usul sifatida tanlangan.

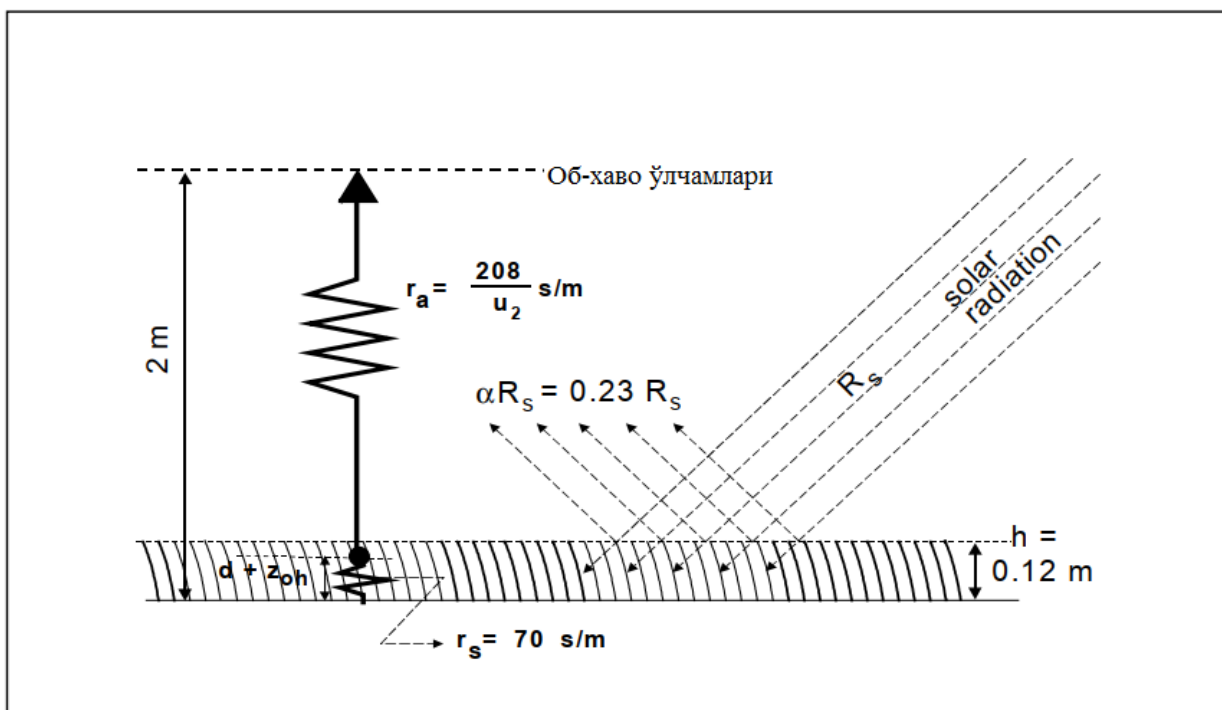
2.1.Penman-Monteith tenglamasi

FAO tomonidan 1990 yil may oyida Irrigatsiya va drenaj boʻyicha Xalqaro komissiya va Jahon meteorologiya tashkiloti bilan hamkorlikda FAOning ekinlar suvi boʻyicha metodologiyasini koʻrib chiqish uchun ekspertlar va tadqiqotchilar maslahati tashkil etildi. Talablar va protseduralarni qayta koʻrib chiqish hamda yangilash boʻyicha maslahatlar berilgan.

Eto evapotranspiratsiya standartini taʼminlaydi, bunga quyidagilar kiradi:

- a. yilning turli davrlarida yoki boshqa hududlarda evapotranspiratsiyani solishtirish mumkin;
- b. boshqa ekinlarning bugʻlanishi bilan bogʻliq boʻlishi mumkin.

Tenglama quyosh radiatsiyasi (quyosh nuri), havo harorati, namlik va shamol tezligining standart klimatologik yozuvlaridan foydalanadi.



2.1-rasm. Gipotetik mos ekinining xususiyatlari

Mutaxassislar guruhi Penman-Monteit kombinatsiyalash usulini mos evapotranspiratsiya uchun yangi standart sifatida qabul qilishni tavsiya qildi va turli parametrlarni hisoblash tartiblari bo‘yicha maslahat berdi. Yetakchi ekinni taxminiy balandligi 0,12 m, sirt qarshiligi 70 s m^{-1} va albedosi 0,23 bo‘lgan, bir xil balandlikdagi yashil o‘tlarning cho‘zilgan yuzasining bug‘lanishiga chambarchas o‘xshash, faol o‘sadigan va o‘sadigan faraziy ekin sifatida belgilash orqali. Usul avvalgi FAO Penman usulining kamchiliklarini bartaraf etadi va butun dunyo bo‘ylab haqiqiy ekin suvidan foydalanish ma’lumotlariga mosroq qiymatlarni beradi.

$$ET_0 = \frac{0.408\Delta(R_n - G) + \gamma \left(\frac{900}{T + 273} \right) u_2 (e_s - e_a)}{\Delta + \gamma(1 + 0.34u_2)} = \quad (1)$$

$$ET_0 = \frac{0.408}{101.3} \left(\frac{293 - 0.0065z}{293} \right)^{5.26} = 101.3 \left(\frac{293 - 0.0065 \cdot 80}{293} \right)^{5.26} = 8 \text{ mm}$$

Bu yerda: ET_0 –etalon evapotranspiratsiya [mm kun^{-1}];

R_n - o‘simlik sathiga tushadigan sof radiatsiya [$\text{MDj m}^{-2} \text{ kun}^{-1}$];

G - tuproqdagi issiqlik oqimining zichligi, [$\text{MDj m}^{-2} \text{ kun}^{-1}$];

T - yer sathidan 2 m balandlikdagi havoning o‘rtacha kunlik harorati [$^{\circ}\text{S}$]

u^2 - yer sathidan 2 m balandlikdagi shamolning tezligi [$m s^{-1}$];

ye_s - to'yingan bug' bosimi [kPa];

ye_a - amaldagi bug'ning xaqiqiy bosimi [kPa];

$(e_s - ye_a)$ bug'ning to'yinish bosimi defitsiti [kPa];

Δ -bug' bosimining egri chiziq gradienti [$kPa \text{ } ^\circ S^{-1}$],

γ - psixrometrik turg'unlik (konstanta) [$kPa \text{ } ^\circ S^{-1}$].

Tenglama quyosh radiatsiyasi (quyosh nuri), havo harorati, namlik va shamol tezligining standart klimatologik yozuvlaridan foydalanadi.

Hisob-kitoblarning yaxlitligini ta'minlash uchun ob-havo o'lchovlari 2 m balandlikda (yoki shu balandlikka aylantirilgan) yashil o'tlarning keng yuzasidan, yerni soya qilib suv etishmasligi bilan amalga oshirilishi kerak.

Ob-havoga asoslangan evapotranspiratsiya tenglamasidan formulani soddalashtirish va ma'lumotlarni o'lchashdagi xatolar tufayli har qanday iqlim sharoitida bug'lanishni mukammal bashorat qilish mumkin emas. Ajoyib atrof-muhit va biologik boshqaruv sharoitida nozik asboblar FAO Penman-Monteyn tenglamasining ba'zida ETo o'tlarining haqiqiy o'lchovlaridan chetga chiqishini ko'rsatishi mumkin. Biroq, Ekspertlar maslahati ekin koeffitsientlarini olish va ifodalashda FAO Penman-Monteyn tenglamasining faraziy ta'rifidan o't ETo uchun foydalanish mumkin.

FAO Penman-Monteyn tenglamasi bug'lanish jarayonini boshqaradigan jismoniy va fiziologik omillarning yaqin oddiy ifodasidir. ETo uchun FAO Penman - Monteyn formulasidan foydalanib tadqiqot ob'ektlarida hosil koeffitsientlarini hisoblash mumkin.

Xisoblangan ETo bilan o'lchangan hosilning bug'lanishi (ETc), ya'ni $K_c = E_s/ETo$. Ekin koeffitsienti yondashuvida, gipotetik etalon ekinga nisbatan ekin soyabonidagi farqlar va aerodinamik qarshilik ekin koeffitsienti doirasida hisobga olinadi. K_c omili ekinlar va mos yozuvlar ta'rifi o'rtasidagi jismoniy va fiziologik farqlarning yig'indisi sifatida xizmat qiladi.

Bug' bosimining egri chiziq gradienti(Δ)

$$\Delta = \frac{4098 \left[0,6108 \exp\left(\frac{17,27T}{T + 237,3}\right) \right]}{(T + 237,3)^2} = \frac{4098 \left[0,6108 \exp\left(\frac{17,27 \cdot 23,7}{25,7 + 237,3}\right) \right]}{(23,7 + 237,3)^2} = 0,195 \text{ kPa/}^\circ\text{C}$$

Bug'lanishni hisoblash uchun to'yingan bug' bosimi va harorat, Δ - o'rtasidagi bog'liqlik talab qilinadi. Berilgan egri chiziqning qiyaligi (1-rasm) berilgan.

Bu yerda: Δ –Havo haroratida T [kPa ° C-1] to'yinganlik bug'bosimi egri chizig'i. T- havo harorati [° C]. 1-jadvaldan olinadi.

2.2. Atmosfera bosimi

Atmosfera bosimi, P, bu yer atmosferasining og'irligidan kelib chiqadigan bosimdir. Yuqori balandlikdagi bug'lanish psixrometrik doimiyda ko'rsatilgan atmosfera bosimining pastligi tufayli ko'tariladi. Ammo ta'sir kichik va hisoblash protseduralarida joylashuv uchun o'rtacha qiymat yetarli bo'lib Rni hisoblash uchun ideal atmosfera uchun 20 ° C ni hisobga olgan holda ideal gaz qonunini soddalashtirish mumkin.

$$P = 101,3 \left(\frac{293 - 0,0065z}{293} \right)^{5,26} = 101,3 \left(\frac{293 - 0,0065 \cdot 80}{293} \right)^{5,26} = 100,4 \text{ kPa}$$

Bu yerda: R- atmosfera bosimi [kPa],

z- dengiz satxidan balandlik [m].

2.3. Psixrometrik turg'unlik (konstanta) (γ)

Doimiy bosim va doimiy harorat jarayonida suvning bir qismini suyuqlikdan suv bug'iga o'zgartirish uchun zarur bo'lgan energiyani ifodalaydi. Yashirin issiqlikning qiymati harorat funksiyasi sifatida o'zgaradi. Yuqori haroratda kamroq energiya bo'ladi past haroratlarga qaraganda talab qilinadi. Normal harorat oralig'ida bir oz farq qilganligi sababli FAO Penman-Monteyn tenglamasini soddalashtirish uchun 2,45 MJ kg⁻¹ qiymati olinadi. Bu havo harorati taxminan 20 ° C uchun yashirin issiqlikdir.

Psixrometrik konstanta

Psixrometrik doimiy, γ , tomonidan berilgan:

$$\gamma = \frac{c_p P}{\epsilon \lambda} = 0,665 \times 10^{-3} P$$

Bu yerda:	γ	- psixrometrik konstanta [kPa ° C ⁻¹],
	P	- atmosfera bosimi [kPa],
	λ	- bug‘lanishning yashirin isishi, 2.45 [MJ kg ⁻¹], doimiy bosimdagi o‘ziga xos issiqlik, 1.013
	c_p	- 10 ⁻³ [MJ kg ⁻¹ ° C ⁻¹]
	ε	- Suv bug‘ining quruq xavoning molekulyar og‘irligi nisbati = 0.622

2.4. Xavo xarorati

Agrometeorologiya ekin maydonchasi yaqinidagi havo harorati bilan bog‘liq. An’anaviy va zamonaviy avtomatik ob-havo stantsiyalarida havo harorati yerdan 2 m balandlikda Jahon Meteorologik Tashkiloti (WMO) standartlariga muvofiq joylashtirilgan boshpanalar ichida (Stivenson ekranlari yoki shamollatiladigan radiatsiya qalqonlari) o‘lchanadi. Asboblarni quyosh isitishiga to‘g‘ridan-to‘g‘ri ta’sir qilishdan himoya qilish uchun mo‘ljallangan. Yopiq qurilish asboblari atrofida havo erkin harakatlanishiga imkon beradi. Havo harorati o‘lchanadi va o‘rnatilgan termometr, termistor yoki termojuftlar bilan. Minimal va maksimal termometrlar 24 soat davomida minimal va maksimal havo haroratini qayd etadi. Termograflar bir kun yoki hafta davomida bir lahzalik haroratni belgilaydi. Elektron ob-havo stantsiyalari ko‘pincha har daqiqada havo haroratini namuna qiladilar va 24 soatlik maksimal va minimal qiymatlarga qo‘shimcha ravishda soatlik o‘rtacha ko‘rsatkichlarni qayd etadilar.

FAO Penman-Monteynda talab qilinadigan namlik ma’lumotlari chiziqli emasligi sababli tenglama, ma’lum bir davr uchun bug‘ bosimi o‘sha davrning kunlik maksimal va minimal havo haroratidagi bug‘ bosimi o‘rtasidagi o‘rtacha sifatida hisoblanishi kerak. Havoning kunlik maksimal harorati (T_{\max}) va kunlik minimal havo harorati (T_{\min}) mos ravishda yarim tundan boshlab, 24 soat davomida kuzatilgan maksimal va minimal havo harorati. T_{\max} va T_{\min} haftalar, 10 kunlik yoki oylar kabi uzoqroq muddatlarga tegishli kunlik qiymatlarning yig‘indisini davrdagi kunlar soniga bo‘lish orqali olinadi. Kunlik havo harorati ($T_{o\text{-}r}$) faqat FAO Penman-Monteyn

tenglamasida to'yingan bug' bosimi egri chizig'ining qiyaligini va o'rtacha havo zichligining (R_a) ta'sirini harorat o'zgarishi qiymatiga ta'sirini hisoblash uchun ishlatiladi. Iqlim parametri bu holatlarda kichik standartlashtirish uchun 24 soatlik davr uchun $T_{o'r}$ o'rtacha qiymat sifatida belgilanadi soatlik haroratni o'lchashning o'rtacha darajasiga emas, balki kunlik maksimal (T_{max}) va minimal harorat (T_{min}).

$$T_{mean} = \frac{T_{max} + T_{min}}{2} =$$

Harorat Selsiy ($^{\circ}C$) yoki Farenxeyt ($^{\circ}F$) darajalarida beriladi. Konversiya jadvali keltirilgan. Ba'zi hisoblash protseduralarida Kelvin (K) da harorat talab qilinadi buni Selsiy darajasida ko'rsatilgan haroratga 273.16 qo'shib olish mumkin (amalda $K = ^{\circ}C + 273.16$). Kelvin va Selsiy shkalasi bir xil o'lchov oralig'iga ega.

2.5. Xavoning nisbiy namligi

Suv bug'i gazdir va uning bosimi umumiy atmosfera bosimiga hissa qo'shadi. Havodagi suv miqdori to'g'ridan-to'g'ri havodagi suv bug'ining qisman bosimi bilan bog'liq va shuning uchun havo suvining tarkibini to'g'ridan-to'g'ri o'lchashdir.

Standart S.I. birliklarida bosim endi santimetr suv, millimetr simob, bar, atmosfera va boshqalar bilan ifodalanmaydi., lekin paskallarda (Pa). Turli xil o'rtasidagi konversiya omillari birliklar va Pa 1-ilovada keltirilgan. Paskala nisbatan katta yuzaga (1 m^2) nisbatan kichik kuchga (1 nyuton) ishora qilar ekan, asosiy blokning ko'paytmalari ko'pincha ishlatiladi. Ushbu qo'llanmada bug 'bosimi kilopaskallarda ifodalanadi ($kPa = 1\ 000\ Pa$).

Havo bug'lanib ketadigan suv yuzasiga o'ralganida, suv molekulalari qochib suv omboriga qaytish o'rtasida muvozanat yuzaga keladi. Ayni paytda havo to'yingan deb aytiladi, chunki u qo'shimcha suv molekulalarini saqlay olmaydi. Tegishli bosim to'yinganlik bug 'bosimi deb ataladi ($e_o(T)$). Bu suv molekulalarining soni havoda saqlanishi mumkin, haroratga (T) bog'liq. Havo harorati qanchalik yuqori bo'lsa, saqlash hajmi qanchalik yuqori bo'lsa, bug' bosimi to'yinganligi shunchalik yuqori bo'ladi (3-rasm). 3-rasmdan ko'rinib turibdiki, egri chiziqning qiyaligi eksponent ravishda o'zgaradi harorat. Past haroratlarda, qiyalik kichik va harorat ko'tarilganda ozgina farq qiladi. Yuqori haroratlarda qiyalik katta va kichik o'zgarishlar natijasida

qiyalik katta o'zgarishlarga olib keladi. To'yinganlik bug 'bosimi egri chizig'ining qiyaligi, Δ , bug'lanishni tavsiflashda muhim parametr bo'lib, ETo ni iqlim ma'lumotlaridan hisoblash uchun tenglamalarda talab qilinadi.

Bug'ning haqiqiy bosimi (e_a) bu havodagi suv ta'sirida bug 'bosimi. Havo to'yinmagan bo'lsa, haqiqiy bug 'bosimi to'yingan bug' bosimidan past bo'ladi. To'yinganlik va haqiqiy bug 'bosimi o'rtasidagi farq shunday deyiladi bug 'bosimi tanqisligi yoki to'yinganlik tanqisligi va havoning haqiqiy bug'lanish qobiliyatining aniq ko'rsatkichidir.

O'lchov.

Bug 'bosimini to'g'ridan-to'g'ri o'lchash mumkin emas. Bug 'bosimi odatda nisbiy namlik yoki shudring harorati tufayli olinadi. Nisbiy namlik to'g'ridan-to'g'ri gigometrlar bilan o'lchanadi. O'lchov ba'zi bir materiallarning tabiatiga asoslanadi, masalan, havo namligining o'zgarishiga javoban uzunligini o'zgartiradigan yoki elektr sig'imi RH bilan o'zgarib turadigan sig'imli plastinka yordamida. Bug 'bosimini bilvosita psixrometrlar bilan o'lchash mumkin, ular quruq va ho'l lampochka termometrlari deb ataladigan ikkita termometr o'rtasidagi harorat farqini o'lchaydi. Quruq lampochka termometri havo haroratini o'lchaydi. Nam lampochka termometrining lampochkasi doimiy to'yingan tayoq bilan qoplangan. Energiyani talab qiladigan tayoqchadan suvni bug'lash termometrning haroratini pasaytiradi. Havo quriydi, bug'lanish sovutish qanchalik katta bo'lsa va harorat pasayishi qanchalik katta bo'lsa. Quruq va ho'l lampochkaning harorati o'rtasidagi farq ho'l lampochkaning tushkunligi deb ataladi va havo namligining o'lchovidir.

Suvning pasayishi harorati suv o'lchagich bilan o'lchanadi. Asosiy tamoyil ba'zi turdagi apparatlar shudring hosil bo'lguncha atrof-muhit havosining sovishidir. Tegishli harorat - bu suvsizlanish harorati. Nisbiy namlik va shudring harorati ma'lumotlari o'lchov xatolari bilan mashhur. O'lchov xatosi ikkala eski gigrotermograf turlari uchun ham keng tarqalgan asboblardan va zamonaviyroq elektron asboblardan uchun. RH va aniqlikning to'g'riligi va yaxlitligini baholash uchun juda ehtiyot bo'lish kerak nuqta ma'lumotlari. Foydalanuvchi har doim hisoblangan suv o'tkazmaydigan haroratni ushbu bobning oxirida va 5-6 jadvallarda ko'rsatilganidek,

kunlik minimal havo harorati bilan taqqoslashi tavsiya etiladi. Ko'pincha, kunlik minimal darajadan bashorat qilinadigan haroratning pasayishidan foydalanish yaxshiroqdir ishonchsiz nisbiy namlik o'lchovlaridan foydalanish o'rniga havo harorati. Foydalanuvchi ushbu sohada okilona foydalanisi tavsiya etiladi.

Hisoblash protseduralari

Bug'ning o'rtacha to'yinganligi (e_s)

To'yingan bug 'bosimi havo harorati bilan bog'liq bo'lganligi sababli, uni havo haroratidan hisoblash mumkin. Aloqa quyidagicha ifodalanadi:

$$e^{\circ}(T) = 0.6108 \exp \left[\frac{17.27 T}{T + 237.3} \right]$$

Bu yerda: $e^{\circ}(T)$ havo haroratida T [kPa] to'yingan bug 'bosimi

T - havo harorati [$^{\circ}$ C],

Havo haroratining funktsiyasi sifatida to'yingan bug 'bosimining qiymatlari 2.3-jadvalda keltirilgan. Yuqoridagi tenglamaning chiziqli emasligi sababli o'rtacha to'yinganlik bug'i bir kun, hafta, o'n yil yoki oy uchun bosim o'rtacha kunlik maksimal va minimal havo haroratida to'yingan bug 'bosimi o'rtasidagi o'rtacha sifatida hisoblanishi kerak:

$$e_s = \frac{e^{\circ}(T_{\max}) + e^{\circ}(T_{\min})}{2}$$

Kundalik minimal va maksimal harorat o'rniga o'rtacha havo haroratidan foydalanish o'rtacha to'yinganlik bug 'bosimini pastroq baholashga olib keladi. Tegishli bug 'bosimi taqchillik (atmosferaning bug'lanish kuchini ifodalovchi parametr) ham kichikroq bo'ladi va natijada mos keladigan hosilning evapotranspiratsiyasini noto'g'ri baholash bo'ladi. Shuning uchun o'rtacha to'yinganlik bug 'bosimi to'yinganlik o'rtasidagi o'rtacha sifatida hisoblanishi kerak bug 'bosimi kunlik maksimal va minimal havo haroratida.

To'yinganlik bug 'bosimi egri chizig'i (Δ)

Bug'lanishni hisoblash uchun to'yingan bug 'bosimi va harorat, Δ o'rtasidagi bog'liqlik talab qilinadi. Berilgan egri chiziqning qiyaligi (3-rasm) harorat tomonidan berilgan.

$$\Delta = \frac{4098 \left[0.6108 \exp \left(\frac{17.27 T}{T + 237.3} \right) \right]}{(T + 237.3)^2}$$

Bu yerda: Δ –Havo haroratida T [kPa ° C-1] to'yinganlik bug 'bosimi egri chizig'i.
T- havo harorati [° C]

Havoning har xil harorati uchun qiyalik qiymatlari (2.4- jadval)da keltirilgan. FAO Penman-Monteith tenglamasida, bu erda num hisoblagich va denominatorida, qiyalik paydo bo'ladi bug 'bosimi egri chizig'i o'rtacha havo harorati yordamida hisoblanadi.

Bug 'haroratidan kelib chiqqan haqiqiy bug 'bosimi (e_a)

Havoning to'yinganligi uchun havo sovutilishi kerak bo'lgan harorat bo'lganligi sababli, bug'ning haqiqiy bosimi (e_a) - bu suvsizlanish harorati (T_{dew}) [°C] yoki:

$$e_a = e^o(T_{dew}) = 0.6108 \exp \left[\frac{17.27 T_{dew}}{T_{dew} + 237.3} \right]$$

Nisbiy namlik ma'lumotlaridan olingan haqiqiy bug 'bosimi (e_a)

Bug'ning haqiqiy bosimini nisbiy namlikdan ham hisoblash mumkin. Namlik ma'lumotlari mavjudligiga qarab, turli xil tenglamalardan foydalanish kerak.

$$e_a = \frac{e^o(T_{min}) \frac{RH_{max}}{100} + e^o(T_{max}) \frac{RH_{min}}{100}}{2}$$

e_a - haqiqiy bug 'bosimi [kPa],

$e^{\circ}(T_{\min})$ -bug 'bosimi kunlik minimal haroratda [kPa],

$e^{\circ}(T_{\max})$ -bug 'bosimi kunlik maksimal haroratda [kPa],

RH_{\min} - maksimal nisbiy namlik [%],

RH_{\max} - maksimal nisbiy namlik [%],

OB-HAVO JADVALLARI

- 2.1. Dengiz sathidan turli balandliklar (z) uchun atmosfera bosimi (R)
- 2.2. Turli balandliklar (z) uchun psixometrik konstanta (γ)
- 2.3. Turli haroratlar (T) uchun to'yingan bug' bosimi ($e^0(T)$)
- 2.4. Turli haroratlar (T) uchun bug' bosimi egri gradienti (Δ)
- 2.5. Yildagi kunlar soni (J)
- 2.6. Har xil kengliklar uchun kunlik yerdan tashqari radiatsiya (R_a)
- 2.7. Turli kengliklar uchun kunduzgi soatlarning o'rtacha soati (N)
- 2.8. σT_K^4 (Stefan-Boltzman qonuni) har xil haroratlarda (T)
- 2.9. Berilgan balandlikda o'lchangan shamol tezligini yerdan 2 m standart balandlikda o'lchangan shamol tezligiga aylantirish omillari

2.1 - Jadval

Turli kengliklarda (z) atmosfera bosimi (R)

$P = 101.3 \left(\frac{293 - 0.0065z}{293} \right)^{5.26} \quad (7)$							
z (m)	R (kPa)	z (m)	P (kPa)	z (m)	P (kPa)	z (m)	P (kPa)
0	101,3	1000	90,0	2000	79,8	3000	70,5
50	100,7	1050	89,5	2050	79,3	3050	70,1
100	100,1	1100	89,0	2100	78,8	3100	69,6
150	99,5	1150	88,4	2150	78,3	3150	69,2
200	99,0	1200	87,9	2200	77,9	3200	68,8
250	98,4	1250	87,4	2250	77,4	3250	68,3
300	97,8	1300	86,8	2300	76,9	3300	67,9
350	97,2	1350	86,3	2350	76,4	3350	67,5
400	96,7	1400	85,8	2400	76,0	3400	67,1
450	96,1	1450	85,3	2450	75,5	3450	66,6
500	95,5	1500	84,8	2500	75,0	3500	66,2
550	95,0	1550	84,3	2550	74,6	3550	65,8
600	94,4	1600	83,8	2600	74,1	3600	65,4
650	93,8	1650	83,3	2650	73,7	3650	65,0
700	93,3	1700	82,8	2700	73,2	3700	64,6
750	92,7	1750	82,3	2750	72,7	3750	64,1
800	92,2	1800	81,8	2800	72,3	3800	63,7
850	91,6	1850	81,3	2850	71,8	3850	63,3
900	91,1	1900	80,8	2900	71,4	3900	62,9
950	90,6	1950	80,3	2950	71,0	3950	62,5
1000	90,0	2000	79,8	3000	70,5	4000	62,1

Turli kengliklar (z) uchun psixometrik konstanta (γ)
$$\gamma = \frac{c_p P}{\varepsilon \gamma} = 0.665 \times 10^{-3} P \quad (8)$$

z (m)	γ kPa/ $^{\circ}$ S	z (m)	γ kPa/ $^{\circ}$ S	z (m)	γ kPa/ $^{\circ}$ S	z (m)	γ kPa/ $^{\circ}$ S
0	0,067	1000	0,060	2000	0,053	3000	0,047
100	0,067	1100	0,059	2100	0,052	3100	0,046
200	0,066	1200	0,058	2200	0,052	3200	0,046
300	0,065	1300	0,058	2300	0,051	3300	0,045
400	0,064	1400	0,057	2400	0,051	3400	0,045
500	0,064	1500	0,056	2500	0,050	3500	0,044
600	0,063	1600	0,056	2600	0,049	3600	0,043
700	0,062	1700	0,055	2700	0,049	3700	0,043
800	0,061	1800	0,054	2800	0,048	3800	0,042
900	0,061	1900	0,054	2900	0,047	3900	0,042
1000	0,060	2000	0,053	3000	0,047	4000	0,041

Asosida $\gamma = 2,45 \text{ MJ kg}^{-1} 20^{\circ}\text{S}$ da.

Turli haroratlar (T) uchun to'yingan bug' bosimi ($e^0(T)$)

$e^0(T) = 0.6108 \exp \left[\frac{17.27T}{T + 237.3} \right] \quad (11)$							
T °S	e_s kPa	T °S	$e^0(T)$ kPa	T °S	$e^0(T)$ kPa	T °S	e_s kPa
1,0	0,657	13,0	1,498	25,0	3,168	37,0	6,275
1,5	0,681	13,5	1,547	25,5	3,263	37,5	6,448
2,0	0,706	14,0	1,599	26,0	3,361	38,0	6,625
2,5	0,731	14,5	1,651	26,5	3,462	38,5	6,806
3,0	0,758	15,0	1,705	27,0	3,565	39,0	6,991
3,5	0,785	15,5	1,761	27,5	3,671	39,5	7,181
4,0	0,813	16,0	1,818	28,0	3,780	40,0	7,376
4,5	0,842	16,5	1,877	28,5	3,891	40,5	7,574
5,0	0,872	17,0	1,938	29,0	4,006	41,0	7,778
5,5	0,903	17,5	2,000	29,5	4,123	41,5	7,986
6,0	0,935	18,0	2,064	30,0	4,243	42,0	8,199
6,5	0,968	18,5	2,130	30,5	4,366	42,5	8,417
7,0	1,002	19,0	2,197	31,0	4,493	43,0	8,640
7,5	1,037	19,5	2,267	31,5	4,622	43,5	8,867
8,0	1,073	20,0	2,338	32,0	4,755	44,0	9,101
8,5	1,110	20,5	2,412	32,5	4,891	44,5	9,339
9,0	1,148	21,0	2,487	33,0	5,030	45,0	9,582
9,5	1,187	21,5	2,564	33,5	5,173	45,5	9,832
10,0	1,228	22,0	2,644	34,0	5,319	46,0	10,086
10,0	1,270	22,5	2,726	34,5	5,469	46,5	10,374
11,0	1,313	23,0	2,809	35,0	5,623	47,0	10,613
11,5	1,357	23,5	2,896	35,5	5,780	47,5	10,885
12,0	1,403	24,0	2,984	36,0	5,941	48,0	11,163
12,5	1,449	24,5	3,075	36,5	6,106	48,5	11,447

Turli haroratlarda (T) uchun bug' bosimi egri gradienti (Δ)
$$\Delta = \frac{4098 \left[0.6108 \exp\left(\frac{17.27T}{T+237.3}\right) \right]}{(T+237.3)^2} \quad (13)$$

T °S	Δ kPa/°S	T °S	Δ kPa/°S	T °S	Δ kPa/°S	T °S	Δ kPa/°S
1,0	0,047	13,0	0,098	25,0	0,189	37,0	0,342
1,5	0,049	13,5	0,101	25,5	0,194	37,5	0,350
2,0	0,050	14,0	0,104	26,0	0,199	38,0	0,358
2,5	0,052	14,5	0,107	26,5	0,204	38,5	0,367
3,0	0,054	15,0	0,110	27,0	0,209	39,0	0,375
3,5	0,055	15,5	0,113	27,5	0,215	39,5	0,384
4,0	0,057	16,0	0,116	28,0	0,220	40,0	0,393
4,5	0,059	16,5	0,119	28,5	0,226	40,5	0,402
5,0	0,061	17,0	0,123	29,0	0,231	41,0	0,412
5,5	0,063	17,5	0,126	29,5	0,237	41,5	0,421
6,0	0,065	18,0	0,130	30,0	0,243	42,0	0,431
6,5	0,067	18,5	0,133	30,5	0,249	42,5	0,441
7,0	0,069	19,0	0,137	31,0	0,256	43,0	0,451
7,5	0,071	19,5	0,141	31,5	0,262	43,5	0,461
8,0	0,073	20,0	0,145	32,0	0,269	44,0	0,471
8,5	0,075	20,5	0,149	32,5	0,275	44,5	0,482
9,0	0,078	21,0	0,153	33,0	0,282	45,0	0,493
9,5	0,080	21,5	0,157	33,5	0,289	45,5	0,504
10,0	0,082	22,0	0,161	34,0	0,296	46,0	0,515
10,5	0,085	22,5	0,165	34,5	0,303	46,5	0,526
11,0	0,087	23,0	0,170	35,0	0,311	47,0	0,538
11,5	0,090	23,5	0,174	35,5	0,318	47,5	0,550
12,0	0,092	24,0	0,179	36,0	0,326	48,0	0,562
12,5	0,095	24,5	0,184	36,5	0,334	48,5	0,574

Yildagi kunlar soni (J)

Kun	Yanvar	Fevral	Mart*	Aprel*	May*	Iyun*
1	1	32	60	91	121	152
2	2	33	61	92	122	153
3	3	34	62	93	123	154
4	4	35	63	94	124	155
5	5	36	64	95	125	156
6	6	37	65	96	126	157
7	7	38	66	97	127	158
8	8	39	67	98	128	159
9	9	40	68	99	129	160
10	10	41	69	100	130	161
11	11	42	70	101	131	162
12	12	43	71	102	132	163
13	13	44	72	103	133	164
14	14	45	73	104	134	165
15	15	46	74	105	135	166
16	16	47	75	106	136	167
17	17	48	76	107	137	168
18	18	49	77	108	138	169
19	19	50	78	109	139	170
20	20	51	79	110	140	171
21	21	52	80	111	141	172
22	22	53	81	112	142	173
23	23	54	82	113	143	174
24	24	55	83	114	144	175
25	25	56	84	115	145	176
26	26	57	85	116	146	177
27	27	58	86	117	147	178
28	28	59	87	118	148	179
29	29	(60)	88	119	149	180
30	30	-	89	120	150	181
31	31	-	90	-	151	-

* agar yil kabisa yili bo'lsa, 1 ni qo'shing

J oyning har bir kuni (D) uchun (M) quyidagi tarzda aniqlanishi mumkin:

$$J = \text{INTEGER} (275 M/9 - 30 + D) - 2$$

IF (M < 3) **THEN** J = J + 2

faqat, **IF** (kabisa yili va (M > 2)) **THEN** J = J + 1

10 kunlik hisob-kitoblar uchun kun uchun J ni hisoblang D = 5, 15 va 25

Oylik hisob-kitoblar uchun oyning o'rtalarida J taxminan tomonidan beriladi:

2.6 - Jadval

Oyning 15-kuni uchun har xil kengliklar uchun kunlik yerdan tashqari radiatsiya (R_a)

$$R_a = \frac{24(60)}{\pi} G_{sc} d_r [\omega_s \sin(\varphi) \sin(\delta) \div \cos(\varphi) \cos(\delta) \sin(\omega_s)] \quad (21)$$

(Qiymatlar MJ m⁻² sut⁻¹)²

Shimoliy varim shar												Grad.	Jamubiy varim shar											
van	fev	mart	aprel	may	iyun	avg	sen	okt	nov	dek	shir.	van	fev	mart	apr	may	iyun	avg	sen	okt	nov	dek		
0,0	2,6	10,4	23,0	35,2	42,5	39,4	28,0	14,0	4,0	0,1	0,0	70	41,4	28,6	15,8	4,0	0,2	0,0	0,0	2,2	10,7	23,5	37,3	45,3
0,1	3,7	11,7	23,0	35,3	42,0	38,0	28,6	16,1	6,0	0,7	0,0	68	41,0	29,3	16,0	6,0	0,8	0,0	0,0	3,2	11,0	24,4	37,4	44,7
0,6	4,8	12,0	24,8	35,6	41,4	38,8	29,3	17,3	7,2	1,5	0,1	66	40,0	30,0	18,1	7,2	1,5	0,1	0,5	4,2	13,1	25,4	37,6	44,1
1,4	5,0	14,1	25,8	35,0	41,2	38,8	30,0	18,4	8,5	2,4	0,6	64	41,0	30,8	19,3	8,4	2,4	0,6	1,2	5,3	14,4	26,3	38,0	43,0
2,3	7,1	15,4	26,6	36,3	41,2	39,0	30,6	19,5	9,7	3,4	1,3	62	41,2	31,5	20,4	9,6	3,4	1,2	2,0	6,4	15,5	27,2	38,3	43,0
3,3	8,3	16,6	27,5	36,6	41,2	39,2	31,3	20,6	10,0	4,4	2,2	60	41,5	32,3	21,5	10,8	4,4	2,0	2,0	7,6	16,7	28,1	38,7	43,0
4,3	9,6	17,7	28,4	37,0	41,3	39,4	32,0	21,7	12,1	5,5	3,1	58	41,7	33,0	22,6	12,0	5,5	2,0	3,0	8,7	17,0	28,0	39,1	44,0
5,4	10,8	18,0	29,2	37,4	41,4	39,6	32,6	22,7	13,3	6,7	4,2	56	42,0	33,7	23,6	13,2	6,6	3,0	4,0	9,0	19,0	29,8	39,5	44,1
6,5	12,0	20,0	30,0	37,8	41,5	39,8	33,2	23,7	14,5	7,8	5,2	54	42,2	34,3	24,6	14,4	7,7	4,0	6,0	11,1	20,1	30,6	39,0	44,3
7,7	13,2	21,1	30,8	38,2	41,6	40,1	33,8	24,7	15,7	9,0	6,4	52	42,5	35,0	25,6	15,6	8,8	6,0	7,1	12,2	21,2	31,4	40,2	44,4
8,0	14,4	22,2	31,5	38,5	41,7	40,2	34,4	25,7	16,0	10,2	7,5	50	42,7	35,6	26,6	16,7	10,0	7,1	8,2	13,4	22,3	32,1	40,6	44,5
10,1	15,7	23,3	32,2	38,8	41,8	40,4	34,0	26,6	18,1	11,4	8,7	48	42,0	36,2	27,5	17,0	11,1	8,2	9,3	14,6	23,3	32,8	40,0	44,5
11,3	16,0	24,3	32,0	39,1	41,0	40,6	35,4	27,5	19,2	12,6	9,0	46	43,0	36,7	28,4	19,0	12,3	9,3	10,4	15,7	24,3	33,5	41,1	44,6
12,5	18,0	25,3	33,5	39,3	41,0	40,7	35,0	28,4	20,3	13,0	11,1	44	43,2	37,2	29,3	20,1	13,5	10,5	11,6	16,8	25,2	34,1	41,4	44,6
13,8	19,2	26,3	34,1	39,5	41,0	40,8	36,3	29,2	21,4	15,1	12,4	42	43,3	37,7	30,1	21,2	14,6	11,6	12,8	18,0	26,2	34,7	41,6	44,6
15,0	20,4	27,2	34,7	39,7	41,0	40,8	36,7	30,0	22,5	16,3	13,6	40	43,4	38,1	30,0	22,3	15,8	12,8	13,0	19,1	27,1	35,3	41,8	44,6
16,2	21,5	28,1	35,2	39,0	41,8	40,8	37,0	30,7	23,6	17,5	14,8	38	43,4	38,5	31,7	23,3	16,0	13,0	15,1	20,2	28,0	35,8	41,0	44,5
17,5	22,6	29,0	35,7	40,0	41,7	40,8	37,4	31,5	24,6	18,7	16,1	36	43,4	38,0	32,4	24,3	18,1	15,1	16,2	21,2	28,8	36,3	42,0	44,4
18,7	23,7	29,0	36,1	40,0	41,6	40,8	37,6	32,1	25,6	19,0	17,3	34	43,4	39,2	33,0	25,3	19,2	16,2	17,4	22,3	29,6	36,7	42,0	44,3
19,0	24,8	30,7	36,5	40,0	41,4	40,7	37,0	32,8	26,6	21,1	18,5	32	43,3	39,4	33,7	26,3	20,3	17,4	18,5	23,3	30,4	37,1	42,0	44,1
21,1	25,8	31,4	36,8	40,0	41,2	40,6	38,0	33,4	27,6	22,2	19,8	30	43,1	39,6	34,3	27,2	21,4	18,5	19,6	24,3	31,1	37,5	42,0	43,0
22,3	26,8	32,2	37,1	40,0	40,0	40,4	38,2	33,0	28,5	23,3	21,0	28	43,0	39,8	34,8	28,1	22,5	19,7	20,7	25,3	31,8	37,8	41,0	43,6
23,4	27,8	32,8	37,4	39,0	40,6	40,2	38,3	34,5	29,3	24,5	22,2	26	42,8	39,0	35,3	29,0	23,5	20,8	21,8	26,3	32,5	38,0	41,8	43,3
24,6	28,8	33,5	37,6	39,7	40,3	39,0	38,3	34,0	30,2	25,5	23,3	24	42,5	40,0	35,8	29,8	24,6	21,0	22,0	27,2	33,1	38,3	41,7	43,0
25,7	29,7	34,1	37,8	39,5	40,0	39,6	38,4	35,4	31,0	26,6	24,5	22	42,2	40,1	36,2	30,6	25,6	23,0	24,0	28,1	33,7	38,4	41,4	42,6
26,8	30,6	34,7	37,0	39,3	39,5	39,3	38,3	35,8	31,8	27,7	25,6	20	41,0	40,0	36,6	31,3	26,6	24,1	25,0	28,0	34,3	38,6	41,2	43,1
27,0	31,5	35,2	38,0	39,0	39,1	38,0	38,2	36,1	32,5	28,7	26,8	18	41,5	40,0	37,0	32,1	27,5	25,1	26,0	29,8	34,7	38,7	40,0	41,7
28,0	32,3	35,7	38,1	38,7	38,6	38,5	38,1	36,4	33,2	29,6	27,0	16	41,1	39,0	37,2	32,8	28,5	26,2	27,0	30,6	35,2	38,7	40,6	41,2
29,0	33,1	36,1	38,1	38,4	38,1	38,1	38,0	36,7	33,0	30,6	28,0	14	40,6	39,7	37,5	33,4	29,4	27,2	27,0	31,3	35,6	38,7	40,2	40,6
30,0	33,8	36,5	38,0	38,0	37,6	37,6	37,8	36,0	34,5	31,5	30,0	12	40,1	39,6	37,7	34,0	30,2	28,1	28,0	32,1	36,0	38,6	39,8	40,0
31,0	34,5	36,0	37,0	37,6	37,0	37,1	37,5	37,1	35,1	32,4	31,0	10	39,5	39,3	37,8	34,6	31,1	29,1	29,8	32,8	36,3	38,5	39,3	39,4
32,8	35,2	37,2	37,8	37,1	36,3	36,5	37,2	37,2	35,6	33,3	32,0	8	38,0	39,0	37,0	35,1	31,0	30,0	30,7	33,4	36,6	38,4	38,8	38,7
33,7	35,8	37,4	37,6	36,6	35,7	35,0	36,0	37,3	36,1	34,1	32,0	6	38,3	38,7	38,0	35,6	32,7	30,0	31,5	34,0	36,8	38,2	38,2	38,0
34,6	36,4	37,6	37,4	36,0	35,0	35,3	36,5	37,3	36,6	34,0	33,0	4	37,6	38,3	38,0	36,0	33,4	31,8	32,3	34,6	37,0	38,0	37,6	37,2
35,4	37,0	37,8	37,1	35,4	34,2	34,6	36,1	37,3	37,0	35,6	34,8	2	36,0	37,0	38,0	36,4	34,1	32,6	33,1	35,2	37,1	37,7	37,0	38,4
36,2	37,5	37,0	36,8	34,8	33,4	33,0	35,7	37,2	37,4	36,3	35,6	0	36,2	37,5	37,0	36,8	34,8	33,4	33,0	35,7	37,2	37,4	36,3	35,6

- Oyning 15-kundagi R_a qiymatlari oyning barcha kunlarida o'rtacha hisoblangan R_a ning aniq hisobini (<1 % xato) beradi. Faqat qish oylarida 55 dan yuqori (N yoki S) yuqori kengliklarda og'ishlar 1 % dan oshishi mumkin.
- Qiymatlarni lambda = 2,45 ga bo'lish orqali ekvivalent mm/kunga aylantirish mumkin.

2.7 - Jadval

Oyning 15-kuni uchun turli kengliklar uchun o'rtacha kunlik soatlar (N)

$$N = \frac{24}{\pi} \omega_s$$

Shimoliy yarim shar													Grad.	Janubiy yarim shar												
yan	feb	mart	april	may	iyun	iyul	avg	sen	okt	nov	dek	shir.	yan	feb	mart	april	may	iyun	iyul	avg	sen	okt	nov	dek		
0,0	6,6	11,0	15,6	21,3	24,0	24,0	17,6	12,8	8,3	2,3	0,0	70	24,0	17,4	13,0	8,4	2,7	0,0	0,0	6,4	11,2	15,7	21,7	24,0		
2,1	7,3	11,1	15,3	19,7	24,0	22,3	17,0	12,7	8,7	4,1	0,0	78	21,0	16,7	12,0	8,7	4,3	0,0	1,7	7,0	11,3	15,3	19,0	24,0		
3,0	7,8	11,2	14,0	18,7	22,0	20,3	16,4	12,7	9,0	5,2	1,0	80	20,1	16,2	12,8	9,1	5,3	2,0	3,7	7,6	11,3	15,0	18,8	22,1		
5,0	8,2	11,2	14,7	17,0	20,3	19,2	16,0	12,6	9,3	6,0	3,7	84	19,0	15,8	12,8	9,3	6,1	3,7	4,8	8,0	11,4	14,7	18,0	20,3		
5,7	8,5	11,3	14,4	17,3	19,2	18,4	15,7	12,6	9,5	6,6	4,8	82	18,3	15,5	12,7	9,6	6,7	4,8	5,6	8,3	11,4	14,5	17,4	19,2		
6,4	8,8	11,4	14,2	16,8	18,4	17,7	15,3	12,5	9,7	7,1	5,6	80	17,6	15,2	12,6	9,8	7,2	5,6	6,3	8,7	11,5	14,3	16,0	18,4		
6,0	9,1	11,4	14,1	16,4	17,8	17,2	15,1	12,5	9,9	7,5	6,2	58	17,1	14,0	12,6	9,9	7,6	6,2	6,8	8,0	11,5	14,1	16,5	17,8		
7,3	9,3	11,5	13,0	16,0	17,3	16,8	14,8	12,4	10,1	7,0	6,7	56	16,7	14,7	12,5	10,1	8,0	6,7	7,2	9,2	11,6	13,0	16,1	17,3		
7,7	9,5	11,5	13,8	15,7	16,8	16,4	14,6	12,4	10,2	8,2	7,1	54	16,3	14,5	12,5	10,2	8,3	7,2	7,6	9,4	11,6	13,8	15,8	16,9		
8,0	9,7	11,5	13,6	15,4	16,5	16,0	14,4	12,4	10,3	8,5	7,5	52	16,0	14,3	12,5	10,4	8,6	7,5	8,0	9,6	11,6	13,7	15,5	16,5		
8,3	9,8	11,6	13,5	15,2	16,1	15,7	14,3	12,3	10,4	8,7	7,9	00	15,7	14,2	12,4	10,5	8,8	7,9	8,3	9,7	11,7	13,6	15,3	16,1		
8,6	10,0	11,6	13,4	15,0	15,8	15,5	14,1	12,3	10,6	9,0	8,2	48	15,4	14,0	12,4	10,6	9,0	8,2	8,5	9,0	11,7	13,4	15,0	15,8		
8,8	10,1	11,6	13,3	14,8	15,5	15,2	14,0	12,3	10,7	9,2	8,5	46	15,2	13,9	12,4	10,7	9,2	8,5	8,8	10,0	11,7	13,3	14,8	15,5		
9,1	10,3	11,6	13,2	14,6	15,3	15,0	13,8	12,3	10,7	9,4	8,7	44	14,9	13,7	12,4	10,8	9,4	8,7	9,0	10,2	11,7	13,3	14,6	15,3		
9,3	10,4	11,7	13,2	14,4	15,0	14,8	13,7	12,3	10,8	9,6	9,0	42	14,7	13,6	12,3	10,8	9,6	9,0	9,2	10,3	11,7	13,2	14,4	15,0		
9,5	10,5	11,7	13,1	14,2	14,8	14,6	13,6	12,2	10,9	9,7	9,2	40	14,5	13,5	12,3	10,9	9,8	9,2	9,4	10,4	11,8	13,1	14,3	14,8		
9,6	10,6	11,7	13,0	14,1	14,6	14,4	13,5	12,2	11,0	9,9	9,4	38	14,4	13,4	12,3	11,0	9,9	9,4	9,6	10,5	11,8	13,0	14,1	14,6		
9,8	10,7	11,7	12,0	13,0	14,4	14,2	13,4	12,2	11,1	10,1	9,6	30	14,2	13,3	12,3	11,1	10,1	9,6	9,8	10,6	11,8	12,0	13,0	14,4		
10,0	10,8	11,8	12,0	13,8	14,3	14,1	13,3	12,2	11,1	10,2	9,7	34	14,0	13,2	12,2	11,1	10,2	9,7	9,0	10,7	11,8	12,0	13,8	14,3		
10,1	10,0	11,8	12,8	13,6	14,1	13,0	13,2	12,2	11,2	10,3	9,0	32	13,0	13,1	12,2	11,2	10,4	9,0	10,1	10,8	11,8	12,8	13,7	14,1		
10,3	11,0	11,8	12,7	13,5	13,0	13,8	13,1	12,2	11,3	10,5	10,1	30	13,7	13,0	12,2	11,3	10,5	10,1	10,2	10,0	11,8	12,7	13,5	13,9		
10,4	11,0	11,8	12,7	13,4	13,8	13,6	13,0	12,2	11,3	10,6	10,2	28	13,6	13,0	12,2	11,3	10,6	10,2	10,4	11,0	11,8	12,7	13,4	13,8		
10,5	11,1	11,8	12,6	13,3	13,6	13,5	12,0	12,1	11,4	10,7	10,4	26	13,5	12,0	12,2	11,4	10,7	10,4	10,5	11,1	11,0	12,6	13,3	13,6		
10,7	11,2	11,8	12,6	13,2	13,5	13,3	12,8	12,1	11,4	10,8	10,5	24	13,3	12,8	12,2	11,4	10,8	10,5	10,7	11,2	11,0	12,6	13,2	13,5		
10,8	11,3	11,0	12,5	13,1	13,3	13,2	12,8	12,1	11,5	10,0	10,7	22	13,2	12,7	12,1	11,5	10,0	10,7	10,8	11,2	11,0	12,5	13,1	13,3		
10,0	11,3	11,0	12,5	12,0	13,2	13,1	12,7	12,1	11,5	11,0	10,8	20	13,1	12,7	12,1	11,5	11,1	10,8	10,0	11,3	11,0	12,5	13,0	13,2		
11,0	11,4	11,0	12,4	12,8	13,1	13,0	12,6	12,1	11,6	11,1	10,0	18	13,0	12,6	12,1	11,6	11,2	10,0	11,0	11,4	11,0	12,4	12,0	13,1		
11,1	11,5	11,0	12,4	12,7	12,0	12,5	12,1	11,6	11,2	11,1	11,1	16	12,0	12,5	12,1	11,6	11,3	11,1	11,1	11,5	11,0	12,4	12,8	12,9		
11,3	11,6	11,0	12,3	12,6	12,8	12,8	12,5	12,1	11,7	11,3	11,2	14	12,7	12,4	12,1	11,7	11,4	11,2	11,2	11,5	11,0	12,3	12,7	12,8		
11,4	11,6	11,0	12,3	12,6	12,7	12,6	12,4	12,1	11,7	11,4	11,3	12	12,6	12,4	12,1	11,7	11,4	11,3	11,4	11,6	11,0	12,3	12,6	12,7		
11,5	11,7	11,0	12,2	12,5	12,6	12,5	12,3	12,1	11,8	11,5	11,4	10	12,5	12,3	12,1	11,8	11,5	11,4	11,5	11,7	11,0	12,2	12,5	12,6		
11,6	11,7	11,0	12,2	12,4	12,5	12,4	12,3	12,0	11,8	11,6	11,4	8	12,4	12,3	12,1	11,8	11,6	11,5	11,6	11,7	12,0	12,2	12,4	12,5		
11,7	11,8	12,0	12,1	12,3	12,3	12,3	12,2	12,0	11,9	11,7	11,7	6	12,3	12,2	12,0	11,9	11,7	11,7	11,7	11,8	12,0	12,1	12,3	12,3		

Oyning 15-kunidagi N qiymatlari aniq hisoblashni ta'minlaydi (xato < 1 %; N, oyning barcha kunlarida o'rtacha. Faqat 55° dan (N yoki S.) yuqori kengliklarda, qish oylarida, og'ishlar 1 % dan oshishi mumkin.

2.8 - Jadval

 σT_K^4 (Stefan-Boltzman qonuni) har xil haroratlarda (T)

$\sigma = 4.903 \cdot 10^{-9} \text{ MJ K}^{-4} \text{ m}^{-2} \text{ sut}^{-1}$ $T_K = T[^\circ\text{S}] + 273,16$					
T (°C)	σT_K^4 (MJ m ⁻² sut ⁻¹)	T (°C)	σT_K^4 (MJ m ⁻² sut ⁻¹)	T (°C)	σT_K^4 (MJ m ⁻² sut ⁻¹)
1,0	27,70	17,0	34,75	33,0	43,08
1,5	27,90	17,5	34,99	33,5	43,36
2,0	28,11	18,0	35,24	34,0	43,64
2,5	28,31	18,5	35,48	34,5	43,93
3,0	28,52	19,0	35,72	35,0	44,21
3,5	28,72	19,5	35,97	35,5	44,50
4,0	28,93	20,0	36,21	36,0	44,79
4,5	29,14	20,5	36,46	36,5	45,08
5,0	29,35	21,0	36,71	37,0	45,37
5,5	29,56	21,5	36,96	37,5	45,67
6,0	29,78	22,0	37,21	38,0	45,96
6,5	29,99	22,5	37,47	38,5	46,26
7,0	30,21	23,0	37,72	39,0	46,56
7,5	30,42	23,5	37,98	39,5	46,85
8,0	30,64	24,0	38,23	40,0	47,15
8,5	30,86	24,5	38,49	40,5	47,46
9,0	31,08	25,0	38,75	41,0	47,76
9,5	31,30	25,5	39,01	41,5	48,06
10,0	31,52	26,0	39,27	42,0	48,37
10,5	31,74	26,5	39,53	42,5	48,68
11,0	31,97	27,0	39,80	43,0	48,99
11,5	32,19	27,5	40,06	43,5	49,30
12,0	32,42	28,0	40,33	44,0	49,61
12,5	32,65	28,5	40,60	44,5	49,92
13,0	32,88	29,0	40,87	45,0	50,24
13,5	33,11	29,5	41,14	45,5	50,56
14,0	33,34	30,0	41,41	46,0	50,87
14,5	33,57	30,5	41,69	46,5	51,19
15,0	33,81	31,0	41,96	47,0	51,51
15,5	34,04	31,5	42,24	47,5	51,84
16,0	34,28	32,0	42,52	48,0	52,16
16,5	34,52	32,5	42,80	48,5	52,49

2.9 - Jadval

Berilgan balandlikda (o't ustida) o'lchangan shamol tezligini yerdan 2 m standart balandlikda o'lchangan shamol tezligiga aylantirish omillari

Konvertatsiya omili = $\frac{4.87}{\ln(67.8z - 5.42)}$ (47)							
z balandli gi (m)	Konvert atsiya omili	z balandli gi (m)	Konvert atsiya omili	z balandli gi (m)	Konvert atsiya omili	z balandli gi (m)	Konvert atsiya omili
-	-	2,2	0,980	4,2	0,865	6,0	0,812
-	-	2,4	0,963	4,4	0,857	6,5	0,802
-	-	2,6	0,947	4,6	0,851	7,0	0,792
-	-	2,8	0,933	4,8	0,844	7,5	0,783
1,0	1,178	3,0	0,921	5,0	0,838	8,0	0,775
1,2	1,125	3,2	0,910	5,2	0,833	8,5	0,767
1,4	1,084	3,4	0,899	5,4	0,827	9,0	0,760
1,6	1,051	3,6	0,889	5,6	0,822	9,5	0,754
1,8	1,023	3,8	0,881	5,8	0,817	10,0	0,748
2,0	1,000	4,0	0,872	6,0	0,812	10,5	0,742

2.6. Bug'lanishni hisoblashda qo'llaniladigan parametrlar bo'yicha dastlabki ma'lumotlar

Yashirin bug'lanish issiqligi (λ)

$$\lambda = 2.501 - (2.361 \times 10^{-3})T$$

Bu yerda:

λ - bug'lanishning yashirin issiqligi [MJ kg⁻¹];

T – havo harorati [°S].

Bug'lanishning yashirin issiqligining qiymati normal diapazonda haroratda faqat biroz o'zgaradi. Yagona qiymat qabul qilinishi mumkin. (T = 20°S uchun): $\lambda = 2,45$ MJ kg⁻¹.

Atmosfera bosimi (R)

$$P = P_0 \left(\frac{T_{K_0} - \alpha_1(z - z_0)}{T_{K_0}} \right)^{\frac{g}{\alpha_1 R}}$$

Bu yerda:

P - z balandlikdagi atmosfera bosimi [kPa]

P₀ - dengiz sathida atmosfera bosimi = 101,3 [kPa]

z - balandligi [m]

z₀ – mos yozuvlar balandligi [m]

g – tortishish tezlashishi 9.807 [m s⁻²]

R – o'ziga xos gaz konstantasi = 287 [J kg⁻¹K⁻¹]

α_1 – havo namligini baholaashda xato doimiysi = 0.0065 [K m⁻¹]

T_{K₀} - mos yozuvlar harorati [K] z₀ balandlikda, tomonidan o'rnatiladi

$$T_{K_0} = 273.16 + T \quad (2-3)$$

Bu yerda:

T – hisoblash davri uchun o'rtacha havo harorati [°S]

Agar $z_0 = 0$ uchun $R_0 = 101,3$ [kPa] , $T = 20$ [$^{\circ}\text{S}$] uchun $T_{K0} = 293$ [K] ni olsak, (2-3) tenglama quyidagicha bo'ladi:

$$P = 101,3 \left(\frac{293 - 0,0065z}{293} \right)^{5,26}$$

Atmosfera zichligi (p)

$$p = \frac{1000P}{T_{Kv}R} = 3,486 \frac{P}{T_{Kv}} \quad (2-5)$$

Bu yerda:

p – atmosfera zichligi [kg m⁻³]

R – o'ziga xos gaz konstantasi = 287 [J kg⁻¹ K⁻¹]

T_{K0} - virtual harorat [K]

$$T_{Kv} = T_K \left(1 - 0,378 \frac{e_a}{P} \right)^{-1} \quad (2-6)$$

Bu yerda:

T_K – mutlaq harorat [K]: $T_K = 273,16 + T$ [$^{\circ}\text{S}$]

e_a – haqiqiy bug' bosimi [kPa]

O'rtacha sharoitlar uchun (1-5 [kPa] ichida va R 80-100 [kPa] orasida), tenglama (3-6) quyidagi bilan almashtirilishi mumkin:

$$T_{Kv} \approx 1,01(T \div 273) \quad (2-7)$$

T-24 soatlik hisoblashdavri uchun o'rtacha kunlik haroratga teng.

To'yingan bug' bosimi (e_s)

$$e^0(T) = 0,611 \exp \left(\frac{17,27T}{T \div 237,3} \right) \quad (2-8)$$

Bu yerda:

$e^0(T)$ – to'yingan bug' bosimi funksiyasi [kPa]

T – havo harorati [$^{\circ}\text{S}$]

Bug' bosimi gradient egri chizig'i (Δ)

$$\Delta = \frac{4098e^0(T)}{(T \div 237.3)^2} = \frac{2504 \exp\left(\frac{17.27T}{T \div 237.2}\right)}{(T \div 237.2)^2} \quad (2-9)$$

Bu yerda:

Δ - bug' bosimi gradient egri chizig'i [$\text{kPa}^0\text{S}^{-1}$]

T – havo harorati [^0S]

e^0 - haroratda to'yingan bug' bosimi [kPa]

24 soatlik hisob-kitoblarda Δ o'rtacha kunlik havo harorati yordamida hisoblanadi. Soatlik hisob-kitoblarda T soatlik o'rtacha T_{hr} ga ishora qiladi.

Psixometrik doimiy (γ)

$$\gamma = \frac{c_p P}{\varepsilon \gamma} \times 10^{-3} = 0.00163 \frac{P}{\gamma} \quad (2-10)$$

Bu yerda:

γ - psixometrik doimiy [$\text{kPa}^0\text{S}^{-1}$]

s_r - nam havoning solishtirma issiqligi = 1,013 [$\text{kJ kg}^{-1} \text{S}^{-1}$]

R – atmosfera bosimi [kPa]: 2 yoki 4 tenglamalar

p - suv bug'i/quruq havo molekulyar og'irligi nisbati = 0,622

R - bug'lanishning yashirin issiqligi [MJ kg^{-1}]

Shudring nuqtasi harorati (T_{dew})

T_{dew} kuzatilmasa, uni e_a orqali hisoblash mumkin:

$$T_{\text{dew}} = \frac{116.91 \div 237.3 \ln(e_a)}{16.78 - \ln(e_a)} \quad (2-11)$$

Bu yerda:

T_{dew} – shudring nuqtasi harorati [^0S]

e_a – haqiqiy bug' bosimi [kPa]

Agar o'lchovlar Assmann psixometrida o'tkazilsa, T_{dew} ni quyidagicha hisoblash mumkin:

$$T_{dew} = (112 \div 0.9T_{wet}) \left(\frac{e_a}{e^0(T_{wet})} \right)^{1/8} - 112 \div 0.1T_{wet} \quad (2-12)$$

Aniq kunda qisqa to'lqinli nurlanish (R_{so})

R_{so} ni hisoblash aniq uzun to'lqinli nurlanishni baholash va piranometrlarni kalibrlash va R_{so} ma'lumotlarining yaxlitligini tekshirish uchun talab qilinadi. Kundalik va soatlik davrlarda R_{so} uchun Q ning yetarli darajada yaqinlashishi:

$$R_{so} = (0.75 \div 2 \times 10^{-5} z) R_a \quad (2-13)$$

Bu yerda:

z – stantsiya balandligi [m]

R_a – yerdan tashqari radiatsiya [$MJ m^{-2} sut^{-1}$]

Tenglama (3-13) 6000 m dan oshmaydigan, havodagi chang miqdori past bo'lgan stansiya balandligi uchun amal qiladi. Tenglama quyosh nurlanishining o'rtacha burchagi gorizontdan 50^0 ga teng bo'lgan holda, Beerning radiatsiyaviy yemirilish qonunini stansiya balandligi funksiyasi sifatida chiziqli qilish orqali ishlab chiqilgan.

Quyosh nurlarining burchagi 50^0 dan kam bo'lgan, atmosfera orqali radiatsiya yo'lining uzunligi ortib borayotgan hudud uchun ifloslanish yoki havo changlari natijasida yuzaga kelgan havoning loyqaligi yuqori bo'lgan hudud uchun Beer qonunining qabul qilinishi P atmosfera massasini ifodalsh uchun ishlatiladi:

$$R_{so} = R_a \exp\left(\frac{-0.0018P}{K_t \sin \phi}\right) \quad (2-14)$$

Bu yerda:

K_t – chang koeffitsienti [], $0 < K_t \leq 1.0$, bu yerda toza havo uchun $K_t = 1.0$ va yuqori loyqa, chang yoki ifloslangan havo uchun $K_t = 1,0$

R – atmosfera bosimi [kPa]

p - quyosh nurlarining ufqdan yuqoridagi burchagi [rad]

R_a – yerdan tashqari radiatsiya [$\text{MJ m}^2 \text{ d}^{-1}$]

Soatlik yoki undan qisqaroq vaqtlar uchun ϕ quyidagicha hisoblanadi:

$$\sin \phi = \sin \varphi \sin \delta \div \cos \varphi \cos \delta \cos \omega \quad (2-15)$$

Bu yerda:

φ - kenglik[rad]

δ - quyosh nurlarining moyilligi [rad] (24-tenglama, 2-bob)

w- bir soat yoki undan qisqaroq davr o'rtalarida quyosh vaqtining burchagi [rad]

(31-tenglama, 3-bob)

24 soatlik davrlarda R_a ga ko'ra hisoblangan quyosh nurlarining o'rtacha kunlik burchagini quyidagicha taxmin qilish mumkin:

$$\sin \varphi_{24} = \sin \left[0.85 \div 0.3 \varphi \sin \left(\frac{2\pi}{365} J - 1.39 \right) - 0.42 \varphi^2 \right] \quad (2-16)$$

Bu yerda:

φ_{24} – kunlik davrda o'rtacha φ , R_a [rad] bo'yicha hisoblangan.

φ - kenglik [rad]

J – yil kuni [-]

φ_{24} o'zgaruchisi (3-14) yoki (3-18) tenglamada kunduzgi soat davomida quyoshning o'rtacha burchagini ifodalsh uchun ishlatiladi va atmosfera tomonidan 24 soatlik R_{so} ga integratsiyalashgan 24 soatlik uzatish ta'sirini ko'rsatish uchun hisoblanadi. (2-16) tenglamadagi $\varphi_{24} \geq 0$ bilan cheklanishi kerak.

Ba'zi hollarda R_{so} bahosini (3-14) tenglamani suv bug'ining qisqa to'lqin uzunlikdagi yutilishga ta'sirini quyidagicha o'zgartirish orqali yaxshilash mumkin:

$$R_{so} = (K_B \div K_D) R_a \quad (2-17)$$

Bu yerda:

K_v – radiatsiya tozaligi indeksi

K_D – aralash nurlanish uchun mos keladigan raqam

R_a – yerdan tashqari radiatsiya [$\text{MJ m}^{-2} \text{ sut}^{-1}$]

$$K_B = 0.98 \exp \left[\frac{-0.00146P}{K_t \sin \varphi} - 0.091 \left(\frac{W}{\sin \varphi} \right)^{0.25} \right] \quad (2-18)$$

Bu yerda:

K_t – chang koeffitsienti [], $0 < K_t \leq 1.0$, bu yerda o'ta chang yoki ifloslangan havo uchun

$K_t = 0.1$

R – atmosfera bosimi [kPa]

b - quyosh nurlarining ufqdan yuqoridagi burchagi [rad]

W – atmosferada yomg'ir suvi [mm]

$$W = 0.14e_a P \div 2.1 \quad (2-19)$$

Bu yerda:

W – atmosferadagi yomg'ir suvi [mm]

e_a – haqiqiy bug' bosimi [kPa]

R – atmosfera bosimi [kPa]

Aralash nurlanish ko'rsatkichi K_v asosida baholanadi:

$$K_D = 0.35 - 0.33K_B \dots \dots \dots \text{для} \dots K_B \geq 0.15 \quad (2-20)$$

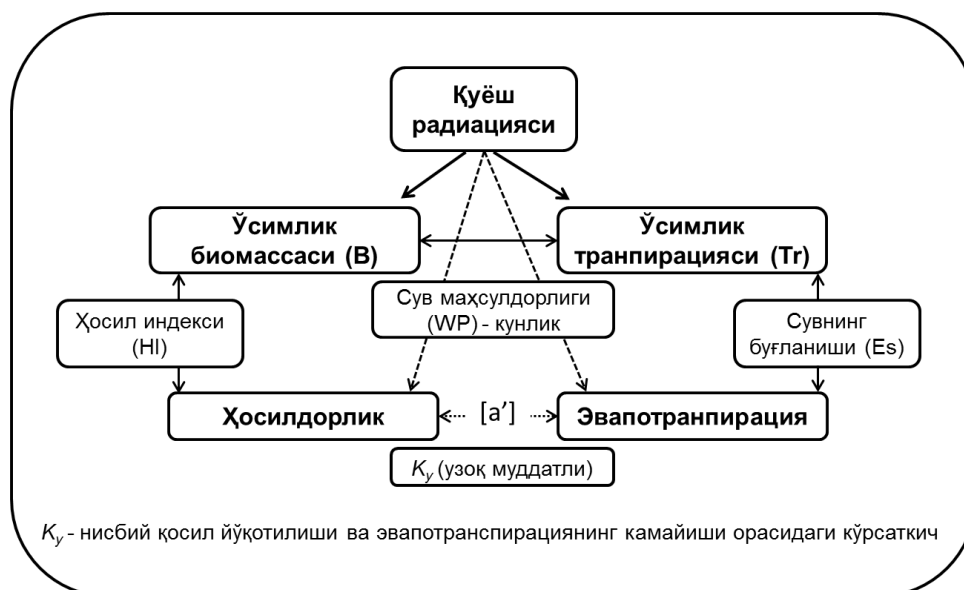
$$K_D = 0.18 \div 0.82K_B \dots \dots \dots \text{для} \dots K_B < 0.15$$

(3-14) tenglamadagi kabi, (16) tenglamadagi φ_{24} o'zgaruvchisi 24 soatlik R_{so} hisoblari uchun (3-18) tenglamadagi φ uchun ishlatiladi.

Umumiy qoidaga ko'ra, (3-13), (3-14) yoki (3-16) tenglamalar yordamida hisoblangan R_{so} o'lchangan R_s konverti sifatida qabul qilinadi va asbobni kalibrlash uchun foydalidir. Bu 5- ilovada tasvirlangan.

III-BOB.AQUA CROP EKIN MODELINING QISQACHA TAVSIFI

AquaCrop ekin modeli o‘simlik biomassasi (V) va transpiratsiyasi (Tr) orasidagi fundamental bog‘liklikka qaratilgan bo‘lib (3.1-rasm), bunda suv mahsuldorligi (WP) konservativ ko‘rsatkich hisoblanadi.



3.1–rasm. AquaCrop ekin modelidagi o‘simlik biomassasi va o‘simlik transpiratsiyasi orasidagi fundamental bog‘liqlik

AquaCrop ekin yetishtirish modeli *FAO Irrigation & Drainage Paper n. 33* risolasida (Doorenbos and Kassam, 1979) bayon etilgan yondashuv asosida yaratilgan:

$$\left(\frac{Y_x - Y_a}{Y_x}\right) = K_y \left(\frac{ET_x - ET_a}{ET_x}\right) \quad [1]$$

bunda,

Y_x va Y_a – maksimal va aniqlangan hosil;

ET_x va ET_a - maksimal va aniqlangan evapotranspiratsiya;

K_y – hosil yo‘qotilishi va evapotranspiratsiyaning kamayishi orasidagi ko‘rsatkich

(3.1-rasm).

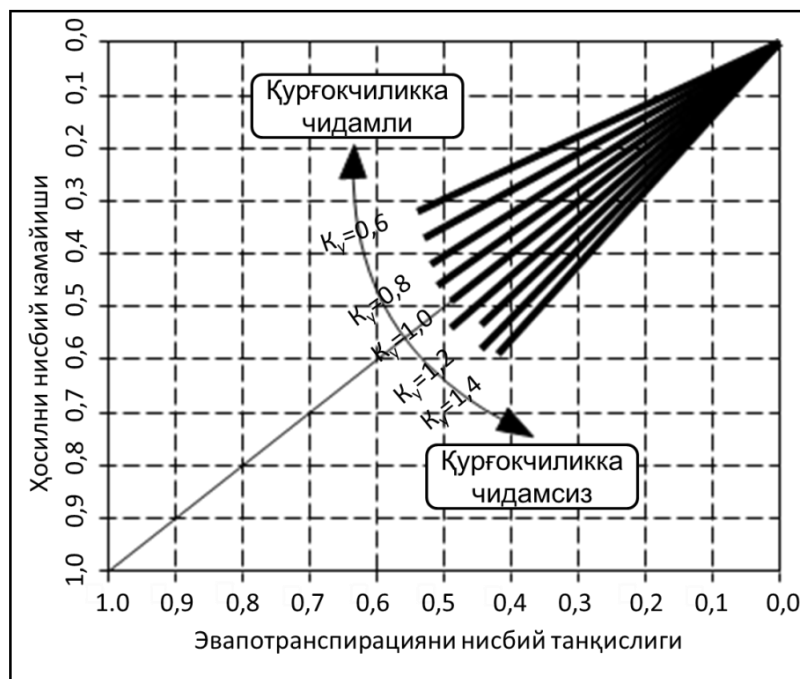
Modelda quyidagilar yanada rivojlantirilgan (Raes et al. 2010, 2011, 2012):

1) evapotranspiratsiya (ET) - o‘simlik transpiratsiyasi (Tr) va suvni tuproqdan bug‘lanishiga (E) ajratilgan (ushbu ko‘rsatkichlarni alohida ajratishga sabab – o‘simliklarni suvdan mahsulsiz foydalanishini farqlash);

2) o‘simlik yerdan ustki biomassa to‘plashi modeli;

3) yakuniy hosil yakuniy biomassa va hosil indeksi funksiyasi deb qabul qilindi; 4) suv tangligining o‘simliklarga bo‘lgan ta‘siri to‘rt komponentga ajratiladi: yerdan ustki

4) biomassaning rivojlanishi, biomassa to‘planishining to‘xtashi, transpiratsiya (Tr) va hosil indeksi (HI – o‘simlikning hosil qismini umumiy biomassaga nisbati).



3.2-rasm. O‘simliklarning vegetatsiya davomida hosilni nisbiy kamayishi va evapotranspiratsiyanisbiy tanqisligi orasidagi bog‘liqlik

Modelning ishlashida quyidagi tenglama asosiylardan hisoblanadi:

$$B = WP \times \Sigma Tr \quad [2]$$

bunda,

B – o‘simlikning yerdan ustki biomassasi;

WP – suv mahsuldorligi (kg/m^2 yoki kumulyativ transpiratsiyaga nisbatan biomassa);

ΣTr – kumulyativ transpiratsiya (mm).

Bu tenglamada (Eq [2]) xar kunlik ma'lumotlar o'zaro boglangan, shu sababli o'simliklarning suv tanqisligiga bo'lgan munosabati aniqroq inobatga olinadi, Eq [1] esa ko'rsatilgan bog'liqlik davriy yoki ekinning ma'lum rivojlanish fazalariga tegishlidir.

Boshqa modellar kabi AquaCrop ning «tuproq-o'simlik-atmosfera» tizimi quyidagilarni qamrab olgan: (i) tuproq va undagi suv muvozanati, (ii) o'simlikning o'sishi, rivojlanishi va hosil tuplashi jarayonlari, (iii) atmosfera va uning termal tartiboti, yog'ingarchilik, yer yuzasidan suvning bug'lanishi va havodagi SO₂ konsentratsiyasi.

Boshqa ekin modellariga nisbatan AquaCrop tizimining farqli tomonlari quyidagilardan iborat:

- asosan suv/sug'orish masalasiga bag'ishlangan;
- barg sathi indeksi o'rniga yer yuzasini o'simlik biomassasi bilan qoplanishi ko'rsatkichi ishlatiladi;
- muvofiqlashtirilgan suv mahsuldorligi ko'rsatkichidan foydalaniladi;
- nisbatan kam ma'lumotlar yig'indisi modelga kiritilishini talab etadi;
- foydalanuvchi uchun sodda ravishda tuzilgan;
- oddiy, aniq va to'g'ri ishlaydi;
- turli qishloq xo'jalik tizimlarida foydalanish mumkin.

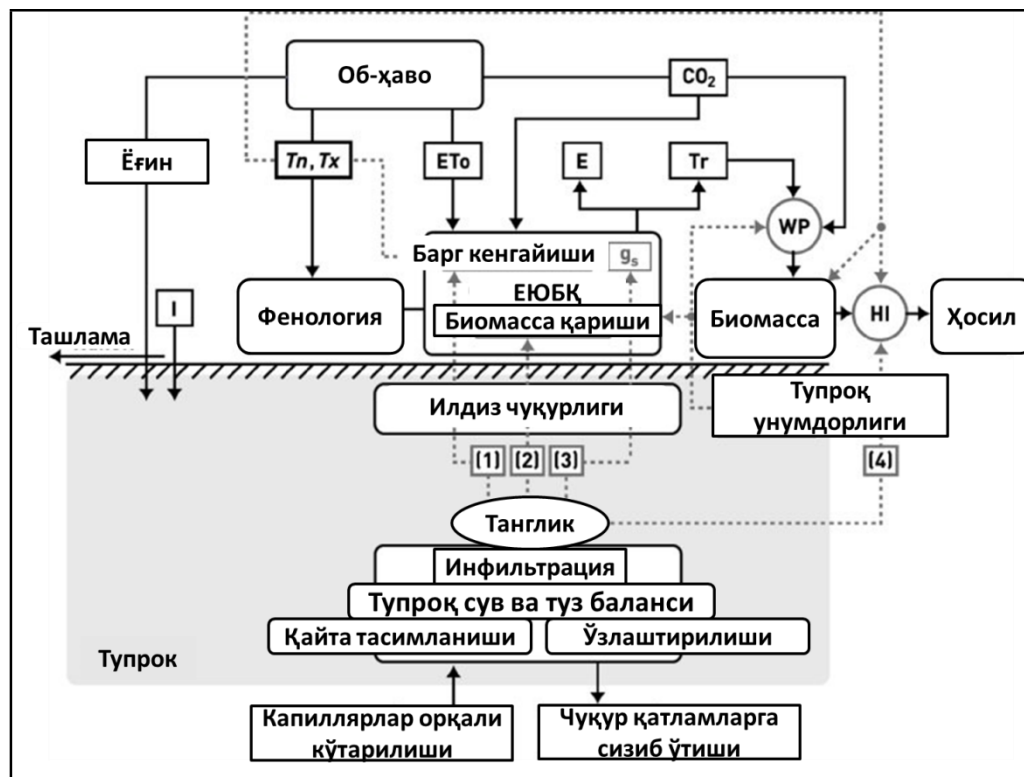
AquaCrop modelini FAO ning internetdagi saytidan (<http://www.fao.org/nr/water/aquacrop.html>) kompyuterga yuklab olish mumkin. FAO ning ushbu internet saytida AquaCrop modelidan foydalanish uchun qo'llanmalar hamda modelga kiritish uchun ma'lumotlarni qaysi shaklda tayyorlash bo'yicha misollar mavjud.

3.1. Modelning tuzilishi va imkoniyatlari

AquaCrop modelini tarkibiy kislmlarining funksional bog'liqligi uni hisoblash tizimi 3 va 3.4-rasmlarda keltirilgan. Turli ko'rsatkich va jarayonlar simulyatsiya qilinganda modeldagi hisob-qitoblar quyidagicha amalga oshiriladi:

- *Tuproqdagi suv balansi (muvozanati)*. O‘simlik ildizi tarqalgan tuproq qatlamidagi suv miqdorini simulyatsiyalash ushbu qatlama kirgan va chiqqan suv miqdorlarini hisoblash orqali topiladi. Ildiz qatlamidagi namlikni kamayish darajasi suv tangligi koeffitsienti (K_s) miqdorini belgilaydi va o‘z navbatida quyidagilarga ta‘sir ko‘rsatadi: (1) ko‘k biomassa (SS) to‘planishi, (2) o‘simlik bargi og‘izchalarining faoliyati va biomassa miqdoriga nisbatan transpiratsiya (Tr), (s) biomassaning qarishi va miqdorining kamayishi, (3) hosil indeksi va (4) ildiz tizimining chuqurlashish tezligi.

- *O‘simlik rivojlanishi* simulyatsiya qilinganda uning yerni ustki qismidagi biomassasi ildiz rivojidan ajratilgan xolda hisob-qitob qilinadi. Modelda o‘simlikning o‘sishi va rivojlanishi suv tangligi sharoitida hisoblanganda yerni ustki qismidagi ko‘k biomassa va ildiz rivojlanishining o‘zaro bog‘liqligi to‘g‘ridan-to‘g‘ri emas deb qabul qilingan. Modelda o‘simliko‘sishini tavsiflash uning biomassasi rivojiga asoslangan.

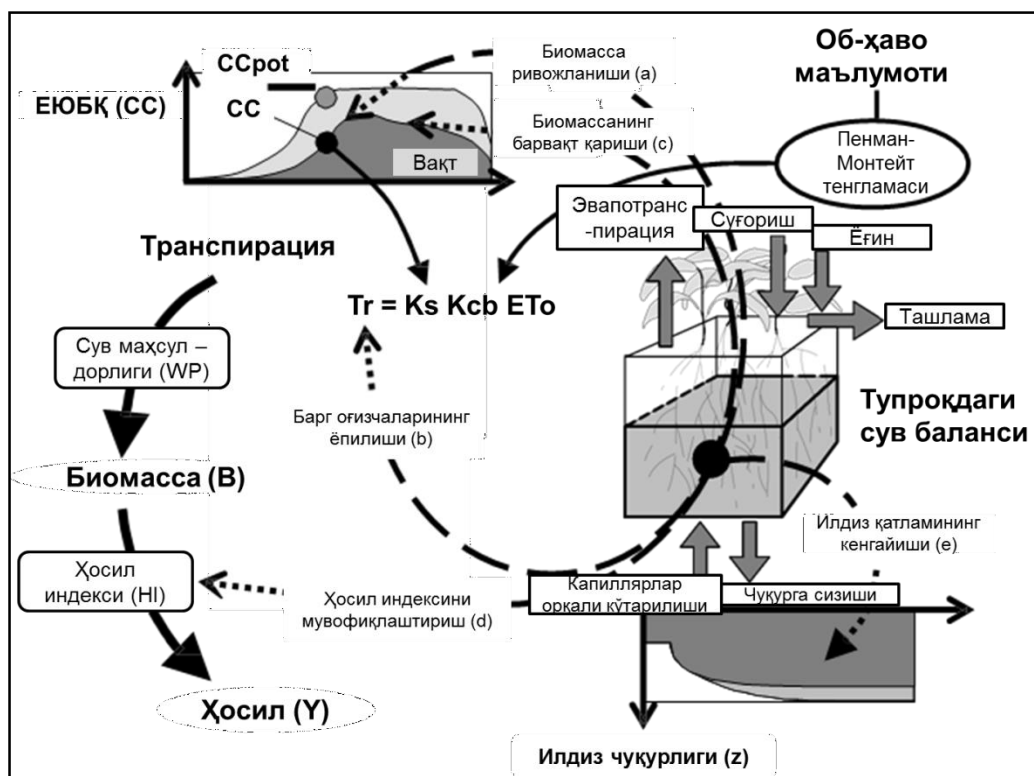


3.3-rasm. «Tuproq-o‘simlik-atmosfera» tizimida AquaCrop modelini

tarkibiy qismlarining funksional bog‘liqligi (I – sug‘orish, T_n – min havo harorati, T_x – max havo harorati, E_{To} – xavola evapotranspiratsiya, E – yerdan suv bug‘lanishi, Tr - o‘simlik transpiratsiyasi; g_s – barg og‘izchalari faoliyati; WP – suv mahsuldorligi; HI – hosil indeksi, CO_2 – havodagi karbonat angidridining miqdori; (1), (2), (3), (4) – mutanosib ravishda barg kengayishi, biomassa qarishi, barg og‘izchalari ochilishi/yopilishi va hosil indeksi ko‘rsatkichlarining suv tangligi funksiyalari. Uzliksiz chiziqlar o‘zgaruvchan ko‘rsatkichlar va jarayonlar orasidagi bog‘liqliklarni ko‘rsatadi.

Shu bois, o‘suvi davrida yerni ustki qismidagi ko‘k biomassa rivojlanishi va uning qarish jarayonlari o‘simlik transpiratsiya qilgan suv miqdorini belgilaydi. Bu o‘z navbatida ekin to‘plagan biomassa va hosil miqdorlarini belgilaydi. Suv tangligi kuzatilganda simulyatsiya qilingan biomassa (SS) uning maqbul sharoitdagi potensial (CC_{pot}) miqdoridan kam bo‘ladi, ildiz ham maqsimal darajada rivojlanmaydi.

- *O‘simlik transpiratsiyasi (Tr)* modelda atmosferani suvni bug‘latish qobiliyati (E_{To}) va ekin koeffitsientini (K_{cb}) o‘zaro ko‘paytirish orqali hisoblanadi. Bunda xavola evapotranspiratsiya (E_{To}) Penman-Monteit tenglamasi yordamida topiladi. Ekin koeffitsienti SS ga proporsionaldir. Suv tangligi xolatida o‘simlik bargi og‘izchalari yopiladi va suv tangligi koeffitsienti (K_s) transpiratsiya jadalini sekinlashtiradi. Natijada, tashqi muhitga bog‘liq xolda o‘simlik bargi og‘izchalari faoliyati transpiratsiya darajasini belgilaydi.



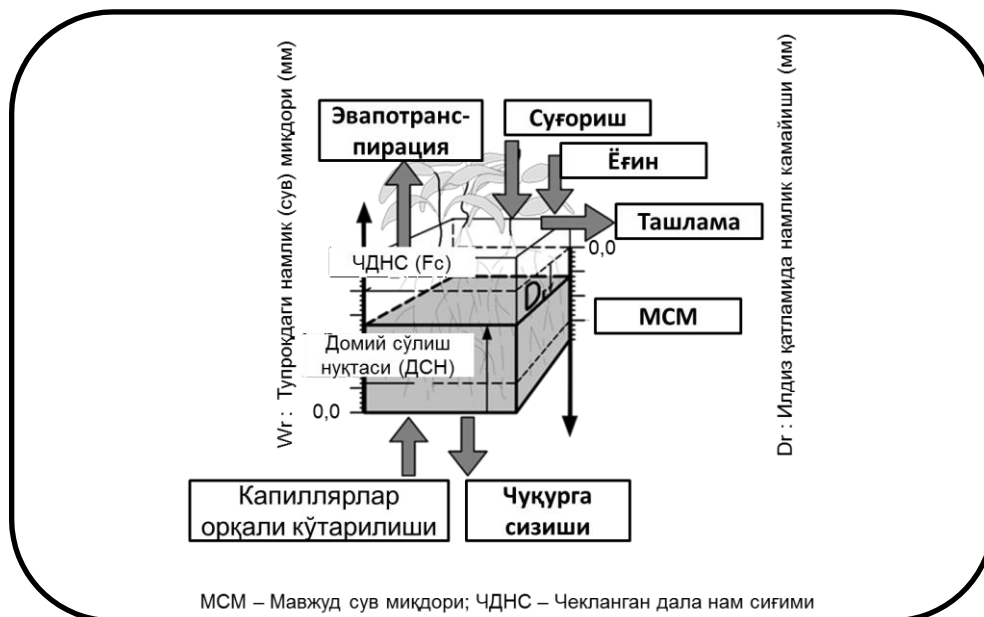
3.4.rasm. AquaCrop tizimida hisoblash tizimi: uzuk-uzuk chiziqlar suv tangligi sharoitlardagi (a dan ye gacha) jarayonlarni aks ettiradi (CC – simulyatsiyalangan o‘simlik biomassasi, cpot potensial biomassa, Ks – suv tangligi koeffitsienti, Kcb – ekin koeffitsienti, ETo xavola evapotranspiratsiya, WP* - ekinda maqbullashtirilgan suv mahsuldorligi; HI – hosil indeksi.

- Yerni ustki qismidagi biomassa. O‘simlik transpiratsiya (Tr) qilgan kumulyativ suv miqdori proporsional ravishda ekin to‘plagan biomassaga aylantiriladi. AquaCrop modelida suv mahsuldorligi maqbul tuproq va o‘simlik sharoitlarida erishiladigan evapotranspiratsiya hamda SO₂ miqdori uchun maqbullashtiriladi. Bu o‘simliklar biomassa to‘plashi va transpiratsiya o‘rtasidagi kuchli bog‘liqlikni anglatadi. Bunda umumiy biomassadan hosil miqdori ajratilgan xolda ko‘rsatiladi – umumiy biomassa o‘simlikning boshqa a‘zolariga ajratilmaydi.

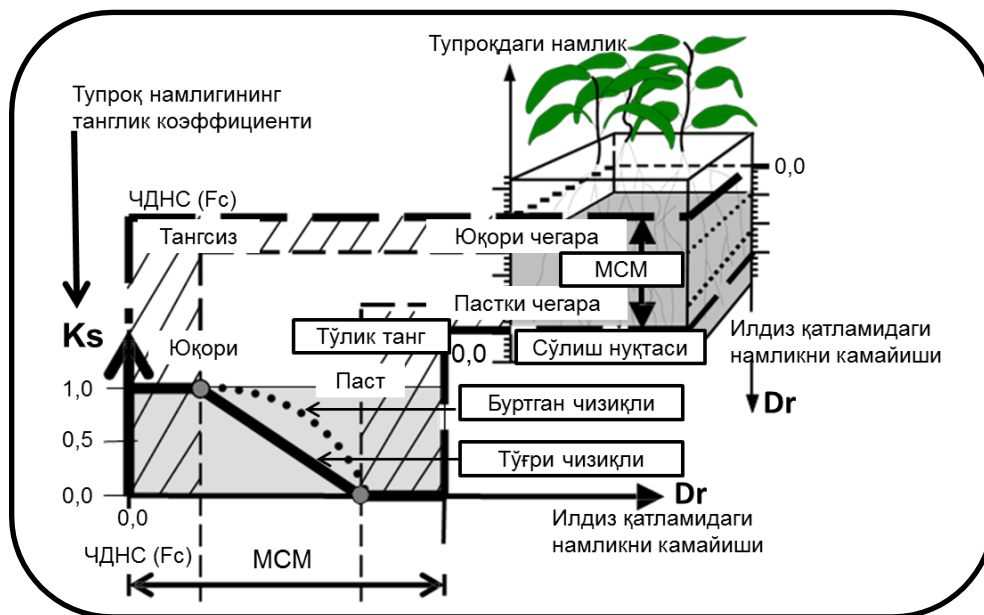
- Ekin hosili (Y) miqdorini yerni ustki qismidagi biomassadan ajratish. Modelda ekin hosili miqdori hosil indeksi orkali simulyatsiya qilingan yerdan ustki biomassadan hisob-qitob kilinadi. Suv va/yoki havo xarorati tangligiga bog‘liq xolda hosildorlik indeksi (HI) hosil shakllanishi mobaynida muvofiqlashtiriladi.

3.2. Simulyatsiyalash bosqichlari

Birinchi bosqich: tuproqdagi suv balansini simulyatsiyalash. Sxematik ravishda tuproqning o‘simlik ildizi tarqalgan qatlamini «rezervuar» deb hisoblash mumkin (5-rasm).



3.5.-rasm. Tuproqning ildiz qatlami “rezervuar” sifatida



3.6.-rasm. Ildiz qatlami tuprog‘ining turli namligida tanglik koeffitsienti

Ildiz zonasiga o‘tadigan (yog‘ingarchilik, sug‘orish va tuproq kapillyarlari orqali suvni ko‘tarilishi) va chiqadigan (tashlama, evapotranspiratsiya va tuproqning chuqur qatlamlariga sizib o‘tishi) suv miqdorlari o‘lchangan xolda ushbu qatlamda qolgan suv miqdorini yoki undagi suv miqdori kamayishini vegetatsiya davomida hisob-kitob qilish mumkin.

Daladan chiqadigan, tuproqqa singib unda qoladigan suv miqdorlari va suv-tuz harakatini tavsiflash hamda o‘simlik traspiratsiyasini tuproqdan bug‘lanishga ajratish maqsadida AquaCrop modeli tuproq qatlami va vaqt o‘klarini kichik bo‘lakchalarga bo‘ladi. Simulyatsiya kunlik bosqichda (t) amalga oshiriladi va tuproq kesmasi 12 qatlamga (z) bo‘linadi, ular ildiz tarqalgan qatlamni to‘liq qoplashi uchun muvofiqlashtiriladi. Suv tanqisligi ta’siri tanglik koeffitsienti bilan tasniflanadi. Ildiz qatlamidagi namlik miqdori yuqori chegaradan ortiq (Ch_{DNS}) bo‘lganda suv tanqisligi kuzatilmaydi, pastki chegaradan kam bo‘lsa (so‘lish nuqtasi), tanqislik maksimal hisoblanadi ($K_s=0$) va jarayonlar umuman to‘xtaydi (6-rasm). O‘simlikda kechadigan jarayonlarga suv tanqisligining ta’siri turlicha bo‘lishi sababli xar jarayon uchun yuqori va pastki chegara hamda tanglik koeffitsienti mavjud.

Ikkinchi boskich: ko‘k biomassa rivojini simulyatsiyalash. Boshqa modellardan farqli ravishda AquaCrop modelida barg sathi indeksi o‘rniga yer yuzasini o‘simlik biomassasi qoplashi (SS) ko‘rsatkichi biomassa rivojini tavsiflash uchun qo‘llaniladi. Demak, SS – yer yuzasini ko‘k biomassa bilan qoplangan fraksiya, uni vegetatsiya davrida rivojlanishi 7-rasmda keltirilgan.

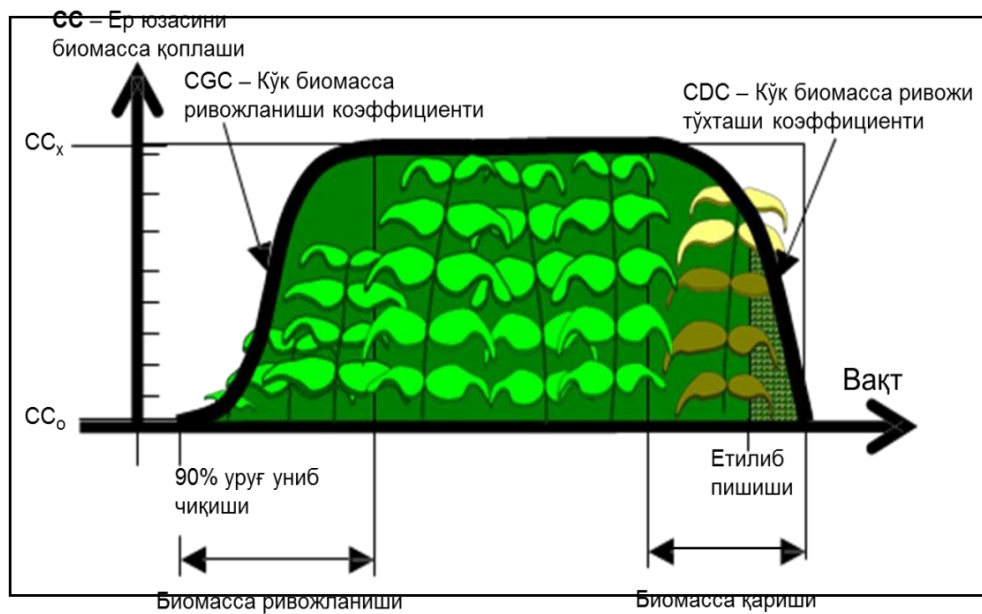
Maqbul sharoitda ekin biomassasi rivoji bir nechta o‘simlik ko‘rsatkichlari yordamida tavsiflanadi:

- 90% urug‘lar unib chiqqan paytda yer yuzasini o‘simlik biomassasi bilan qoplanishi (CC_0);
- o‘simlik biomassasi to‘liq rivojlanganda yer yuzasini biomassasi bilan qoplanishi (CC_x);
- biomassa rivojlanishi koeffitsienti (CGC) «urug‘larni unib chiqishi - biomassa

to'liq rivojlanishi» davrida biomassa to'planishini tasniflaydi;

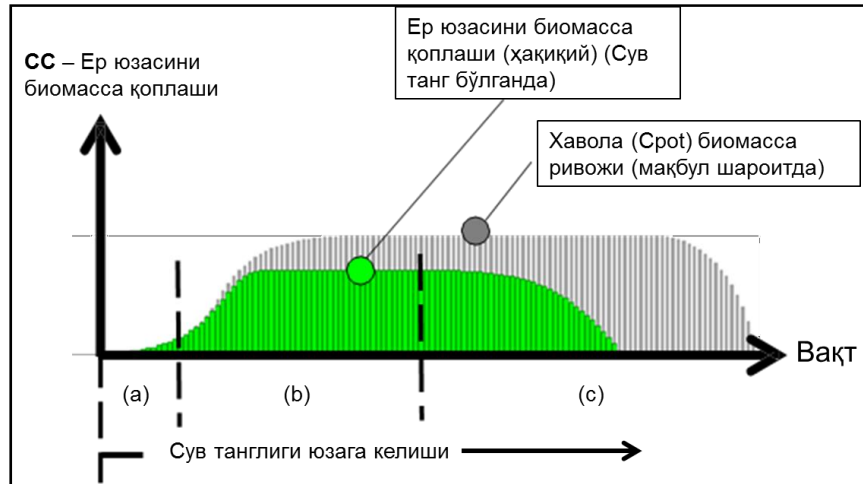
- biomassa kamayishi koeffitsienti (CDC) hosilning yetilib pishish arafasida o'simlik barglari qarishi munosabati bilan biomassani kamayishini tavsiflaydi.

Suv tanqisligini biomassa bo'lgan ta'sirini simulyatsiyalash biomassa rivojlanishi koeffitsientini (CGC) suv tangligi koeffitsientiga ($K_{sexp,w}$ - biomassa rivojlanishi uchun) ko'paytirish orqali topiladi. Ildiz zonasida namlik kamayishi va pastki chegaradan tushishi bilan $K_{sexp,w} = 0$ bo'ladi va jarayon umuman to'xtaydi (3.6-rasm).



3.7-rasm. Vegetatsiya davrida tangsizlik sharoitida yetishtirilgan o'simliklarni yerdan ustki biomassasining rivojlanishi

Bunday xolda biomassaning rivoji 3.7-rasmda ko'rsatilgandek bo'lmasligi mumkin. Maqbul sharoitga nisbatan, suv tangligida o'simlik biomassasini barvaqt qarishi ekinning vegetatsiya davrini qisqartiradi. Suv tanqisligi sharoitida o'simliklarning yerdan ustki ko'k biomassasini simulyatsiyalash 3.8-rasmda keltirilgan.

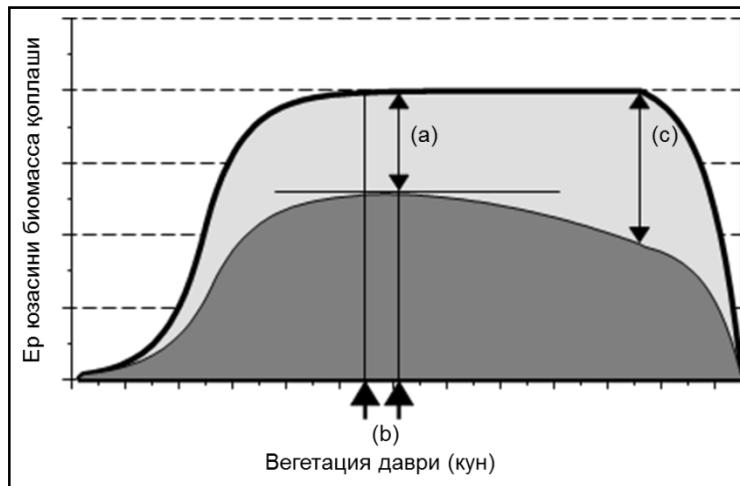


3.8- rasm. O‘suв davrida suв tangligi kuzatilganda o‘simliklarni yerni ustki qismidagi biomassasining rivojlanishi (maqbul sharoitda parvarishlangan o‘simliklarning xavola biomassasiga nisbatan)

AquaCrop modeli inobatga oladigan boshqa tuproq-ekologik tangliklar:

- *havo harorati tangligi.* Havo haroratini o‘simlik biomassasi rivojiga bo‘lgan ta‘sirini simulyatsiyalash samarali xaroratlar yig‘indisi (GDD – Growing Degree Days, uni hisoblash tenglamasi keyingi bo‘limda ko‘rsatilgan) dan foydalangan xolda amalga oshiriladi. Buning uchun asos harorat (t^0 - harorat undan past bo‘lsa, o‘simlik rivojlanmaydi) va eng yuqori harorat (t^1 - harorat undan oshsa, o‘simlik ortiqcha rivojlanmaydi) ko‘rsatkichlari kerak;
- *tuproq sho‘rlanishi tangligi.* Yer sho‘rlanishi ildiz qatlamidagi namlikni o‘simliklar o‘zlashtirishini qiyinlashtirishi sababli suvda eriydigan tuzlar tuproqdagi suv tangligini oshiradi. Modelda bu holat tanglikning yuqori va pastki nuqtalarini dala nam sig‘imiga yaqinlashtirish yo‘li bilan simulyatsiya qilinadi (6-rasm);
- *ozuqa unsurlarni tangligi.* AquaCrop modeli ozuqa unsurlarni aylanishi va balansini simulyatsiya qilmaydi. Lekin o‘simliklarning o‘ishi va biomassa to‘plashi (SSx) jarayonlari uchun modelda tuproq unumdorligi koeffitsientlari (Ks) mavjud. Shu bilan birgalikda, ko‘k biomassa rivojlanishi koeffitsientini (CGC) kamaytiruvchi barg

rivojlanishi uchun tuproq unumdorligi koeffitsienti ($K_{sexp,f}$) va biomassa to'plashini (SS_x) kamaytiruvchi maksimal biomassa koeffitsientlari (K_{sCCx}) orasida farqlanish kiritilgan. Maksimal biomassa (SS_x) to'planganda (9-rasm) uni keyingi barqaror darajada kamayishini model simulyatsiyalashga qodir. O'simlik biomassasining kunlik pasayishi kamayish omili ($f_{CDecline}$) orqali ifodalanadi.



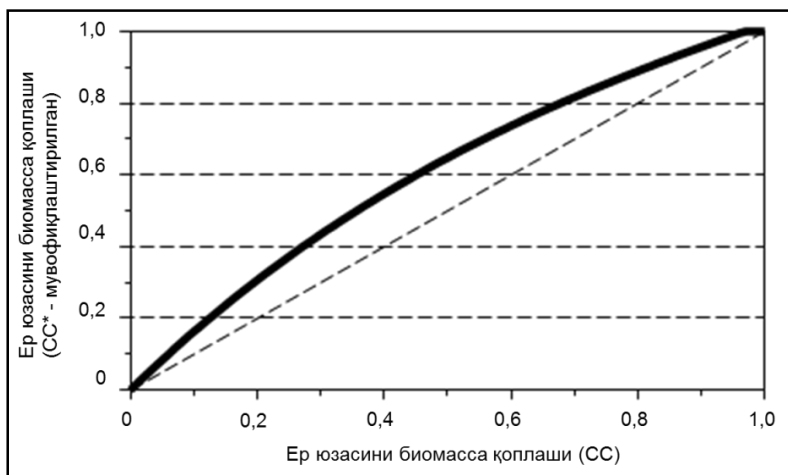
3.9- rasm. Tuproq unumdorligi chegaralovchi omil bo'lganda (to'k kul rang) va bo'lmaganda (och kul rang) o'suv davrida o'simliklarni ko'k biomassasining rivojlanishi

Uchinchi bosqich: o'simlik transpiratsiyasini simulyatsiyalash. O'simlik transpiratsiyasi (T_r) suv tanqisligini (K_s) e'tiborga olgan xolda atmosferani suvni bug'latish qobiliyati va ekin koeffitsienti (K_{cb}) ko'rsatkichlarini o'zaro ko'paytirish orqali hisob-kitob qilinadi:

$$T_r = K_s(K_{cb}CC^*)ET_o \quad [3]$$

Bunda xavola evapotranspiratsiya (ET_o) Penman-Monteyt tenglamasi (Allen et al. 1998) yordamida topiladi. Ekin transpiratsiya koeffitsienti fraksiyali biomassaga (SS) proporsionaldir. Proporsionallik omili (K_{cbx}) o't yuzasidan xavola transpiratsiyani tavsiflovchi barcha ta'sirlarni o'zaro integratsiya qiladi. O'simliklar rivojlanishi bilan K_{cbx}

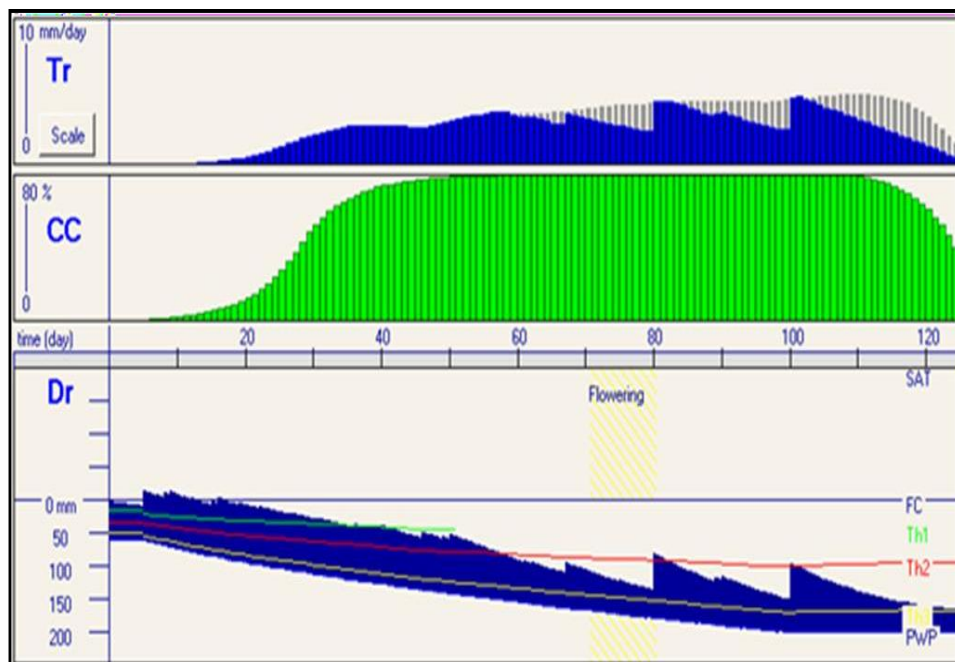
tegishli o'sish va biomassani qarishi davrlariga muvofiqlashtiriladi. Ushbu Eq [3] tenglamada CC o'rniga SS* kiritilib, bunda egat orasidagi mikroadveksiya inobatga olinadi, chunki ekin transpiratsiyasi uchun qo'shimcha energiya hosil bo'ladi. Yer yuzasi yetarli darajada o'simlik biomassasi bilan qoplanmagan xolda ushbu ko'rsatkichning ulushi katta hisoblanadi (3.10-rasm).



3.10-rasm. Ko'k biomassa yer yuzasini turli darajada qoplashi uchun mikroadvektiv ta'sirga muvofiqlashtirilgan o'simlik biomassasi (uzluksiz chiziq)

Tuproqda namlik kam yoki ortiqcha bo'lganda o'simlik transpiratsiyasi kamayadi. Bu holat suv tangligi koeffitsienti (K_s) bilan simulyatsiya qilinadi. O'simlik ildizi tarqalgan tuproq qatlamida namlik kamayib barg og'izchalari yopilganda, bu holat barg og'izchalari yopilishi koeffitsienti (K_{ssto}) orqali inobatga olinadi. Ortiqcha namlik sababli tuproqda anaerobik sharoit yaratilganda ham modelda maxsus koeffitsient (K_{saer}) mavjud.

AquaCrop modelining asosiy qoidasiga ko'ra, tuproq namligi maqbul darajada bo'lganda tanglik koeffitsienti 1, suv tangligi juda kuchli bo'lganda esa 0 tashkil etadi. Ekinning o'suv davrida suv tangligi ta'sirida o'simliklar transpiratsiyasini simulyatsiyalash 3.11-rasmda keltirilgan.

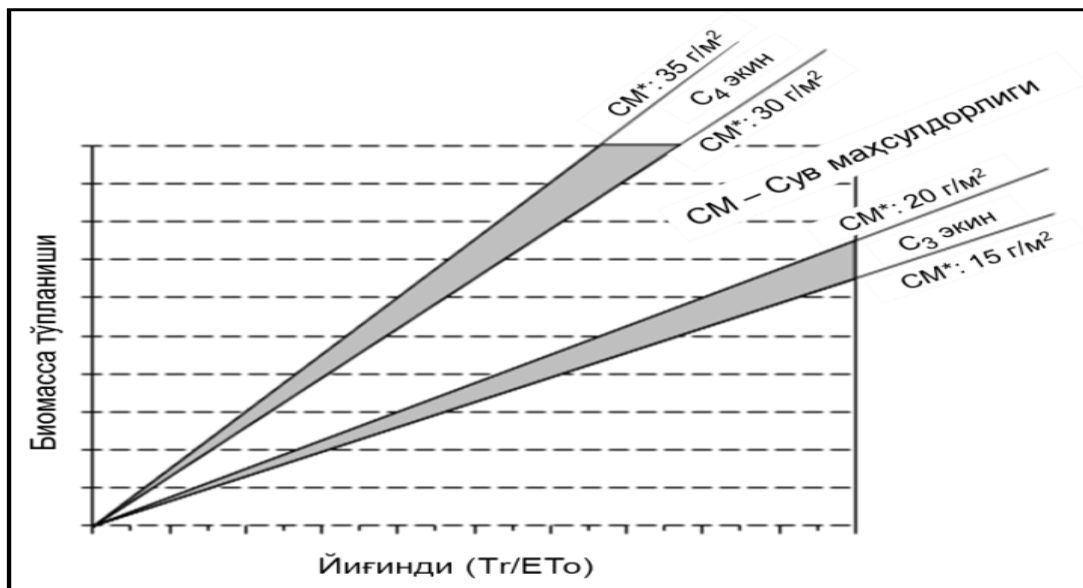


3.11-rasm. Ildiz tarqalgan tuproq qatlamida simulyatsiyalangan namlikni kamayishi (Dr), ko‘k biomassa to‘planishi (CC) va o‘simliklar transpiratsiyasi (Tr): tuproqdagi namlik chegaralarini biomassaning rivoji (Th1), barg og‘izchalarining yopilishi (Th2) va o‘simlik biomassasi qarishiga (Th3) ta’siri

Turtinchi bosqich: o‘simlikning yerdan ustki biomassani (V) simulyatsiyalash. Suv mahsuldorligi (g, kg) o‘simlik ma’lum maydondan (m^2 yoki ga) aniq miqdorda transpiratsiya qilgan suv hisobiga yetishtirilgan biomassani anglatadi. Ko‘pchilik tajribalar natijalari ko‘rsatishicha, belgilangan tuproq-ekologik sharoitda ekin to‘plagan biomassa va o‘zlashtirgan suv miqdorlari orasida to‘g‘ri chiziqli bog‘liqlik mavjud (Eq [2]). Ob-havo sharoitini inobatga olish uchun AquaCrop modeli maqbullashtirilgan suv mahsuldorligi (WP*) ko‘rsatkichidan foydalanadi. Bundan maqsad WP* ko‘rsatkichini farqli tuproq-iklim sharoitlarida (iqlim o‘zgarishini inobatga olgan holda) ham qo‘llashga imkon yaratishdan iborat. Maqbullashtirish deganda quyidagilar nazarda tutiladi:

- atmosferadagi CO₂ miqdori 369,41 ppm (2000 yil uchun Gavayidagi Mauna Loa observatoriyasining ma’lumoti) bo‘lganda o‘simlikda suv mahsuldorligi;
- atmosferaning suvni bug‘latish qobiliyati. Bunda maqbullashtirish o‘simlik

transpiratsiya qilgan kunlik suv miqdorini (Tr) shu kungi xavola evatranspiratsiyaga (ETo) bo‘lish yuli bilan bajariladi. WP^* ko‘rsatkichi maqbullashtirilgandan so‘ng ekinlarni ikki guruxga ajratish imkoniyati yaratildi (3.12-rasm): S4 ekinlarda² $WP^* = 30-35 \text{ g/m}^2$ yoki $0,30-0,35 \text{ t/ga}$; S3 ekinlarda $WP^* = 15-20 \text{ g/m}^2$ yoki $0,15-0,20 \text{ t/ga}$.

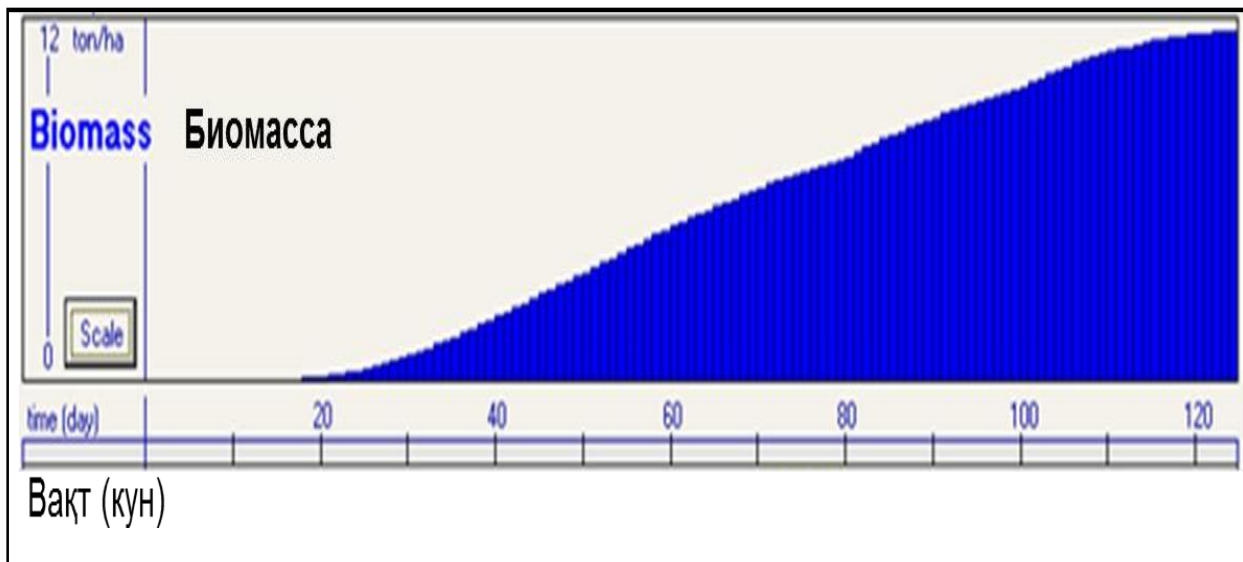


3.12-rasm. S3 va S4 ekinlar uchun o‘simlikning yerni ustki qismi biomassasi va transpiratsiya bo‘lgan suv miqdori orasidagi bog‘liqlik

Vegetatsiya davrida kunlik biomassa to‘planishi WP^* va Tr/ETo ko‘rsatkichlarini o‘zaro ko‘paytirish orqali topiladi. Biomassa to‘planishiga sovuq havo harorati ta’sir ko‘rsatishi mumkin, buni AquaCrop modeli havo harorati tangligi koeffitsienti (Ksb) orqali inobatga oladi (Eq [4]):

$$B = K_{S_b} WP^* \sum_i \frac{Tr_i}{ETo_i} \quad [4]$$

Agarda harorat pastki nuqtadan ham kam bo'lsa, unda transpiratsiya to'raligicha biomassa to'planishi bilan ifodalanmaydi va $K_{sb} < 1$ bo'ladi. Ekinning o'suv davrida simulyatsiyalangan biomassa to'planishi 13-rasmda keltirilgan.



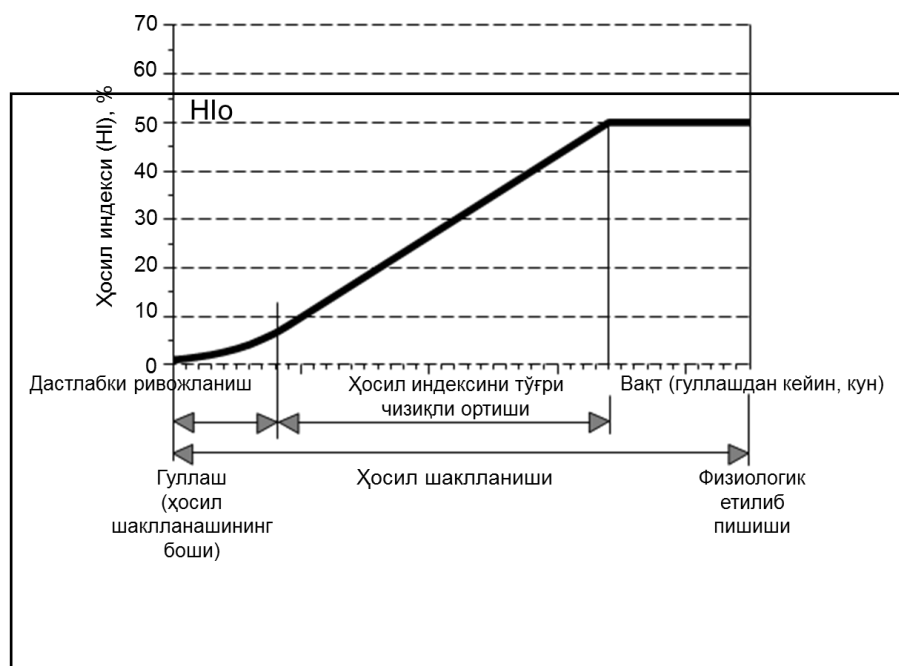
3.13-rasm. Vegetatsiya davomida o'simliklar biomassa to'plashini simulyatsiyalash

S3 va S4 guruhli ekinlarda fotosintetik jarayon bir-biridan farqli ravishda kechadi (S3 – uch karbonli kislotalar, S4 to'rt karbonli kislotalar). Simulyatsiya paytida WP^* ko'rsatkichi yanada muvofiqlashtirilishi mumkin:

- atmosferadagi CO_2 miqdori xavola ko'rsatkich (369,41 ppm) dan past yoki yuqori bo'lsa, unda WP^* muvofiqlashtirish omiliga ko'paytiriladi. Xavola ko'rsatkich miqdoriga bog'lik xolda muvofiqlashtirish omili 1 dan kam yoki undan ortiq bo'lishi mumkin;
- ekin mahsuloti turiga bog'lik: karbogidratlardan iborat hosilga nisbatan mahsulot lipid yoki proteinga boy bo'lsa, unda quruq modda birligi shakllanishi uchun ko'prok energiya sarflanadi. Natijada, hosil shakllanishi davrida suv mahsuldorligi ko'rsatkichini kamaytirish lozim. Buni WP^* ko'rsatkichi va kamaytirish koeffitsientlarini o'zaro ko'paytirish orqali simulyatsiyalash mumkin;
- tuproq unumdorligi tangligi sababli ekin suv mahsuldorligi kamayadigan bo'lsa,

uni tuproq unumdorligi tangligi koeffitsientini ($K_{sWP} = 0$ dan ... 1 gacha) qo'llash yo'li bilan simulyatsiya qilinadi. Agarda tuproq unumdorligi o'simliklar biomassa to'plashi jarayoniga ta'sir ko'rsatmasa, unda $K_{sWP} = 1$ va WP^* muvofiqlashtirilmaydi.

Beshinchi bosqich: o'simlikning umumiy biomassasi (V) bo'yicha ekin hosilini (Y) aniqlash. O'simliklarning gullash davridan boshlab hosil indeksi (HI) keskin ortadi, chunki u fiziologik yetilib pishish paytidagi o'zining xavola ko'rsatkichi (HI_0) ga yetib olishi darkor (3.14-rasm).



3.14-rasm. «Gullash - hosilni fiziologik yetilib pishishi» davrida hosil indeksini shakllanishi

O'simlik biomassasining barvaqt qarishi natijasida ekin mevasining qisqa muddatlarda shakllanishi (masalan, boshoqli ekinlarda don to'lishishi) mutanosib ravishda fotosintez jarayonini ham qisqartiradi. Bu esa o'z navbatida hosil indeksini kamayishiga sabab bo'ladi. Ertapishar sabzavot ekinlarida hosil indeksi vegetatsiyaning erta muddatlarida shakllanadi va tezda xavola ko'rsatkichga (HI_0) yetib oladi. Ekin hosili (Y) miqdori o'simlikning yerni ustki

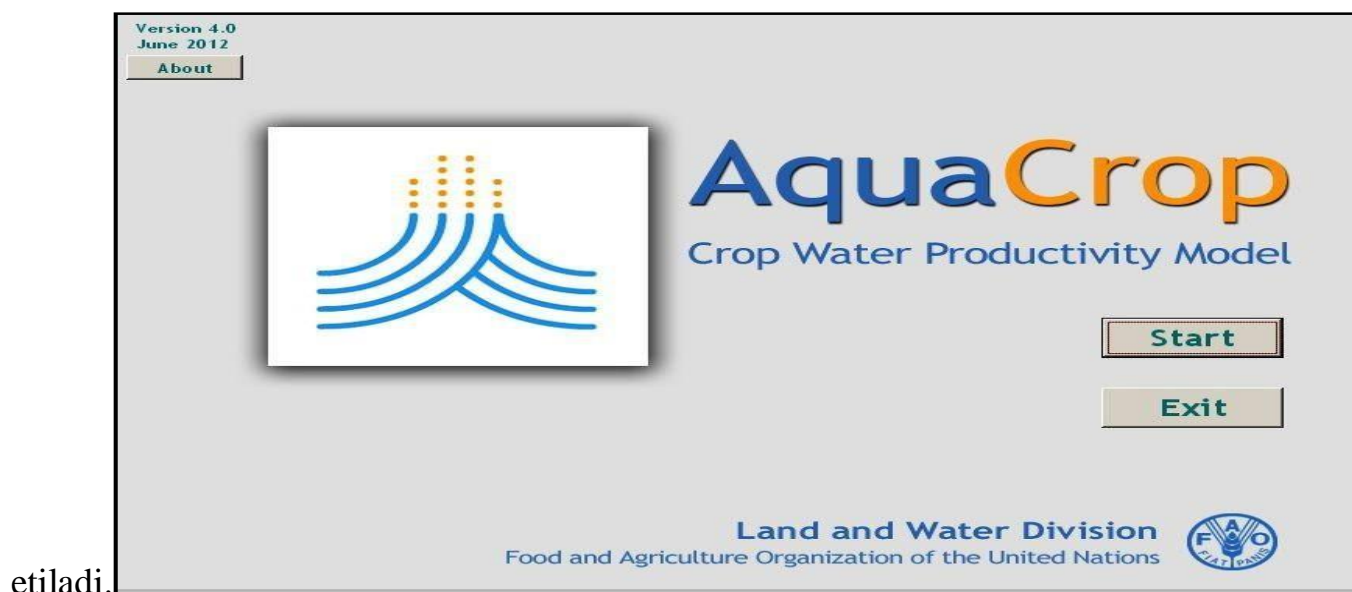
qismidagi biomassasi (V) maqbullashtirilgan xavola indeksiga ko'paytirish yo'li bilan hisob-qitob qilinadi:

$$Y = f_{HI} HI_o B \quad [5]$$

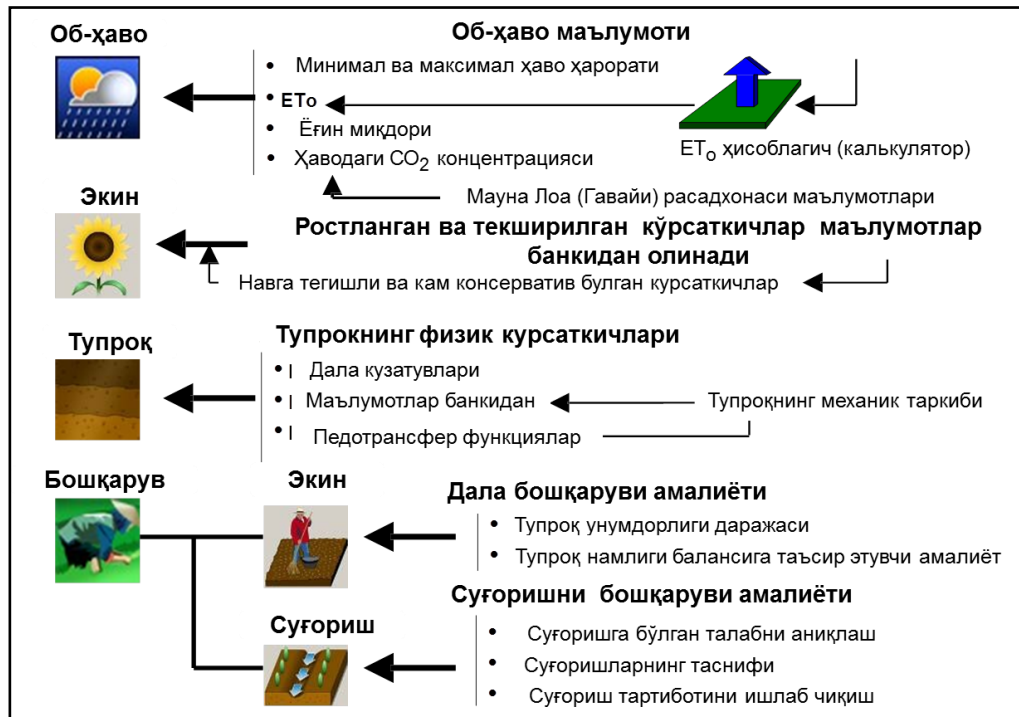
bunda f_{HI} – hosil indeksini uning xavola ko'rsatkichidan muvofiqlashtirish orqali tanglikni inobatga oluvchi koeffitsient. Hosil indeksini suv tanqisligi va havo xaroratiga muvofiqlashtirish tanglikning davomiyligiga bog'lik. Suv tangligining hosil indeksiga ta'siri ijobiy yoki salbiy bo'lishi mumkin. Shu bois, suv tangligi kuzatilishi muddati bo'yicha farqlanish belgilangan – (i) gullash davrida, chunki changlanishga ta'sir ko'rsatishi mumkin va (ii) hosil shaklanishi paytida.

IV-BOB.MODELGA KIRITILADIGAN MA'LUMOTLAR

AquaCrop modeli quyidagi ko'rinishdan va "Start" tugmachasidan boshlanadi (3.15-rasm). Dastlab modelni to'g'ri ishlashini tekshirib ko'rish uchun AquaCrop modeli parametrizatsiya qilinadi, ya'ni aniq ekin va nav uchun ma'lum tuproq-iqlim sharoitidagi ma'lumotlar to'plamidan foydalaniladi. Modelga kiritiladigan ushbu ekin ma'lumotlari maqbul agrotexnik sharoitda yetishtirilgan o'simliklarga mansub bo'lishi talab



4.1-rasm. AquaCrop modelining dastlabki ko'rinishi

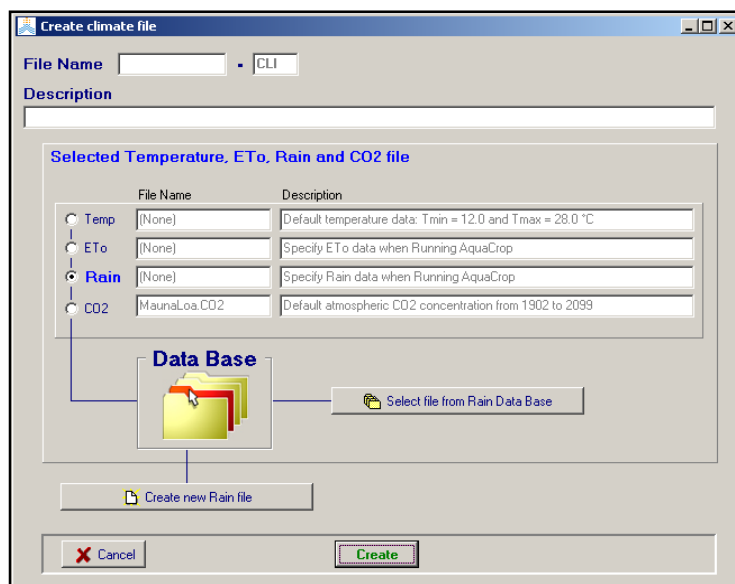


4.2-rasm. AquaCrop modeliga kiritiladigan ma'lumotlar

AquaCrop modeliga ob-havo, ekin va tuproq xamda ekinning o'sish va rivojlanish muhitini tavsiflovchi ko'rsatkichlar (agrotexnologik tadbirlar shular hisobida) kiritiladi. Modelga kiritilgan ma'lumotlar tegishli fayllarda saqlanadi va foydalanuvchi interfeysi (4.2-rasm) orqali osonlikcha boshqariladi va muvofiqlashtiriladi.

4.1.Ob-havo ma'lumoti

Ob-havo ma'lumoti dala maydonida yoki uning yaqinida o'rnatilgan meteostansiyadan olinadi. Simulyatsiya davrining har kuni uchun AquaCrop modeliga kunlik (24 soat davomidagi) minimum va maksimum havo harorati, xavola evapotranspiratsiya, yog'ingarchilik va havodagi SO₂ miqdorlari kiritilishi talab etiladi. Havodagi SO₂ miqdori bo'yicha fayl modelning ma'lumotlar bazasida mavjud (Climate → Create Climate file → MaunaLoa.CO₂: Default atmospheric CO₂ concentration from 1902 to 2099). Meteostansiyadan olingan *yog'in miqdori, Tmin va Tmax havo harorati* bo'yicha kunlik ma'lumot simulyatsiya davri uchun belgilangan shaklda tayyorlanadi (fayl turi – Bloknot “PLU” yog'in uchun; Bloknot “TMR” havo harorati uchun; Bloknot “ETO” xavola evapotranspiratsiya uchun) va modelning ma'lumotlar bazasiga kiritiladi (1, 2 va 3-illovalarda ushbu ma'lumotlar qisqartirilgan holda keltirilgan). Minimum va maksimum havo harorati, xavola evapotranspiratsiya, yog'ingarchilik va havodagi SO₂ fayllari asosida foydalanuvchi modelning o'zida yagona ob-havo fayli yaratadi (4.3-rasm).



4.3-rasm. Ob-havo (havo harorati, yog'ingarchilik, xavola ETo va havodagi SO₂ miqdori) fayli

Xavola (etalon) evapotranspiratsiya (ET_o). Ilmiy izlanishlarda qoʻllaniladigan zamonaviy meteostansiyalarning koʻpchiligi ob-havo maʼlumotlaridan foydalangan holda xavola evapotranspiratsiyani avtomatik tarzda hisoblaydi. Buning uchun bevosita dalada yoki uning yaqinida oʻrnatilgan avtomatik meteostansiyaning oʻlchash dasturiga (data logger), boshqa ob-havo koʻrsatkichlariga qoʻshimcha ravishda, YeTo ni hisoblash ham kiritilishi lozim.

Xavola ET_o miqdorini oʻlchash yoki empirik tenglamalar yordamida hisoblash mumkin. Toʻgʻridan-toʻgʻri oʻlchashda YeTo tuproq bugʻlatgichlari yoki lizimetrlardan foydalangan hamda suv yoki issiklik balansi va turbulent diffuziya usullari qoʻllanilgan holda aniqlanadi. Empirik usulda xavola evapotranspiratsiya Penman-Monteyt (Allen et al. 1998) tenglamasi yordamida hisob-kitob qilinadi:

$$ET_o = \frac{0,408\Delta(R_n - G) + \gamma \frac{900}{T + 273} u_2 (e_c - e_a)}{\Delta + \gamma(1 + 0,34u_2)}$$

[6]

bunda,

- YeTo - etalon evapotranspiratsiya [mm/kun];
- R_n - sof radiatsiya [MDj m²/kun];
- G - tuproq issiqlik oqimining zichligi [MDj/m²/kun];
- T - yer yuzasidan 2 m balandlikdagi oʻrtacha havo harorati [⁰S]; u₂ - yer yuzasidan 2 m balandlikdagi shamol tezligi [m/s];
- e_s - toʻyinish bugʻining bosimi [kPa];
- e_a - xaqiqiy bosim [kPa];
- (e_s - e_a) - toʻyinish bugʻi bosimining tanqisligi [kPa];

Δ - bug' bosimi egri chizig'ining gradienti
[kPa/°S]; γ - psixrometrik o'zgarma ko'rsatkich
[kPa/°S].

Kunlik xavola evapotranspiratsiyani hisoblash uchun quyidagi ma'lumotlar kerak: minimal (T_{min}) va maksimal (T_{max}) havo harorati (°C), minimal (RH_{min}) va maksimal (RH_{max}) havo namligi (%), yer yuzasidan 2 m balandlikda o'lchangan shamol tezligi (m/s), quyosh yoki qisqa nurli radiatsiya (W/m^2). Ushbu ma'lumotlar asosida Eq [4] tenglamada keltirilgan boshqa ko'rsatkichlarni qo'llanmalar (masalan "The ASCE Standardized Reference Evapotranspiration Equation, 2005") yoki YeTo hisoblagichlardan (masalan "FAO Reference ETo Calculator", "Bushland Reference ETo Calculator") foydalangan holda hisoblash mumkin.

Yuqorida keltirilgan asosiy ma'lumotlardan ba'zilari o'lchanmagan bo'lsa, unda ushbu ko'rsatkichni nisbatan hisoblash imkoniyati mavjud. Masalan, quyosh yoki qisqa to'lqinli radiatsiya (R_s) bo'yicha ma'lumot to'planmagan bo'lsa, unda uni Hargreaves-Samani tenglamasi [Eq 7] yordamida hisoblash mumkin (ASCE, 2005):

$$R_s = k_{Rs} \sqrt{(T_{max} - T_{min}) R_a} \quad [7]$$

bunda,

R_a - ekstraterrestrial radiatsiya
[MJ/m²/kun]; T_{max} - maksimal havo
harorati [°C]

T_{min} - minimal havo harorati [°C]

k_{Rs} - maqbullashtiruvchi koeffitsient: yer maydoni va havo massasiga
atrofdagi suv xavzasita'sir qilmaganda $k_{Rs}=0,16$, ta'sir etganda -
 $k_{Rs}=0,19$ (asosan qirg'oq bo'ylari)

Yaratilgan ob-havo fayli tarkibidagi ma'lumotlarni foydalanuvchi interfeysidagi "Display/Update Climate characteristics" tug'machasi yordamida tekshirish mumkin (18-rasm).

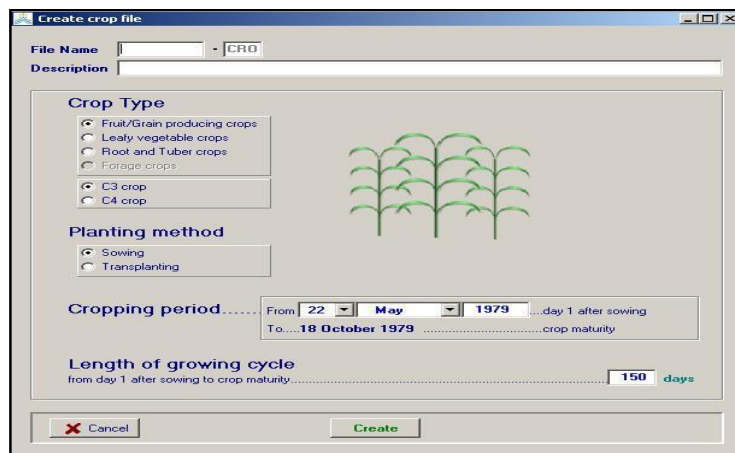
4.2.Ekin ma'lumoti

Ekin fayli modelning muhim qismi hisoblanadi, chunki o'simlik fenologiyasi, transpiratsiya, biomassa to'planishi, stress bo'yicha ma'lumotlarni o'z ichiga qamrab oladi. Modellashtirilayotgan ekin bo'yicha ma'lumotlar AquaCropga to'g'ridan-to'g'ri kiritiladi. Ushbu faylni yaratish uchun ekin turi (S3 yoki S4 guruhga mansub, don, sabzavot va xokazo), vegetatsiya davri, urug' yoki ko'chat ekish, simulyatsiyalash davri kabi parametrlar belgilanadi.



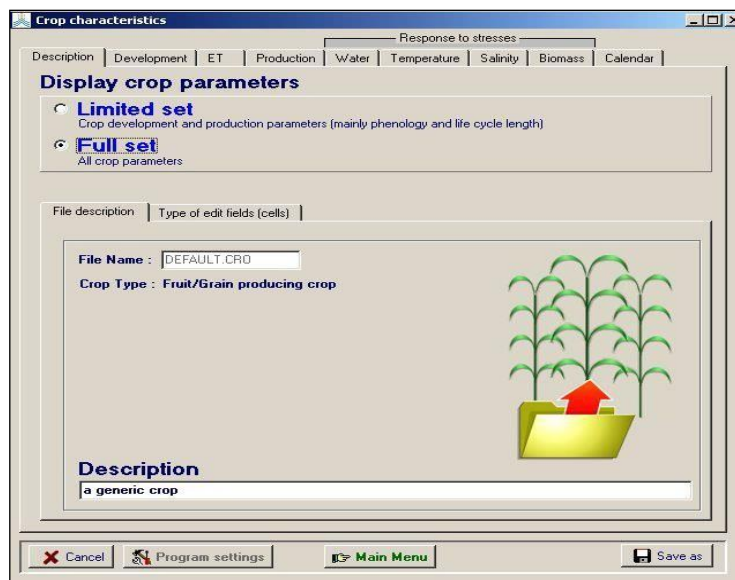
4.4.-rasm. Foydalanuvchi modelda yaratgan ob-havo faylining ko'rinishi

Ekin fayli tegishli nomlanadi (File Name) va tushunarli tarzda tavsiflanib (Description), "Create" tug'machasi orqali yaratiladi (4.5-rasm).



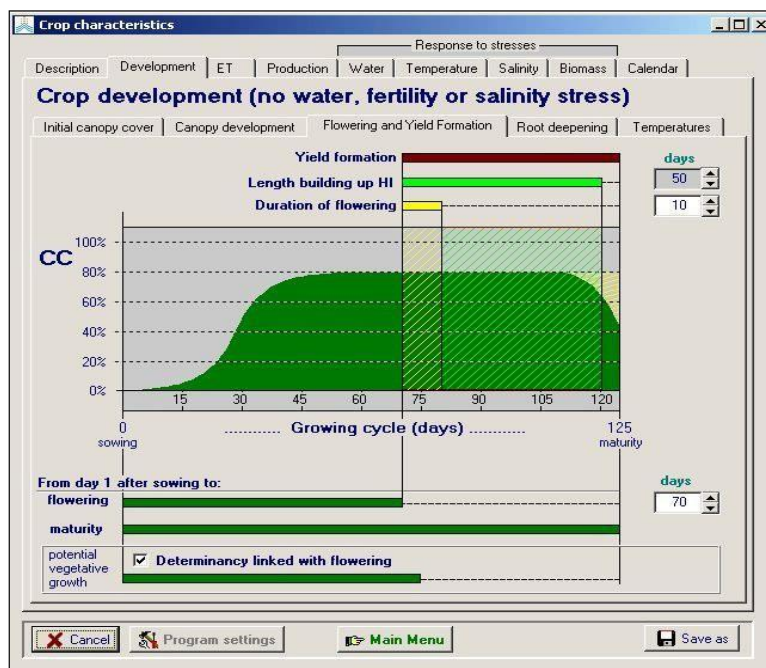
4.5.-rasm. AquaCrop modelida ekin faylini yaratish kurinishi

O‘z navbatida monitor ekranida boshqa ko‘rinish paydo bo‘ladi (20-rasm). Unda ekin bo‘yicha ma’lumotlar to‘liq (Full Set: so‘ralayotgan barcha ko‘rsatkichlar) yoki qisqartirilgan tarzda (Limited set: o‘simlik o‘shishi, rivojlanishi va hosildorligi) kiritilishi foydalanuvchi tomonidan belgilanadi. Undan so‘nggi ko‘rinishda (4.6-rasm) tegishli bo‘lim (Development – O‘simlik rivojlanishi, ET – O‘simlik suv iste‘moli, Production - Mahsuldorlik va hokazo) va bo‘limchalar (masalan Development bo‘limida: Initial Canopy Cover, Canopy Development, Flowering and Yield Formation va hokazo) mavjud.



4.6.-rasm. Ekin fayliga qisqartirilgan (Limited set) yoki to‘liq (Full set) ma’lumotlar to‘plam kiritish ko‘rinishi

Ularga navbatma-navbat tegishli ma'lumotlar kiritiladi. Ba'zi ekinlar uchun modelga kiritiladigan ma'lumotlar AquaCrop qo'llanmasida keltirilgan (Raes et al., 2010).



4.7-rasm. Ekin faylidagi bo‘lim va bo‘limchalarga ma’lumotlar kiritish ko‘rinishi

Masalan, g‘o‘za va bug‘doy uchun modelning ekin fayliga quyidagi ma’lumotlar kiritilishi tavsiya etilgan (4.1-jadval).

AquaCrop modelini parametrlash uchun ekin fayliga kiritiladigan ma'lumotlar (Raes et al., 2010)

G'o'za			
1. Fenologik ma'lumotlar			
Qisqartma	Ko'rsatkich tasnifi	Ma'lumot turi	Kiritiladigan ma'lumot
1.1 Havo harorati			
Tbase	Minimal havo harorati ($^{\circ}$ S)	Konservativ ⁽¹⁾	12,0
Tupper	Maksimal havo harorati ($^{\circ}$ S)	Konservativ ⁽¹⁾	35,0
1.2 Ko'k biomassa to'planishi			
	90% chigit unib chiqqanda yakka nixol yer yuzasini qoplashi ($\text{sm}^2/\text{o'simlik}$)	Konservativ ⁽²⁾	5,00-7,00
	Ko'chat qalinligi	Agrotexnika ⁽³⁾	60000-150000
	Ekishdan unib chiqqangacha darkor bo'lgan samarali havo harorati (GDD hisobida)	Agrotexnika ⁽³⁾	10-80
CGC	Biomassa shakllanishi koeffitsienti (GDD nisbatan fraksiya)	Konservativ ⁽¹⁾	0,006-0,008
	Er yuzasini maksimal darajada biomassa bilan qoplanishi (%)	Agrotexnika ⁽³⁾	Deyarli qoplangan - Qoplangan
	Ekishdan ekin qarishigacha sarflanadigan vaqt (GDD hisobida)	Nav ⁽⁴⁾	+ 1000 - 1800
CDC	Biomassa kamayishi koeffitsienti (GDD nisbatan fraksiya)	Konservativ ⁽¹⁾	0,002-0,003
	Vegetatsiya davri uzunligi (GDD hisobida)	Nav ⁽⁴⁾	+ 1200 - 2000
1.3 Ekin gullashi			
	Ekishdan gullashgacha vaqt (GDD hisobida)	Nav ⁽⁴⁾	+ 450 - 700
	Gullash davri davomiyligi (GDD hisobida)	Nav ⁽⁴⁾	450 - 700
	Gullashga bog'liq holda ekinda yangi ko'saklar shakllanishining to'xtashi	Konservativ ⁽¹⁾	-
	Shakllanadigan ko'saklarning bo'liqligi	Konservativ ⁽²⁾	Yukori
1.4 Ildiz rivojlanishi			
Z _n	Ildiz tarqalgan minimal tuproq chuqurligi (m)	Agrotexnika ⁽³⁾	0,30
Z _x	Ildiz tarqalgan maksimal tuproq chuqurligi (m)	Agrotexnika ⁽³⁾	2,80 m gacha

4.1-jadvalning davomi			
	O‘simlik ildiz zonasi kengayishining tavsiflovchi omil	Konservativ ⁽¹⁾	1,5
	Ekishdan keyin ildizni maksimal chuqurlikgacha rivojlanishi uchun sarflangan vaqt (GDD)	Nav ⁽⁴⁾ Tuproq-ekologik sharoit ₍₃₎	Ildiz rivojlanishi tezligining funksiyasi: 1,5 – 2,5 sm/kun
2. Transpiratsiya			
Kcbx	Biomassa to‘liq shakllanganda (ammo o‘simlikni qarishigacha bo‘lgan paytda) ekin koeffitsienti	Konservativ ⁽¹⁾	1,10
	O‘simlik vegetatsiyasi yoki azot tanqisligi sababli ekin koeffitsientining kamayishi	Konservativ ⁽¹⁾	0,30
	Vegetatsiya oxirlaganda tuproqdan namlikni bug‘lanishiga o‘simlik biomassasining ta’siri	Konservativ ⁽¹⁾	60
3. Biomassa to‘planishi va hosil shakllanishi			
3.1 Ekinning suv mahsuldorligi			
WP*	ET _o va CO ₂ (g/m ²) uchun maqbullashtirilgan suv mahsuldorligi	Konservativ ⁽¹⁾	15,0
	Hosil shakllanishi davrida ET _o va CO ₂ uchun maqbullashtirilgan suv mahsuldorligi	Konservativ ⁽¹⁾	70
3.2 Hosil indeksi			
HI _o	Xavola hosil indeksi (%)	Nav ⁽⁴⁾	25-40
	Hosil indeksi shakllanishi (GDD hisobida davr)	Nav ⁽⁴⁾	O‘simlikda 5% ko‘k biomassa qolgunga qadar
	O‘simlikni gullash davrigacha suv tanqisligi kuzatilishi mumkinligi sababli hosil indeksining ortishi	Konservativ ⁽¹⁾	Kam

	Hosil to'plash davrida barg og'izchalarini yopilishini hosil indeksiga bo'lgan salbiy ta'sirini tavsiflovchi koeffitsient	Konservativ ⁽¹⁾	Urtacha
	Hosil to'plash davrida ortiqcha vegetativ o'suvni chegaralashni hosil indeksiga bo'lgan ijobiy ta'sirini tavsiflovchi koeffitsient	Konservativ ⁽¹⁾	Kam
	Mumkin darajada hosil indeksini ortishi (%)	Konservativ ⁽¹⁾	30

4.1-jadvalning davomi

4. Tanglik (Stress)

4.1 Tuproq namligidan

Rexp, lower	Biomassa to'planishi uchun tuproq namligining kamayish chegarasi (yuqori chegara)	Konservativ ⁽¹⁾	0,20
rexp, upper	Biomassa to'planishi uchun tuproq namligining kamayish chegarasi (pastki chegara)	Konservativ ⁽¹⁾	0,70
	Biomassa to'planishi uchun suv tangligi koeffitsientining shakllantiruvchi omil	Konservativ ⁽¹⁾	3,0
psto	Barg og'izchalari ochilish/yopilishini nazoratlash uchun tuproq namligi kamayishining yuqorichegarasi	Konservativ ⁽¹⁾	0,65
	Barg og'izchalari ochilish/yopilishini nazoratlash uchun suv tangligi koeffitsientining shakllantiruvchi omil	Konservativ ⁽¹⁾	2,5
psen	Biomassa to'planishi cho'qqisidan keyin (o'simlikbarglari qarishi paytida) tuproq namligining kamayish chegarasi (yuqori chegara)	Konservativ ⁽¹⁾	0,75
	Biomassa to'planishi cho'qqisidan keyin (o'simlikbarglari qarishi paytida) suv tangligi koeffitsientining shakllantiruvchi omil	Konservativ ⁽¹⁾	2,5

	O‘simlikning qarishi davridan oldin tanglik davrida ETo	Konservativ ⁽¹⁾	0
rpol	O‘simlik changlanmasligi uchun tuproq namligining kamayish chegarasi (yuqori chegara)	Konservativ ⁽¹⁾	0,85 (Taxminiy)
	Anaerobiotik nuqtada xajm% (to‘yinganga xavola qilinganda)	Nav ⁽⁴⁾ Tuproq-ekologik sharoit ⁽³⁾	Dalada suv turib qolishiga o‘rtacha chidamli
4.2 Tuproq unumdorligidan (modelni rostdash talab etiladi)			
4.3 Havo haroratidan			
	O‘simlik changlanishini chegaralovchi minimal ⁰ S	Konservativ ⁽¹⁾	12,0
	O‘simlik changlanishini chegaralovchi maksimal ⁰ S	Konservativ ⁽¹⁾	40-45
4.1-jadvalning davomi			
	To‘liq biomassa to‘planishi uchun talab etiladigan minimal temperatura (°C/kun)	Konservativ ⁽¹⁾	Kuzda tutilmagan
Bug‘do y			
1. Fenologik ma’lumotlar			
Ko‘rsatkich qisqartmasi	Ko‘rsatkich tasnifi	Ma’lumot turi	Modelga kiritiladigan ma’lumot
1.1 Havo harorati			
Tbase	Minimal havo harorati (⁰ S)	Konservativ ⁽¹⁾	0,0
Tupper	Maksimal havo harorati (⁰ S)	Konservativ ⁽¹⁾	26,0
1.2 Ko‘k biomassa shakllanishi			
	90% urug‘ unib chiqqanda yakka nixol yer yuzasini qoplashi (sm ² /o‘simlik)	Konservativ ⁽²⁾	1,50
	Ko‘chat qalinligi	Agrotexnika ⁽³⁾	2000000-7000000

	Ekishdan unib chiqqangacha darkor boʻlgan samarali havo harorati (GDD hisobida)	Agrotexnika ⁽³⁾	100-250
CGC	Biomassa shakllanishi koeffitsienti (GDD nisbatan fraksiya)	Konservativ ⁽¹⁾	0,005-0,007
	Er yuzasini maksimal darajada oʻsimlik biomassasi bilan qoplanishi (%)	Agrotexnika ⁽³⁾	Toʻliq qoplangan
	Ekishdan ekin qarishigacha sarflanadigan vaqt (GDD hisobida)	Nav ⁽⁴⁾	+ 1000 - 2000
CDC	Biomassa kamayishi koeffitsienti (GDD nisbatan fraksiya)	Konservativ ⁽¹⁾	0,004
	Vegetatsiya davri uzunligi (GDD hisobida)	Nav ⁽⁴⁾	+ 1500 - 2700
1.3 Ekin gullashi			
	Ekishdan gullashgacha vaqt (GDD hisobida)	Nav ⁽⁴⁾	+ 1000 - 1300
	Gullash davri davomiyligi (GDD hisobida)	Nav ⁽⁴⁾	150 – 250
	Gullashga bogʻliq holda ekinda yangi boshloqlar shakllanishining toʻxtashi	Konservativ ⁽¹⁾	Ha
	Shakllanadigan boshloqlarning ortiqqligi	Konservativ ⁽²⁾	Yukori
1.4 Ildiz rivojlanishi			
Zn	Ildiz rivojlangan minimal chuqurlik (m)	Agrotexnika ⁽³⁾	0,30
Zx	Ildiz rivojlangan maksimal chuqurlik (m)	Agrotexnika ⁽³⁾	2,00 m gacha
	Oʻsimlik ildiz zonasi kengayishining tavsiflovchi omil	Konservativ ⁽¹⁾	15
	Ekishdan ildizni maksimal chuqurlikgacha rivojlanishi uchun sarflangan vaqt (GDD)	Nav ⁽⁴⁾ Tuproq-ekologik sharoit ⁽³⁾	Ildiz rivojlanishi tezligining funksiyasi: 1,0 – 2,0 sm/kun
2. Transpiratsiya			
Kcbx	Biomassa toʻliq shakllanganda (ammo oʻsimlikni qarishigacha boʻlgan paytda) ekin koeffitsienti	Konservativ ⁽¹⁾	1,10

	O‘simlik vegetatsiyasi oxirlashi yoki muhitda azottanqisligi sababli ekin koeffitsientining kamayishi	Konservativ ⁽¹⁾	0,15
	Vegetatsiya oxirlaganda tuproqdan namlikni bug‘lanishiga o‘simlik biomassasining ta‘siri	Konservativ ⁽¹⁾	50
3. Biomassa to‘planishi va hosil shakllanishi			
<i>3.1 Ekinning suv mahsuldorligi</i>			
WP*	ET _O va CO ₂ (g/m ²) uchun maqbullashtirilgan suv mahsuldorligi	Konservativ ⁽¹⁾	15,0
	Hosil shakllanishi davrida ET _O va CO ₂ uchun maqbullashtirilgan suv mahsuldorligi	Konservativ ⁽¹⁾	100
<i>3.2 Hosil indeksi</i>			
H _{IO}	Xavola hosil indeksi (%)	Nav ⁽⁴⁾	45-50
	Hosil indeksi shakllanishi (GDD hisobida davr)	Nav ⁽⁴⁾	O‘simlikda 15% kuk biomassa qolgunga qadar
	O‘simlikni gullash davrigacha suv tanqisligi kuzatilishi mumkinligi sababli hosil indeksini ortishi	Konservativ ⁽¹⁾	Past
	Hosil to‘plash davrida barg og‘izchalarini yopilishini hosil indeksiga bo‘lgan salbiy ta‘sirini tavsiflovchi koeffitsient	Konservativ ⁽¹⁾	Past
<i>4.1-jadvalning davomi</i>			
	Hosil to‘plash davrida ortiqcha vegetativ o‘suwnichegaralashni hosil indeksiga bo‘lgan ijobiy ta‘sirini tavsiflovchi koeffitsient	Konservativ ⁽¹⁾	O‘rtacha
	Hosil indeksini mumkin darajada ortishi (%)	Konservativ ⁽¹⁾	15
4. Tanglik (Stress)			
<i>4.1 Tuproq namligi</i>			

Rexp, lower	Biomassa to'planishi uchun tuproq namligining kamayish chegarasi (yuqori chegara)	Konservativ ⁽¹⁾	0,20
rexp, upper	Biomassa to'planishi uchun tuproq namligining kamayish chegarasi (pastki chegara)	Konservativ ⁽¹⁾	0,65
	Biomassa to'planishi uchun suv tangligi koeffitsientining shakllantiruvchi omil	Konservativ ⁽¹⁾	5,0
psto	Barg og'izchalari ochilish/yopilishini nazoratlash uchun tuproq namligi kamayishining yuqori chegarasi	Konservativ ⁽¹⁾	0,65
	Barg og'izchalari ochilish/yopilishini nazoratlash uchun suv tangligi koeffitsientining shakllantiruvchi omil	Konservativ ⁽¹⁾	2,5
psen	Biomassa to'planishi cho'qqisidan keyin (o'simlikbarglari qarishi paytida) tuproq namligining kamayish chegarasi (yuqori chegara)	Konservativ ⁽¹⁾	0,70
	Biomassa to'planishi cho'qqisidan keyin (o'simlikbarglari qarishi paytida) suv tangligi koeffitsientining shakllantiruvchi omil	Konservativ ⁽¹⁾	2,5
	O'simlikning qarishi davridan oldin tanglikdavrida ETo	Konservativ ⁽¹⁾	0
rpol	O'simlik changlanmasligi uchun tuproq namligining kamayish chegarasi (yuqori chegara)	Konservativ ⁽¹⁾	0,85 (Taxminiy)
	Anaerobiotik nuktada xajm% (tuyinganga xavolaqilinganda)	Nav ⁽⁴⁾ Tuproq-ekologik sharoit ⁽³⁾	Dalada suv turib qolishigao'rtacha chidamli

4.1-jadvalning davomi

<i>4.2 Tuproq unumdorligi (modelni rostdash talab etiladi)</i>			
<i>4.3 Havo harorati</i>			
	O‘simlik changlanishini chegaralovchi minimal $^{\circ}\text{S}$	Konservativ ⁽¹⁾	5,0
	O‘simlik changlanishini chegaralovchi maksimal $^{\circ}\text{S}$	Konservativ ⁽¹⁾	35
	To‘liq biomassa to‘planishi uchun talab etiladigan minimal temperatura ($^{\circ}\text{C}/\text{kun}$)	Konservativ ⁽¹⁾	13,0-15,0

Ushbu jadvalda: (1) konservativ (tuproq-iqlim, nav va boshqa sharoitlarda o‘zgarmas); (2) aniq ekin uchun konservativ, ammo navlar bo‘ylab farqli bo‘lishi mumkin; (3) tuproq-ekologik sharoitga bog‘liq va (4) aniq navga tegishli. Bunda “konservativ” deb ko‘rsatilgan ma’lumotlar dunyoning turli tuproq va iqlim sharoitlarida bajarilgan ko‘pchilik tajribalar asosida FAO mutaxassislari tomonidan aniqlangan. Shu bois ular to‘g‘ridan-to‘g‘ri modelga kiritiladi. Jadvalda “Nav” va “Agrotexnika” deb ko‘rsatilgan ma’lumotlar tegishli tuproq va iqlim sharoitlarida bajarilgan tajribalar natijalaridan yoki “ma’lumotlar banki”dan olinadi.

Modelga kiritiladigan ba’zi fenologik ma’lumotlar vaqt hisobida: “kun” yoki GDD (growing degree days – samarali haroratga o‘xshash ko‘rsatkich) ko‘rsatiladi. GDD quyidagi tenglama asosida hisob-kitob qilinadi:

$$GDD = \frac{t^{\circ}max - t^{\circ}min}{2} - \text{экин ўсиши учун } \min t^{\circ} \quad [8]$$

bunda,

$t^{\circ}max$ – kun (sutka) davomidagi eng yuqori harorat; $t^{\circ}min$ – kun (sutka) davomidagi eng past harorat;

ekin o‘sishi uchun minimal harorat ($\min t^{\circ}$) - masalan g‘o‘za uchun 12 $^{\circ}S$, bug‘doy - 0 $^{\circ}S$.

Yer ustini o‘simlik biomassasi koplashini (SS) aniqlangan barg sathi ko‘rsatkichi orqali hisoblash mumkin. Bunda quyidagi tenglamalardan maqbuli [9 yoki 10] tanlanadi, ya’ni haqiqiy va bashoratlangan SS ko‘rsatkich o‘zaro solishtirilgandan so‘ng.

$$CC = \frac{1 - e^{-LAI/1.3}}{1 + e^{-LAI/1.3}} \quad [9] \text{ (Garcia-Vila et al., 2009)}$$

bunda,

$ye^{-LAI} - 1 \text{ m}^2$ yer yuzasidagi o‘simliklarning barg sathining eksponensial ko‘rsatkichi.

$$CC = 1 - e^{(-xLAI)} \quad [10] \text{ (Farahani et al., 2009)}$$

bunda,

$LAI (m^2/m^2) - 1 m^2$ yer yuzasidagi o‘simliklarning barg sathi;
 χ – koeffitsient (g‘o‘za o‘simligi uchun 0,77 ga teng).

Yer ustini o‘simlik biomassasi koplashini (SS) fotosintetik aktiv radiatsiyani (FAR) o‘lchashyo‘li bilan ham hisoblash mumkin:

$$CC = \frac{1 - \Phi AP_{\text{past}}}{1 - \Phi AP_{\text{yuqori}}} \quad [11] \text{ (Farahani et al., 2009)}$$

bunda,

FAR_{past} – o‘simlikning pastki qismi, ya’ni yer yuzasiga yaqin o‘lchangan FAR; FAR_{yuqori} – o‘simlik ustidan o‘lchangan FAR.

Fotosintetik aktiv radiatsiya (FAR) turli uskunalar (masalan AccuPAR LP-80) yordamida kunning o‘rtasida (soat 12-13 larda) o‘lchanadi, sababi o‘simlik ustiga soya tushmasligi lozim.

Modelning foydalanuvchi interfeysida “*Display of crop characteristics*” tug‘machasi orqali “*Crop characteristics*” ko‘rinishida ekin fayliga kiritilgan ma’lumotlarni tekshirish va muvofiqlashtirish imkoniyati mavjud.

Agarda simulyatsiya qilinayotgan ekin uchun modelga kiritiladigan ma’lumotlar to‘plami AquaCrop qo‘llanmasida keltirilmagan bo‘lsa yoki aniq tuproq-ekologik sharoit uchun aniqlanmagan bo‘lsa, unda model rostlanadi (kalibrovka). Parametrlashga nisbatan modelni rostlash₈₁ yuqori va murakkab pog‘ona hisoblanadi.

4.3.Sug‘orish ma’lumoti

Sug‘orish bo‘yicha ma’lumot belgilangan shakl bo‘yicha oldindan tayyorlash (5-ilova) va modelning ma’lumotlar bazasiga kiritish yoki yangi sug‘orish fayli yaratish mumkin (foydalanuvchi interfeysi: *Irrigation* → *Select/Create Irrigation file* → *Create Irrigation file*). Ushbu fayl tegishlicha nomlanadi (masalan Cotton Irrigation Data 2015), bunda sug‘orish usuli (yomg‘irilatib, egatlab, tomchilatib) hamda sug‘orish muddatlari, me’yorlari va sug‘orish suvining mineralizatsiyasi (dS/m) ko‘rsatiladi. Foydalanuvchi

interfeysida *Irrigation* → *Display/Update Irrigation file* tug'machalarini ketma-ket bosib sug'orishga doir ma'lumotlarni ko'rish va muvofiqlashtirish mumkin.

4.4.Dala maydoni ma'lumoti

Bu boradagi ma'lumot belgilangan shakl bo'yicha oldindan tayyorlanadi (4.1-jadval), modelning ma'lumotlar bazasiga kiritiladi va simulyatsiyalash jarayonida ishlatiladi (foydalanuvchi interfeysi: *Field* → *Select Field Management file*). Bunda tuproq unumdorligi darajasining o'simliklarga bo'lgan ta'siri va tuproqning suv balansiga ta'sir qiluvchi tadbirlar bajarilishi (suv bug'lanishini kamaytirish maqsadida yer yuzasini mulchalash, tuproqda namlikni saklash uchun pushta olish, suv tashlamasini bartaraf qilish) ko'rsatiladi. Foydalanuvchi interfeysida *Field* → *Display/Update Field Management file* tug'machalarini ketma-ket bosib dala boshqaruviga doir ma'lumotlarni ko'rish va muvofiqlashtirish mumkin.

4.4.1-Tuproq tavsifi

Tuproq tavsifiga doir ma'lumotlarni ham belgilangan shakl bo'yicha oldindan tayyorlash (7- ilova) va modelning ma'lumotlar bazasiga kiritish yoki yangi tuproq fayli yaratish mumkin (foydalanuvchi interfeysi: *Soil profile* → *Select/Create Soil profile file* → *Create Soil profile file*). Ushbu faylda tuproqning gidravlik tavsifiga doir ma'lumotlar keltiriladi: to'yingan holatda tuproqning gidravlik o'tkazuvchanligi (K_{sat}) va suv miqdori (θ_{sat}), dala nam sig'imi (θ_{FC}) hamda doimiy so'lish nuqtasi (θ_{PWP}) qatlamlar bo'yicha alohida keltiriladi. O'simlik ildizi rivojini chegaralovchi tuproq qatlami (Restrictive layer) mavjud bo'lsa, ushbu faylda ko'rsatilishi kerak. Shularga qo'shimcha ravishda, tuproqdan bug'lanishi mumkin bo'lgan suv (REW - Readily Evaporable Water) va yog'inni tashlama sifatida daladan chiqib ketish (CN - Curve Number) miqdorlari ham ko'rsatiladi. Bu faylda foydalanuvchi xalqaro klassifikatsiyaga binoan tuproq qatlamlarining mexanik tarkibini keltirish mumkin (masalan Clay Loam 19-73 sm). Foydalanuvchi interfeysida *Soil profile*

→ *Display/Update Soil profile* tug'machalarini bosish orqali dastlab modelga kiritilgan ma'lumotlarni ko'rish va muvofiqlashtirish imkoniyati mavjud.

4.4.2-Sizot sathi

Modelda sizot bo'yicha alohida fayl yaratiladi (foydalanuvchi interfeysi: *Groundwater* → *Select/Create Groundwater file* → *Create Groundwater file*). Fayl nomlanadi (masalan Cotton.GWT), sizob yer yuzasiga yaqin bo'lsa, uning sathi va minerallashuvi (dS/m) ko'rsatiladi. Sizob chuqurjoylashgan tuproqlarda suv balansiga uning ta'siri yo'q deb belgilanadi. Foydalanuvchi interfeysida: *Groundwater* → *Display/Update Groundwater characteristics* tug'machalari ketma-ket bosilganda sizob bo'yicha ma'lumotlarni ko'rish va muvofiqlashtirish mumkin.

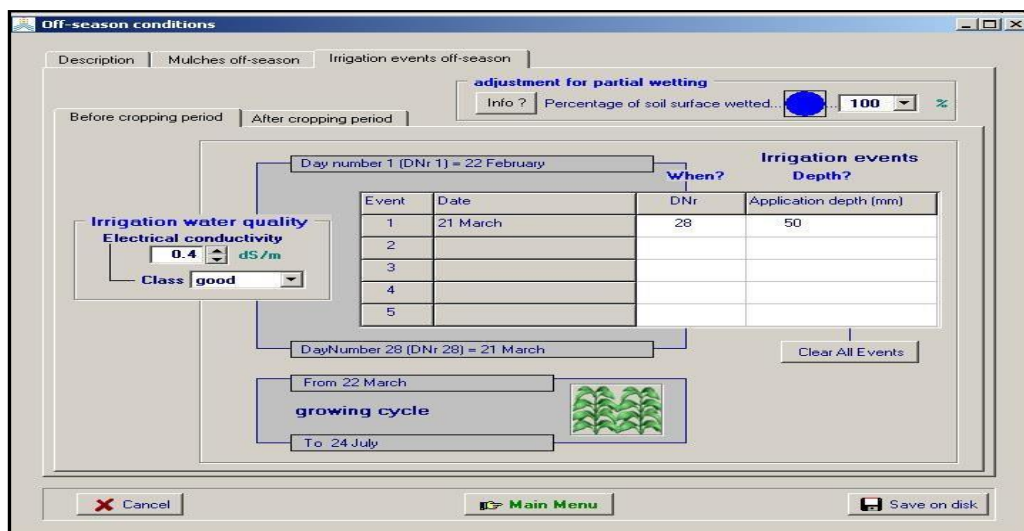
4.5. Simulyatsiya jarayonlari

Simulyatsiya davri. Modelga barcha ma'lumotlar kiritilib, bashoratlash uchun "RUN" tug'machasi bosilganda simulyatsiya davri ko'rinadi. Uni tajribadan olingan ma'lumotlar (ekinining xaqiqiy vegetatsiya davri) asosida muvofiqlashtirish mumkin.

Tuproqning dastlabki holati. Ekish paytidagi tuproq namligi juda muhim o'rinni egallaydi, chunki bu ko'rsatkich ham tuproqning gidravlik xususiyatlariga, ham ekinining rivoji va mahsuldorligiga katta ta'sir ko'rsatadi. Shu bois, tuproqqa urug' qadash yoki ertasi kuni maqbul chuqurlikgacha tuproq namligini aniqlash muhim hisoblanadi. Tuproq namligini aniqlash uchun maqbul chuqurlik – bu ildiz tarqalgan qatlam hisoblanadi (odatda 1,5 m atrofida, ammo 2,8 metrgacha bo'lishi mumkin). Tuproqdagi dastlabki suv miqdori bo'yicha ma'lumotlar belgilangan shaklda tayyorlanadi (8-ilova) va modelning ma'lumotlar bazasiga kiritib qo'yiladi. Foydalanuvchi interfeysi: *Initial conditions* → *Display/Update initial conditions* tug'machalarini bosish orqali tuproqning dastlabki namligi xaqidagi modelga kiritilgan ma'lumotlarni ko'rish va muvofiqlashtirish mumkin.

Agarda tuproq namligi ekish paytida aniqlanmagan bo'lsa, unda u muvofiqlashtiriladi. Natijada, ekishdan so'ng dastlab xaqiqiy o'lchangan va simulyatsiya qilingan tuproqning ildiz tarqalgan qatlamidagi suv zahiralarning farqi 10 mm oshmasligi maqsadga muvofiq.

Mavsumdan oldingi sug'orishlar. Agarda ekishdan oldin yoki vegetatsiya davridan keyin dala maydonida sug'orishlar o'tkazilgan bo'lsa, unda ularni modelda hisobga olish imkoniyati mavjud (5.1-rasm).



4.8-rasm. Ekishdan oldin yoki vegetatsiya davridan keyin o'tkazilgan sug'orishlarni modelga kiritishning ko'rinishi

Alohida loyiha fayli yaratish. Foydalanuvchi interfeysi: *Project* → *Select/Create Project file* tug'machalarini bosish orqali oldin yaratilgan 'loyiha fayli'ni modelning ma'lumotlar bazasidan olish (*Select Project file*) yoki yangi 'loyiha fayli' yaratish (*Create roject file*) mumkin.

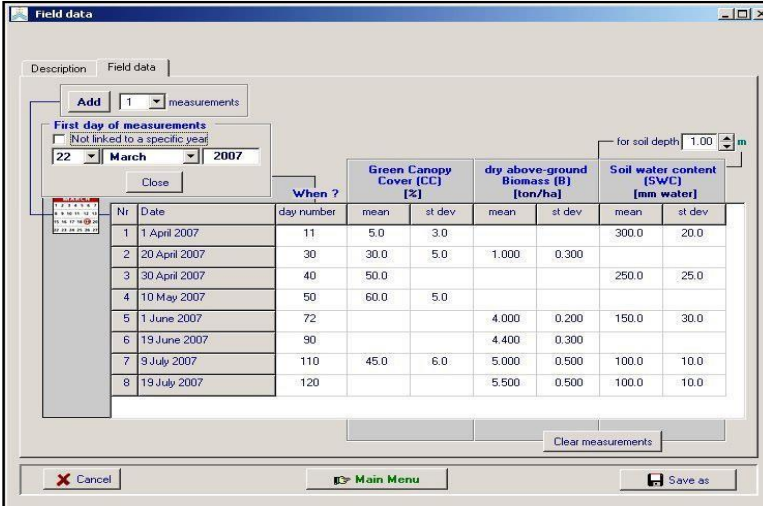
84

Loyiha faylini yaratishda ham yuqorida tavsiflangan barcha ma'lumotlar (ob-havo, ekin, sug'orish, dala maydoni, tuproq, sizob, simulyatsiya davri, dastlabki holat) yagona faylga to'planadi, fayl nomlanadi va keyinchalik modelning ma'lumotlar bazasida saqlanadi. Model yordamida bashoratlashda yaratilgan fayl tanlanadi, "*Display of project characteristics*" va "*Project characteristic*" tug'machalarini bosib loyihaga kiritilgan ma'lumotlarni ko'rish va muvofiqlashtirish mumkin. Simulyatsiyalash uchun aniq loyiha fayli tanlangandan so'ng ob-havo, ekin, sug'orish, dala maydoni, tuproq, sizob, simulyatsiya davri, dastlabki holatlarga o'zgartirishlar kiritib bo'lmaydi

(“Select/Create” va “Display/Update” boshqaruv tug‘machalari paydo bo‘lmaydi).

Loyiha faylini yaratishda “*Single simulation run*” (fayl nomi ‘PRO’ bilan yakunlanadi) va “*Multiple run projects*” (fayl nomi ‘PRM’ bilan tugaydi) tanlash mumkin. Birinchi holatda (“*Single simulation run*”) loyiha fayli tarkibidagi ma’lumotlar yakka simulyatsiyalashga mo‘ljallangan bo‘ladi. “*Multiple run projects*” esa odatda yillar bo‘ylab ob-havo sharoitining ekin rivoji va mahsuldorligiga bo‘lgan ta’sirini baholashda yoki almashlab ekishni simulyatsiyalashda foydalaniladi.

‘Dala ma’lumotlari’ fayli. Foydalanuvchi interfeysi: *Field data* → *Select/Create Field data* tug‘machalarini navbatlab bosish orqali oldin yaratilgan “*Field data*” faylini modelning ma’lumotlaridan bazasidan yuklab olish (*Select Field data*) yoki yangi fayl yaratish (*Create Field data*) mumkin (5.3-rasm).



The screenshot shows a software window titled "Field data" with a table of measurement data. The table has columns for "Nr", "Date", "day number", "Green Canopy Cover (CC) [%]", "dry above-ground Biomass (B) [ton/ha]", and "Soil water content (SWC) [mm water]". Each of the last three columns has sub-columns for "mean" and "st dev". The data rows are as follows:

Nr	Date	day number	Green Canopy Cover (CC) [%]		dry above-ground Biomass (B) [ton/ha]		Soil water content (SWC) [mm water]	
			mean	st dev	mean	st dev	mean	st dev
1	1 April 2007	11	5.0	3.0			300.0	20.0
2	20 April 2007	30	30.0	5.0	1.000	0.300		
3	30 April 2007	40	50.0				250.0	25.0
4	10 May 2007	50	60.0	5.0				
5	1 June 2007	72			4.000	0.200	150.0	30.0
6	19 June 2007	90			4.400	0.300		
7	9 July 2007	110	45.0	6.0	5.000	0.500	100.0	10.0
8	19 July 2007	120			5.500	0.500	100.0	10.0

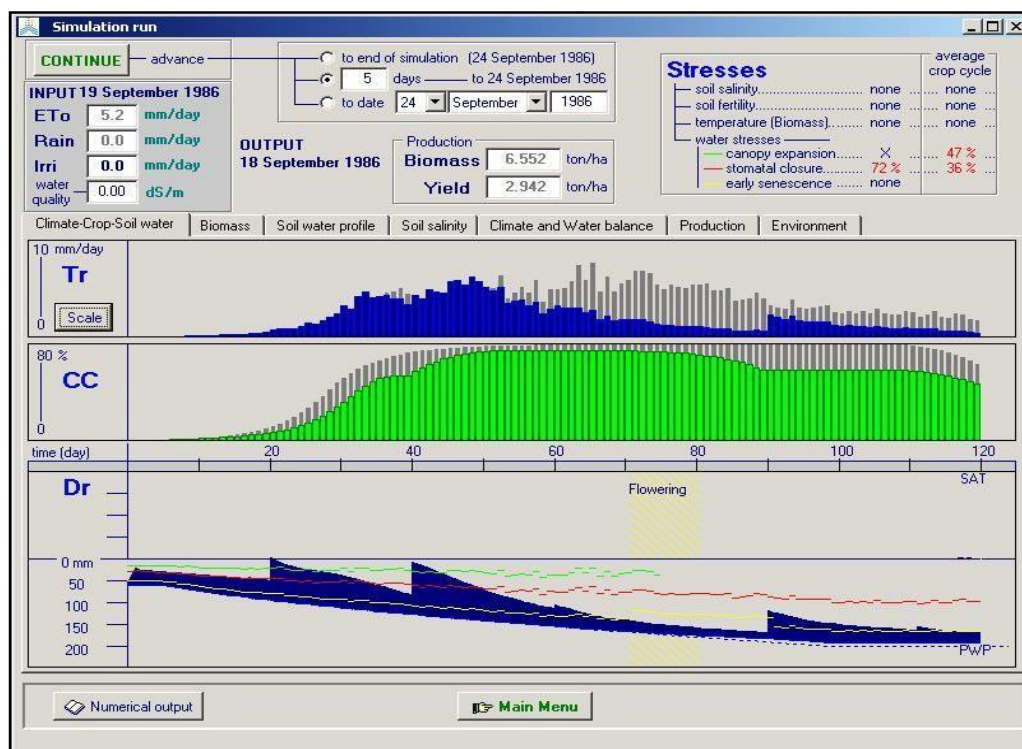
4.9-rasm. Modelda yaratilgan ‘dala ma’lumotlari’ (*Field data*) faylining ko‘rinishi

Ushbu faylga dala maydonida bajarilgan maxsus o‘lchovlar (aniq kunlarda o‘lchangan ekinning yerni ustki qismidagi biomassasi, o‘simlik yer yuzasini ko‘k biomassa bilan qoplash dinamikasi, tuproq namligi kabi ma’lumotlar) kiritilishi mumkin. O‘lchov yoki aniqlashlar vaqt davomida va tajriba

qaytariqlari bo‘ylab bajarilgan bo‘lsa, unda ma’lumotning o‘rtachasi va uning standart cheklanishi ko‘rsatiladi.

4.5.1. Simulyatsiyalash natijalari

Parametrizatsiya qilish uchun yuqorida tavsiflangan barcha ma’lumotlar (ob-havo, ekin, sug‘orish, dala maydoni, tuproq, sizob, simulyatsiya davri, dastlabki holat) modelga kiritilgach, foydalanuvchi interfeysida “*RUN*” va paydo bo‘lgan ko‘rinishdagi “*Start*” tug‘machalari bosiladi. Simulyatsiyalash natijasi quyidagi ko‘rinishda bo‘ladi (5.4-rasm).



4.9-rasm. Bashoratlash (simulyatsiyalash) natijasining ko‘rinishi

Oson taxlil qilish uchun ba’zi ma’lumotlar rangli grafiklar shaklida keltiriladi, ammo har simulyatsiya natijasi jadval (masalan 9-10-ilovalar) shaklida AquaCrop ma’lumotlar bazasining ‘*Output*’ yunalishida alohida faylda (turi: bloknot) saqlanadi.

Biz AquaCrop ni parametrlash maqsadida 1-jadvalda g‘o‘za uchun va 1-8-ilovalarda keltirilgan ma’lumotlarni modelga kiritdik. Simulyatsiyalash natijalariga ko‘ra, g‘o‘zaning o‘suv davrida dala maydonida o‘lchangan tuproqning 0-150 sm li qatlamidagi suv miqdoriga nisbatan, simulyatsiyalangan

suv miqdori biroz pastroq bashoratlangan. Bu farq, ayniqsa, g'ozaning gullash-ko'saklash davrida kattalashgan, bu davrda neytron nam o'lchagich va simulyatsiyalangan tuproqdagi suv miqdorlari orasidagi farq 37,9-44,1 mm oralig'ida bo'lgan (26a-rasm). Tuproqning 0-150 sm li qatlamidagi suv miqdorlarini pastroq simulyatsiyalashning sababi chigit ekishdan g'ozani gullashiga qadar tuproqdan namlik ortiqcha bug'langan deb bashoratlanishidir (26c-rasm). Umuman olganda, kunlik evapotranspiratsiya haqiqiy o'lchanganga yaqin simulyatsiyalangan, ammo bunda ham g'oz rivojining birinchi 30-kunligida YeT ortiqcha miqdorda bashoratlangan (26b-rasm).

Ekin, gidrologik kabi modellar samaradorligini statistik yo'llar bilan baholashda model bashorati (P_i ; va $i = 1, 2, \dots, n$) va tajribada haqiqiy o'lchangan (Q_i ; va $i = 1, 2, \dots, n$) ko'rsatkichlar o'zaro taqqoslanadi. Odatda P va Q ni o'lchov birliklari bir xil bo'lishi talab etiladi. Biz AquaCrop modelining bashoratlash samaradorligini aniqlashda turli koeffitsient va indekslardan foydalandik. Natijada, dalada o'lchangan va model yordamida bashoratlangan ko'rsatkichlar yuqorida bayon etilgan turli (ma'lumot turiga qarab) statistik yo'llar bilan ishlandi (5.2-jadval).

5.2jadval

AquaCrop modeli yordamida simulyatsiyalash natijalarini baholash parametrlari

	Evapotranspiratsiya	Tuproqdagi suv miqdori
d (Willmott et al. 2012)	0,937	0,935
E (Legates and McCabe 1999)	0,677	0,461
MAE, mm	1,10	29,2
RMSE, mm	1,81	31,7
Determinatsiya koeffitsienti, R^2	0,780	0,937
MAE, t/ga	0,74	0,26
RMSE, t/ga	1,11	0,31
Ulchangan, t/ga	7,50	3,52
Bashorat, t/ga	6,97	3,40
Ishonch intervali (Confidence T), t/ga	2,51	0,40

Determinatsiya koeffitsienti – Pirson korrelyatsiya koeffitsientining kvadrati ($R^2 = r^2$) hisoblanadi. Korrelyatsiya koeffitsienti ikki guruh ma'lumotlar to'plami orasidagi chiziqli kovariatsiyani o'lchaydi. Ushbu ikkita koeffitsient ham o'lchov birligisiz va chegaraviy (r ning chegarasi -1 dan +1 gacha, R^2 niki esa 0 ... 1). Turli birlik va o'lchamga ega bo'lgan ma'lumotlar to'plamlarini o'zaro taqqoslash imkoniyati mavjudligi Pirson korrelyatsiya va determinatsiya koeffitsientlarining yutuqli tomoni hisoblanadi. Odatda korrelyatsiya koeffitsientiga nisbatan determinatsiya koeffitsienti to'laroq natija beradi, chunki aniqlangan ma'lumotlarning umumiy dispersiyasini regressiya modeli bilan tushuntirish mumkin bo'lgan qismini tavsiflaydi.

Pirson korrelyatsiya va determinatsiya koeffitsientlari ikki guruh ma'lumotlar to'plami orasidagi farqni o'lchamaydi, shu bois turli guruh ma'lumotlarini o'zaro kelishuvini aniqlash maqsadida ushbu koeffitsientlarni qo'llash tavsiya etilmaydi.

O'rtacha ko'rsatkichning absolyut hatosi (MAE – Mean Absolute Error) va *o'rtacha kvadratik hatolik*

(RMSE – Root Mean Squared Error) ham qo'llashga sazovor indekslar hisoblanadi:

$$MAE = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n |O_i - P_i| \quad [13]$$

$$RMSE = \left[\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (O_i - P_i)^2 \right]^{\frac{1}{2}} \quad [14]$$

88

MAE va RMSE ikki guruh ma'lumotlar to'plami orasidagi haqiqiy farqni o'lchaydi. Ushbu ko'rsatkichlar, determinatsiya va Pirson korrelyatsiya koeffitsientlaridan farqli ravishda, chegarasiz hisoblanadi hamda ko'rsatkichning birligi va o'lchoviga bog'liqdir. Masalan, X va Y guruhlarida ham ko'rsatkichlar 0 dan 255 gacha yoki 0 dan 65535 gacha bo'lganda X va Y orasidagi MAE va RMSE turlicha bo'lishi mumkin.

Model samaradorligini baholashda shu kabi kamchiliklarni bartaraf qilish maqsadida C.J. Willmott va boshqalar (2012) *kelishuv indeksini (d)* ishlab chiqishgan:

$$d = 1 - \frac{\sum_{i=1}^n (O_i - P_i)^2}{\sum_{i=1}^n (|O_i - \bar{O}| + |P_i - \bar{P}|)^2} \quad [15]$$

Willmott kelishuv indeksi (d) o'lchov birligisiz va chegaraviy hisoblanadi (0 dan 1 gacha). O'lchangan va bashoratlangan ko'rsatkichlar bir-biriga yaqinlashgan sari $d \rightarrow 1$ ga tenglashadi.

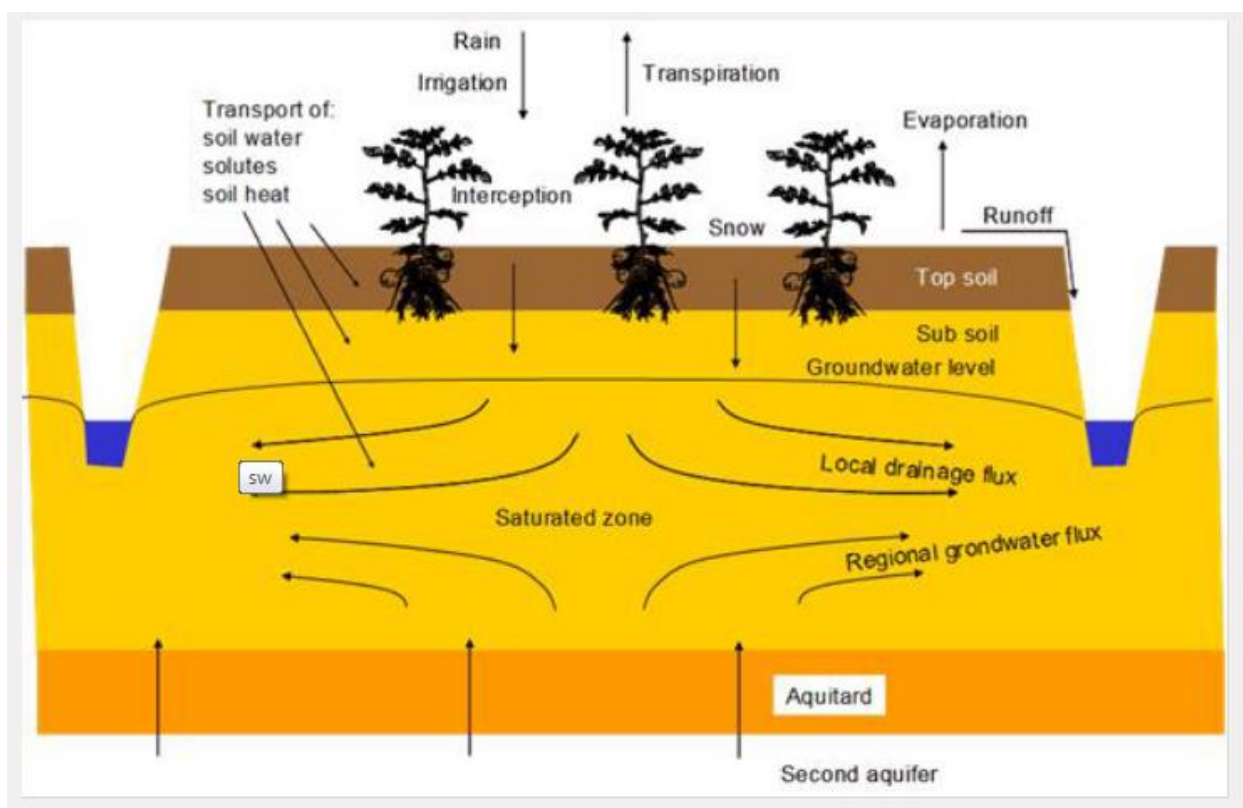
Samaradorlik koeffitsienti (E) - turli gidrologik modellar samaradorligini aniqlashda keng qo'llaniladi:

$$E = 1 - \frac{\sum_{i=1}^n (O_i - P_i)^2}{\sum_{i=1}^n (O_i - \bar{O})^2} \quad [16]$$

Samaradorlik koeffitsientining chegarasi $-\infty$ dan 1,0 gacha. Haqiqiy o'lchangan va bashoratlangan ko'rsatkichlarning o'zaro kelishuvi maqbullashishi bilan samaradorlikkoeffitsienti ham ortib boradi.

V-BOB.TUPROQ-SUV-ATMOSFERA-O‘SIMLIK (SWAP) MODEL:

SWAP o'simliklar rivojlanishi bilan o'zaro aloqada suv, eritmalar va issiqlikni vadoza zonasida tashishni simulyatsiya qiladi. Model Richards tenglamasidan foydalanadi, shu jumladan o'zgaruvchan to'yingan tuproqlarda tuproq namligi harakatini taqlid qilish uchun ildiz suvini olish. Ildiz suvini qazib olish makroskopik va mikroskopik tushunchalar bilan simulyatsiya qilinishi mumkin. SWAP loy va torf tuproqlarida makro gözenekli oqim bo'yicha batafsil modulni o'z ichiga oladi. Erigan moddalarni tashish uchun SWAP konvektsiya, dispersiya, adsorbsiya va parchalanishning asosiy jarayonlarini ko'rib chiqadi. Shuningdek, SWAP pestitsidlar uchun PEARL, ozuqaviy moddalar uchun ANIMO va og'ir metallar uchun ORCHESTRA kabi batafsil kimyoviy transport modellari uchun tuproq suv oqimlarini ishlab chiqaradi. SWAP haqiqiy issiqlik sig'implari va issiqlik o'tkazuvchanliklarini hisobga olgan holda tuproqning issiqlik oqimini simulyatsiya qiladi. Belgilangan yuqori chegara shartlariga qo'shimcha ravishda, barglar fotosintezi va ekinlarning o'sishini taqlid qilish uchun umumiy ekin o'sishi moduli WOFOST kiritilgan. Tuproq namligi, issiqlik, erigan moddalar va o'simliklarning o'sishi modullari barcha turdagi o'zaro ta'sirlarni hisobga olish uchun holat ma'lumotlarini almashadilar. Keng ko'lamlı sinov protokoli SWAP ning raqamli kod sifatini ta'minlaydi. Manba kodi yaxshi tuzilgan va SWAP saytida mavjud.



5.1-rasm. SWAP modeli domeni jarayonlari

5.1.SWAP modeli domeni jarayonlari

Vertikal yo'nalishda model domeni soyabon ustidagi tekislikdan sayoz er osti suvlaridagi tekislikka etib boradi. Ushbu zonada transport jarayonlari asosan vertikaldir, shuning uchun SWAP bir o'lchovli, vertikal yo'naltirilgan modeldir. Er osti suvlari sathidan past bo'lgan oqim lateral drenaj oqimlarini o'z ichiga olishi mumkin, agar bu oqimlar analitik drenaj formulalari bilan belgilanishi mumkin. Model tuproq ustunining yuqori va pastki qismidagi kirish ma'lumotlariga nisbatan juda moslashuvchan. Yuqorida umumiy kunlik ob-havo sharoiti etarli bo'ladi. Nordic sharoitlari uchun oddiy qor saqlash moduli amalga oshirildi va muzlatilgan tuproqning ta'siri kiritilgan. Kundalik ma'lumotlarga qo'shimcha ravishda, suv oqimi yoki kunlik transpiratsiya oqimlarini taqlid qilish uchun evapotranspiratsiya va yog'ingarchilik ma'lumotlari daqiqalar asosida aniqlanishi mumkin. Pastki qismida delta hududlarida tuproq suvi va er usti suvlari o'rtasidagi o'zaro ta'sirlarni moslashtirish uchun bosh va oqimga asoslangan sharoitlarning turli shakllari qo'llaniladi.

Gorizontal yo'nalishda SWAPning asosiy yo'nalishi maydon miqyosi hisoblanadi. Ushbu miqyosda ko'pgina transport jarayonlarini deterministik tarzda tavsiflash mumkin, chunki dala odatda bitta mikroiklim, bitta o'simlik turi, bitta tuproq turi va bitta drenaj holati bilan ifodalanishi mumkin. Bundan tashqari, ko'plab o'stirish amaliyotlari dala miqyosida sodir bo'ladi, ya'ni bu miqyosda ko'plab boshqaruv variantlari qo'llaniladi. Kengroq siyosatni o'rganish uchun SWAP simulyatsiyalarini maydondan mintaqaviy miqyosga oshirish geografik axborot tizimlari yordamida mumkin.

SWAP (Tuproq-Suv-Atmosfera-O'simlik) o'simliklar rivojlanishi bilan o'zaro ta'sirda vadoza zonasida suv, eritmalar va issiqlikni tashishni simulyatsiya qiladi. SWAP muqobil oqim va transport tushunchalarini o'rganish, laboratoriya va dala tajribalarini tahlil qilish va dala miqyosidagi suv va erigan moddalar harakati bo'yicha boshqaruv variantlarini baholash uchun ishlatilgan. Gorizontal yo'nalishda SWAPning asosiy yo'nalishi maydon miqyosi hisoblanadi. Chop etilgan, tipik misollar Van Dam va boshqalar tomonidan berilgan. (2008) va Kroes va boshqalar. (2017) uchun:

Dala miqyosidagi suv va sho'rlanishni boshqarish

Sug'orishni rejalashtirish

Vaqtinchalik drenaj sharoitlari

Suv va sho'rlanishdan ta'sirlangan o'simlik o'sishi

Pestitsidlarning er osti va er usti suvlariga yuvilishi

92

Yuqori tuproqlardan turli er usti suv tizimlariga mintaqaviy drenaj

Er usti suvlarini boshqarishni optimallashtirish

Tuproqning heterojenligining ta'siri

SWAP shuningdek, pestitsidlar va oziq moddalar modellari uchun tuproq suv oqimlarini yaratishga xizmat qiladi. Model agro va ekogidrologiya uchun yangi oqim va transport tushunchalarini o'rganish, laboratoriya va dala tajribalarini tahlil qilish uchun ishlatilishi mumkin.

Foydalanishning umumiy konteksti

SWAP modeli foydalanuvchilarning keng doirasiga ega:

Asosiy tadqiqotlar: laboratoriya va dala tajribalarini tahlil qilish va agro va ekogidrologiya uchun yangi oqim va transport tushunchalarini o'rganish;

Amaliy tadqiqotlar: sug'orish va suvni boshqarishning alternativ usullari, qishda yog'ingarchilikning ko'pligi (masalan, nitrat va pestitsidlarni yuvish uchun)

Qarorlarni qo'llab-quvvatlash: turli miqyosdagi suvni boshqarish strategiyalari, PEARL modelining ajralmas qismi (EI darajasidagi pestitsidlar qonunchiligi), ANIMO (oziqlanish davri va dala miqyosida yuvish) va STONE modeli (tuproqning yuqori qatlamidan er usti suvigacha ozuqa moddalarini tahlil qilish uchun milliy Gollandiya asbobi)

Ta'lim va o'qitish: Gollandiya, Polsha, Janubiy Afrika, Rossiya va Braziliyada xalqaro o'quv kurslari o'tkazildi.

Modelning tarixi

SWAP tuproq gidrologik modeli 40 yildan ortiq tarixga ega. Birinchi versiya (SWATR deb ataladi) Niderlandiyada Reinder Feddes va hamkasblari tomonidan ishlab chiqilgan va 1978 yilda nashr etilgan. Uning tarixi davomida muntazam yangilanishlar SWATRE, SWACROP, SWAP93 va SWAP qisqartmalari bilan tarqalib borardi: Feddes va boshqalar. (1978); Belmans va boshqalar. (1983); Wesseling va boshqalar. (1991); Kabat va boshqalar. (1992); Van den Broek va boshqalar. (1994); Van Dam va boshqalar. (1997); Kroes va boshqalar. (2001; 2003; 2008). Oldingi standart Internet versiyasi Kroes va⁹³ boshqalar tomonidan SWAP3.2.36 sifatida nashr etilgan. (2009). Joriy versiya - SWAP4.

Model kontseptsiyasida ko'rib chiqilgan tizimlar, quyi tizimlar, mexanizmlar SWAP - bu o'zgaruvchan to'yingan tuproqlarda suv, erigan moddalar va issiqlikni tashishni simulyatsiya qiluvchi kompyuter modeli. Dastur Tuproq-Atmosfera-O'simlik tizimini kompleks modellashtirish uchun mo'ljallangan. Dala miqyosidagi va butun vegetatsiya davridagi transport jarayonlari hisobga olinadi. Yuqoridagi tizim chegaralari ekinli yoki ekinsiz tuproq yuzasi va atmosfera sharoitlari bilan belgilanadi. Yanal chegara er usti suv tizimlari bilan o'zaro ta'sirni simulyatsiya

qiladi. Pastki chegara to'yinmagan zonada yoki er osti suvlarining yuqori qismida joylashgan va mintaqaviy er osti suvlari bilan o'zaro ta'sirini tavsiflaydi.

Tushunchalar, modellashtirish formalizmi SWAP modeli quyidagilarga bog'liq jismoniy jarayonlarni simulyatsiya qiladi: tuproq suv oqimi, tuproq issiqlik oqimi, erigan moddalar oqimi, ekinlarning o'sishi, makropora oqimi va er osti va er usti suv tizimlari bilan o'zaro ta'sir. Ushbu jarayonlarni modellashtirish tushunchalari quyida umumlashtiriladi.

Tuproqdagi suv oqimi: ko'p qirrali Richards tenglamasi to'yinmagan to'yingan zona uchun integral ravishda qo'llaniladi, bunda o'tkinchi va chuqur er osti suvlari sathi mavjud bo'lishi mumkin. Jismoniy asosi tufayli Richards tenglamasi ma'lumotlar bazalaridan tuproqning gidravlik funktsiyalaridan foydalanish va boshqaruvning barcha turlarini simulyatsiya qilish imkonini beradi. Saqlash funksiyasining histerizisini hisobga olish mumkin. Ildiz zonasida turli xil chuqurlikdagi ildiz suvini qazib olish potentsial transpiratsiya, ildiz uzunligi zichligi va nam, quruq yoki sho'rlangan sharoitlar tufayli yuzaga kelishi mumkin bo'lgan qisqarishlar asosida hisoblanadi.

Tuproqning issiqlik oqimi: Tuproq harorati sirt energiya balansiga, tuproqning gidravlik xususiyatlariga, erigan moddalarning parchalanish tezligiga va ildizlarning o'sish tezligiga ta'sir qilishi mumkin. Tuproqning bir o'lchovli issiqlik oqimi va energiyani saqlash tenglamasining kombinatsiyasi tuproq issiqlik oqimining differentsial tenglamasini beradi. Bu tenglamani⁹⁴ analitik yoki sonli yechish mumkin.

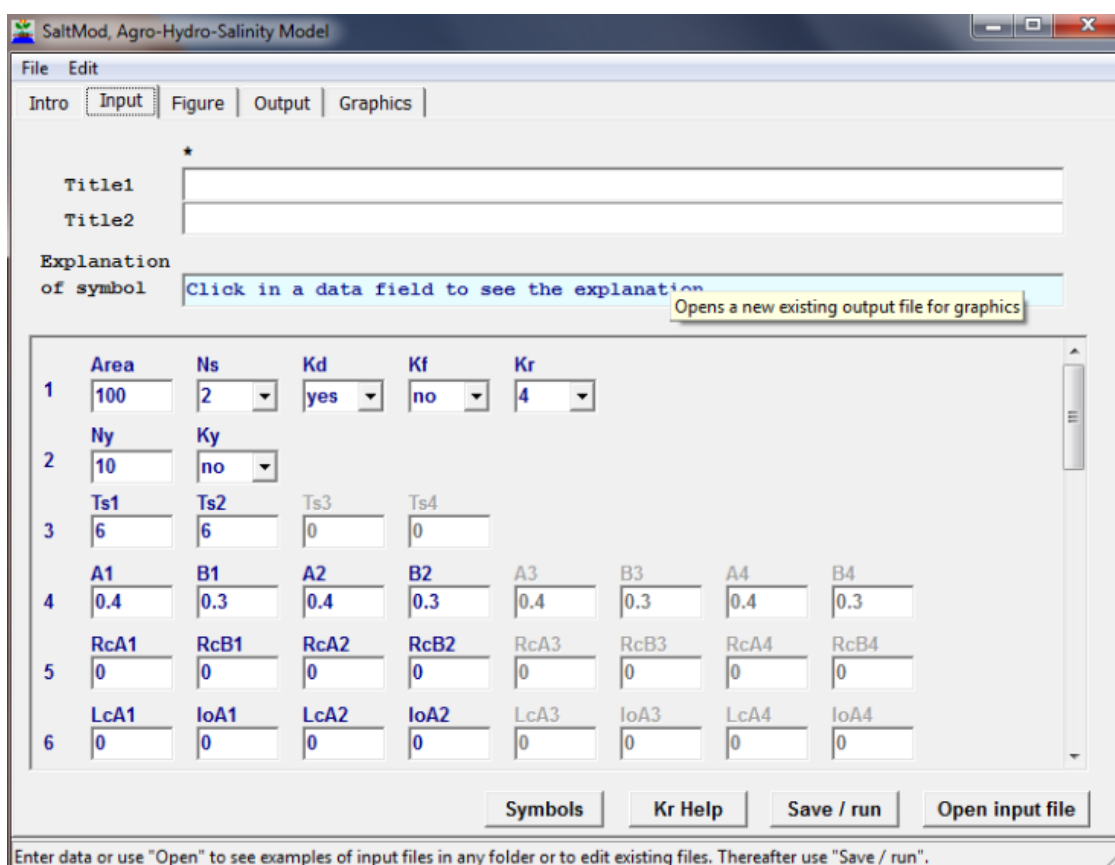
Eritma oqimi: SWAP konveksiya, diffuziya va dispersiyani, chiziqli bo'lmagan adsorbsiyani, birinchi darajali parchalanishni va erigan moddalarning ildiz otishini taqlid qiladi. Bu oddiy pestitsidlar va tuzlarni tashish, shu jumladan sho'rlanishning hosil o'sishiga ta'sirini simulyatsiya qilish imkonini beradi. SWAP aralash suv omborlariga o'xshash to'yingan zonada suvning yashash vaqtini taqlid qilishga qodir. Pestitsidlarni batafsil tashish yoki ozuqa moddalarini yuvishda kundalik suv oqimlari PEARL pestitsid modeli va ANIMO ozuqaviy modeli kabi boshqa transport modellari uchun kirish sifatida yaratilishi mumkin.

Tushunchalar, modellashtirish formalizmi SWAP modeli quyidagilarga bog'liq jismoniy jarayonlarni simulyatsiya qiladi: tuproq suv oqimi, tuproq issiqlik oqimi, erigan moddalar oqimi, ekinlarning o'sishi, makropora oqimi va er osti va er usti suv tizimlari bilan o'zaro ta'sir. Ushbu jarayonlarni modellashtirish tushunchalari quyida umumlashtiriladi. Tuproqdagi suv oqimi: ko'p qirrali Richards tenglamasi to'yinmagan to'yingan zona uchun integral ravishda qo'llaniladi, bunda o'tkinchi va chuqur er osti suvlari sathi mavjud bo'lishi mumkin. Jismoniy asosi tufayli Richards tenglamasi ma'lumotlar bazalaridan tuproqning gidravlik funktsiyalaridan foydalanish va boshqaruvning barcha turlarini simulyatsiya qilish imkonini beradi. Saqlash funksiyasining histerizisini hisobga olish mumkin. Ildiz zonasida turli xil chuqurlikdagi ildiz suvini qazib olish potentsial transpiratsiya, ildiz uzunligi zichligi va nam, quruq yoki sho'rlangan sharoitlar tufayli yuzaga kelishi mumkin bo'lgan qisqarishlar asosida hisoblanadi. Tuproqning issiqlik oqimi: Tuproq harorati sirt energiya balansiga, tuproqning gidravlik xususiyatlariga, erigan moddalarning parchalanish tezligiga va ildizlarning o'sish tezligiga ta'sir qilishi mumkin. Tuproqning bir o'lchovli issiqlik oqimi va energiyani saqlash tenglamasining kombinatsiyasi tuproq issiqlik oqimining differentsial tenglamasini beradi. Bu tenglamani analitik yoki sonli yechish mumkin. Eritma oqimi: SWAP konveksiya, diffuziya va dispersiyani, chiziqli bo'lmagan adsorbsiyani, birinchi darajali parchalanishni va erigan moddalarning ildiz otishini taqlid qiladi. Bu oddiy pestitsidlar va tuzlarni tashish, shu jumladan sho'rlanishning⁹⁵ hosil o'sishiga ta'sirini simulyatsiya qilish imkonini beradi. SWAP aralash suv omborlariga o'xshash to'yingan zonada suvning yashash vaqtini taqlid qilishga qodir. Pestitsidlarni batafsil tashish yoki ozuqa moddalarini yuvishda kundalik suv oqimlari PEARL pestitsid modeli va ANIMO ozuqaviy modeli kabi boshqa transport modellari uchun kirish sifatida yaratilishi mumkin. Ekinlarning o'sishi: Ekinlarning o'sishi WOFOST kodiga asoslangan modul tomonidan simulyatsiya qilinishi mumkin. Ko'rib chiqilayotgan jarayonlarga fenologik rivojlanish tezligi, global radiatsiyani ushlab turish, CO₂ assimilyatsiyasi, barglar, poyalar, saqlash organlari va ildizlarning biomassa to'planishi, barglarning parchalanishi va ildiz kengayishi

kiradi. Assimilyatsiya tezligi ildiz zonasida suv va / yoki sho'rlanish stressiga ta'sir qiladi. Agar ekin o'sishini simulyatsiya qilish kerak bo'lmasa, foydalanuvchi rivojlanish bosqichiga qarab barg maydoni indeksini, ekin balandligi va ildiz otish chuqurligini belgilashi kerak. Makroporozlik oqimi: Makroporozlik tuproqning qisqarishi va yorilishi, o'simlik ildizlari, tuproq faunasi yoki erga ishlov berish natijasida yuzaga kelishi mumkin. SWAPdagi makropore moduli tuproq yuzasidagi makroporalarga infiltratsiyani, makroporalarda chuqur qatlamlarga tez ko'chirishni, tuproq matritsasiga lateral infiltratsiyani va undan chiqib ketishni, makroporalarda suvni saqlashni va drenaj tizimlariga tez drenajni o'z ichiga oladi. Makroporlar asosiy aylanib o'tish sohasiga (uzluksiz, gorizontol o'zaro bog'langan makroporlar tarmog'i) va ichki yig'ish sohasiga (turli chuqurliklarda tugaydigan uzluksiz makroporlar) bo'linadi. Ichki suv to'plash maydoni turli xil, nisbatan sayoz chuqurlikdagi makropora suvining infiltratsiyasini keltirib chiqaradi. Bundan tashqari, makroporlar statik va dinamik hajmlarga bo'linadi. Dinamik hajmlar qisqarish xususiyatlariga bog'liq. Yer usti suv tizimlari: Yer usti suv tizimlariga drenaj yoki undan infiltratsiya 2 o'lchovli drenaj tenglamalari bilan hisoblab chiqiladi, bu drenaj dizaynini baholash imkonini beradi. Foydalanuvchi shuningdek, er osti suvlari darajasining funktsiyasi sifatida drenaj qarshiligini yoki drenaj oqimining jadval qiymatlarini belgilashi mumkin. Yer osti suvlari tizimini turli er usti suv tizimlari va er usti suvlarini boshqarish variantlari bo'lgan subregion miqyosida modellashtirish mumkin. Yer⁹⁶ usti suv tizimlariga oqiziladigan drenaj/er osti suvlari turli yashash vaqtlari bilan taqlid qilinishi mumkin.

5.2.SALTMOD dasturi va suv resurslarini boshqarishdagi ahamiyati

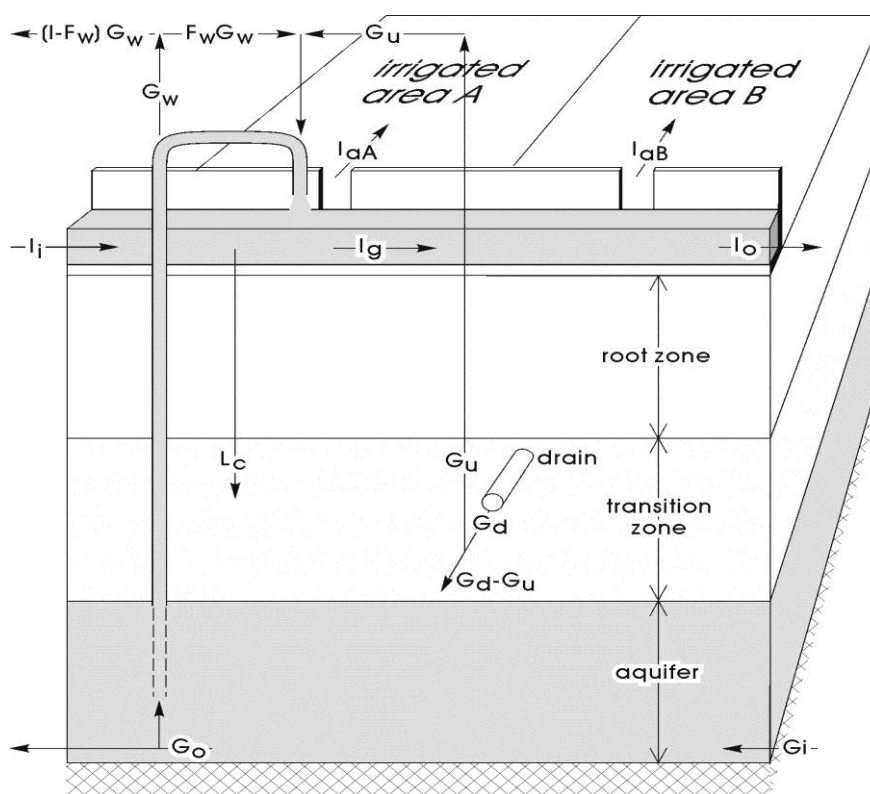
Tuproqda suv va erigan moddalarni tashish uchun mavjud bo'lgan kompyuter modellarining aksariyati (masalan, Swatre, [1] DrainMod [2]) Richardning to'yinmagan tuproqdagi suv harakati uchun differensial tenglamasiga asoslanadi. Modellar tuproqning to'yinmagan namligi, suv tarangligi, gidravlik o'tkazuvchanlik va dispersiya o'rtasidagi bog'liqlik kabi tuproq xususiyatlarini kiritishni talab qiladi. Bu munosabatlar har bir joydan farq qiladi va ularni o'lchash oson emas. Modellar qisqa muddatli qadamlardan foydalanadi va kamida kunlik gidrologik hodisalarning ma'lumotlar bazasiga muhtoj. Umuman olganda, bu juda katta loyihaga namunaviy qo'llashni keng imkoniyatlarga ega bo'lgan mutaxassislar jamoasi ishiga aylantiradi.



5.2-rasm. SahysMod dasturining Kirish yorlig'i varaqining skrinshoti

Hozirda mavjud bo'lgan ko'plab modellarga qaraganda osonroq ishlaydigan va oddiyroq ma'lumotlar tuzilmasini talab qiladigan kompyuter dasturiga ehtiyoj bor. Shu sababli, SaltMod dasturi ixtisoslashgan geogidrologlar o'rniga dala texniklari, muhandislar va loyihani rejalashtiruvchilar tomonidan foydalanishni

osonlashtirish uchun ishlashning nisbatan soddaligini hisobga olgan holda ishlab chiqilgan. U odatda mavjud bo'lgan yoki oqilona aniqlik bilan baholanishi mumkin bo'lgan yoki nisbatan osonlik bilan o'lchanadigan kirish ma'lumotlaridan foydalanishga qaratilgan. Hisob-kitoblar raqamli ravishda amalga oshirilsa va ko'p marta takrorlanishi kerak bo'lsa-da, yakuniy natijalar qo'llanmadagi formulalar yordamida qo'lda tekshirilishi mumkin. SaltMod-ning maqsadi uzoq muddatli gidro-sho'rlanishni umumiy tendentsiyalar nuqtai nazaridan bashorat qilishdir, masalan, vaziyat o'n yildan keyin birinchi aprelda qanday bo'lishini aniq bashorat qilish emas.



5.3-rasm. Saltmodda qo'llaniladigan agro-gidro sho'rlanishni modellashtirish diagrammasi

Hozirda mavjud bo'lgan ko'plab modellarga qaraganda osonroq ishlaydigan va oddiyroq ma'lumotlar tuzilmasini talab qiladigan kompyuter dasturiga ehtiyoj bor. Shu sababli, SaltMod dasturi ixtisoslashgan geogidrologlar o'rniga dala texniklari, muhandislar va loyihani rejalashtiruvchilar tomonidan foydalanishni osonlashtirish uchun ishlashning nisbatan soddaligini hisobga olgan holda ishlab chiqilgan. U odatda mavjud bo'lgan yoki oqilona aniqlik bilan baholanishi mumkin bo'lgan yoki nisbatan osonlik bilan o'lchanadigan kirish ma'lumotlaridan

foydalanishga qaratilgan. Hisob-kitoblar raqamli ravishda amalga oshirilsa va ko'p marta takrorlanishi kerak bo'lsa-da, yakuniy natijalar qo'llanmadagi formulalar yordamida qo'lda tekshirilishi mumkin. SaltMod-ning maqsadi uzoq muddatli gidro-sho'rlanishni umumiy tendentsiyalar nuqtai nazaridan bashorat qilishdir, masalan, vaziyat o'n yildan keyin birinchi aprelda qanday bo'lishini aniq bashorat qilish emas. Bundan tashqari, SaltMod drenaj va quduq suvidan (masalan, sug'orish uchun) qayta foydalanish imkoniyatini beradi va bu fermerlarning botqoqlanishga, tuproq sho'rlanishiga, suv tanqisligiga va suv qatlamidan haddan tashqari pompalanishga munosabatini hisobga olishi mumkin. Shuningdek, u har xil chuqurlikdagi va har xil quvvatga ega er osti drenaj tizimlarini optimallashtirish uchun joriy etish imkoniyatini taklif etadi. Saltmodning boshqa xususiyatlari keyingi bo'limda topilgan.

5.3.Mavsumiy yondashuv

Saltmod hisoblash usuli qishloq xo'jaligi erlarining mavsumiy suv balanslariga asoslangan. Bir yil ichida to'rt faslni ajratish mumkin, masalan. quruq, nam, sovuq, issiq, sug'orish yoki kuzgi mavsumlar. Fasllar soni (N_s) kamida bitta va maksimal to'rt fasl o'rtasida tanlanishi mumkin. Fasllar soni qancha ko'p bo'lsa, kiritish ma'lumotlarining soni shunchalik ko'p bo'ladi. Har bir faslning davomiyligi (T_s) oylar sonida ($0 < T_s < 12$) berilgan. Kundalik suv balansi bir necha sabablarga ko'ra hisobga olinmaydi:

- kundalik ma'lumotlar ko'p ma'lumotni talab qiladi,⁹⁹ ular tayyor bo'lmasligi mumkin;
- Usul, ayniqsa, kunlik emas, balki uzoq muddatli prognoz qilish uchun ishlab chiqilgan bo'lib, tendentsiyalar va kelajak uchun prognozlar kunlik (qisqa muddatli) emas, balki mavsumiy (uzoq muddatda) ko'proq ishonchli tarzda amalga oshiriladi, chunki yuqori o'zgaruvchanlik tufayli. qisqa muddatli ma'lumotlar;
- kelajak uchun bashoratlarning aniqligi hali ham juda yuqori bo'lmasa ham, tendentsiya etarlicha aniq bo'lganda ko'p narsa olinadi; masalan, 20 yildan keyin Saltmod tomonidan bashorat qilingan ma'lum sho'rlanish darajasi

haqiqatda 15 yoki 25 yildan keyin sodir bo'lganda, tuproq sho'rlanishini nazorat qilishning tegishli chora-tadbirlarini ishlab chiqishda asosiy cheklov bo'lishi shart emas.

5.4. Hidrologik ma'lumotlar

Umumiy maydonning ulushi bilan ifodalangan guruhlar ekinlar birikmalaridan yoki faqat bitta turdagi ekinlardan iborat bo'lishi mumkin. Masalan, A tipidagi ekinlar uchun engil sug'oriladigan ekinlarni, B turiga esa shakarqamish va sholi kabi kuchli sug'oriladigan ekinlarni ko'rsatish mumkin. Ammo A ni guruch va B ni shakarqamish yoki daraxtlar va bog'lar sifatida ham olish mumkin. A, B va/yoki U ekinlari turli fasllarda turlicha olinishi mumkin, masalan. Qishda $A = \text{bug'doy} + \text{arpa}$ va yozda $A = \text{makkajo'xori}$, qishda $B = \text{sabzavotlar}$ va yozda $B = \text{paxta}$. Sug'orilmaydigan erlarni ikki usulda ko'rsatish mumkin: (1) $U=1-A-B$ va (2) A va/yoki B nol sug'orish bilan. Kombinatsiya ham amalga oshirilishi mumkin.

Bundan tashqari, umumiy maydon bo'yicha turli xil erlardan foydalanishning mavsumiy aylanishining spetsifikatsiyasi berilishi kerak, masalan. to'liq aylanish, umuman aylanma yoki to'liq bo'lmagan aylanish. Bu aylanish indeksi bilan sodir bo'ladi. Aylanishlar yil ichidagi fasllar bo'yicha olinadi. Yillar davomida aylanishlarni olish uchun yillik kiritish o'zgarishlarini kiritish tavsiya etiladi.

Birinchi mavsumda A_1, B_1 va/yoki U_1 kasr ikkinchi faslda A_2, B_2 va/yoki U_2 fraksiyalaridan farq qilsa, chunki fasllardagi sug'orish¹⁰ rejimlari har xil bo'lsa, dastur ma'lum bir aylanish sodir bo'lganligini aniqlaydi. Bunga yo'l qo'ymaslik uchun barcha fasllarda bir xil kasrlarni ko'rsatish mumkin ($A_2=A_1, B_2=B_1, U_2=U_1$), ammo ekinlar va sug'orish miqdori mutanosib ravishda o'zgartirilishi mumkin.

Dunyoning turli qismlarida almashlab ekish jadvallari juda xilma-xildir. Maydon fraksiyalari, aylanish ko'rsatkichlari, sug'orish miqdori va yillik o'zgarishlarning ijodiy kombinatsiyasi ko'plab qishloq xo'jaligi amaliyotlarini o'z ichiga oladi. Maydon fraksiyalarining o'zgarishi va/yoki aylanish jadvali turli

qishloq xo'jaligi amaliyotlarining suv va tuz balansiga ta'sirini simulyatsiya qilish imkonini beradi.

5.5.Tuproq qatlamlari

Saltmod to'rt xil suv omborini qabul qiladi, ulardan uchta tuproq profilida:

yer usti suv ombori

yuqori (sayoz) tuproq ombori yoki ildiz zonasi

oralik tuproq ombori yoki o'tish zonasi

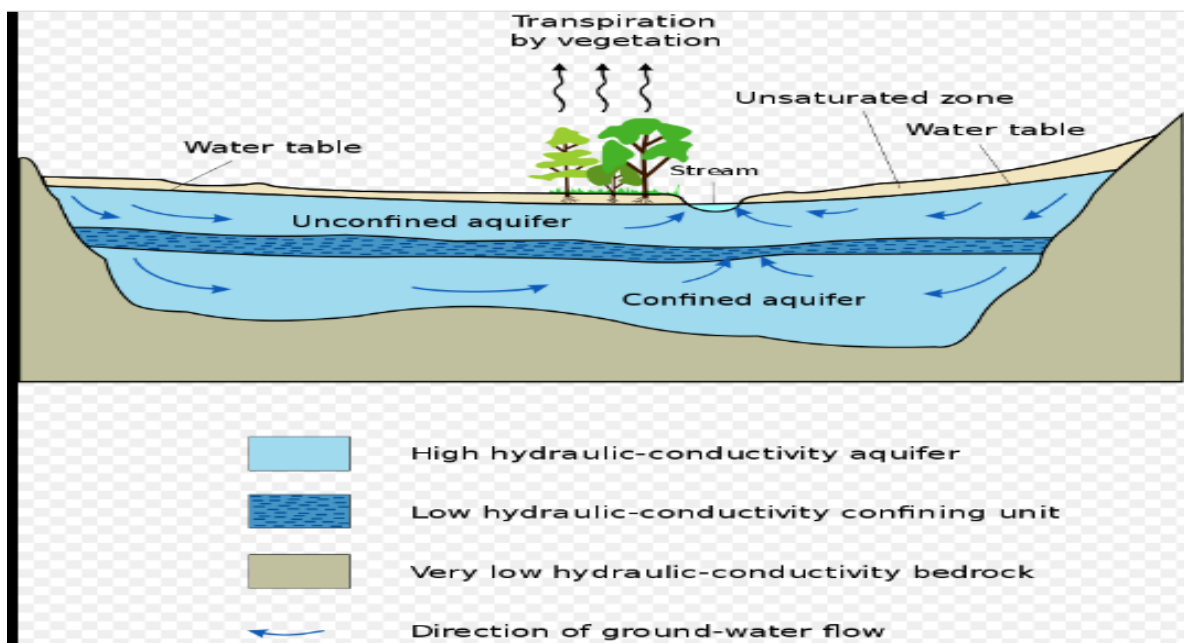
chuqur suv ombori yoki suv qatlami.

Yuqori tuproq suv ombori suv bug'lanishi yoki o'simlik ildizlari tomonidan olinishi mumkin bo'lgan tuproq chuqurligi bilan belgilanadi. U ildiz zonasiga teng bo'lishi mumkin. Ildiz zonasi suv balansiga qarab to'yingan, to'yinmagan yoki qisman to'yingan bo'lishi mumkin. Ushbu zonadagi barcha suv harakati suv balansiga qarab vertikal yoki yuqoriga yoki pastga qarab amalga oshiriladi. (Saltmodning kelajakdagi versiyasida sho'rlanishning vertikal taqsimlanishi tendentsiyasini aniqlash uchun yuqori tuproq suv ombori ikkita teng qismga bo'linishi mumkin.)

O'tish zonasi ham to'yingan, to'yinmagan yoki qisman to'yingan bo'lishi mumkin.

Bu zonadagi barcha oqimlar vertikal bo'lib, er osti drenajlariga oqimdan tashqari.

Gorizontal er osti drenaj tizimi mavjud bo'lsa, bu o'tish zonasiga joylashtirilishi kerak, keyinchalik u ikki qismga bo'linadi: yuqori o'tish zonasi (drenaj darajasidan yuqori) va pastki o'tish zonasi (drenaj darajasidan past). Agar er osti drenaj tizimi mavjud bo'lmasa, o'tish zonasining yuqori va pastki ¹⁰ qismini ajratib olishni xohlasangiz, kirish ma'lumotlarida nol intensivlikdagi drenaj tizimini ko'rsatish mumkin. Suvli qatlam asosan gorizontal oqimga ega. Nasosli quduqlar, agar mavjud bo'lsa, suvni faqat suvli qatlamdan oladi.



5.4-rasm. Suvli qatlam tuproq sho'rlanishida muhim rol o'ynashi mumkin.

5.6.Suv balansi

Suv balanslari har bir suv ombori uchun "Gidrologiya (qishloq xo'jaligi)" maqolasida ko'rsatilganidek, alohida hisoblanadi. Bir rezervuardan chiqadigan ortiqcha suv keyingi suv omboriga keladigan suvga aylanadi.

Uchta tuproq rezervuariga kirish ma'lumotlari sifatida berilishi kerak bo'lgan boshqa qalinlik va saqlash koeffitsientlari tayinlanishi mumkin. Muayyan vaziyatda o'tish zonasi yoki suv qatlami mavjud bo'lishi shart emas. Keyin, unga kamida 0,1 m qalinligi berilishi kerak.

Suv balanslari bo'yicha hisoblangan suv sathining chuqurligi butun maydon uchun bir xil deb hisoblanadi. Agar bu taxmin qabul qilinmasa, maydonni alohida birliklarga bo'lish kerak.

Muayyan sharoitlarda suv sathining balandligi suv balansining tarkibiy qismlariga ta'sir qiladi. Masalan, suv sathining tuproq yuzasiga ko'tarilishi bug'lanishning ko'payishiga, er usti oqimlari va er osti drenajlarining ko'payishiga yoki kanallardan oqib chiquvchi yo'qotishlarning kamayishiga olib kelishi mumkin. Bu, o'z navbatida, suv balansining o'zgarishiga olib keladi, bu esa yana suv sathining balandligiga ta'sir qiladi va hokazo.

Ushbu reaksiyalar zanjiri Saltmod kompyuter dasturiga aylantirilishining sabablaridan biridir. Suv balansining to'g'ri muvozanatini topish uchun bir qancha

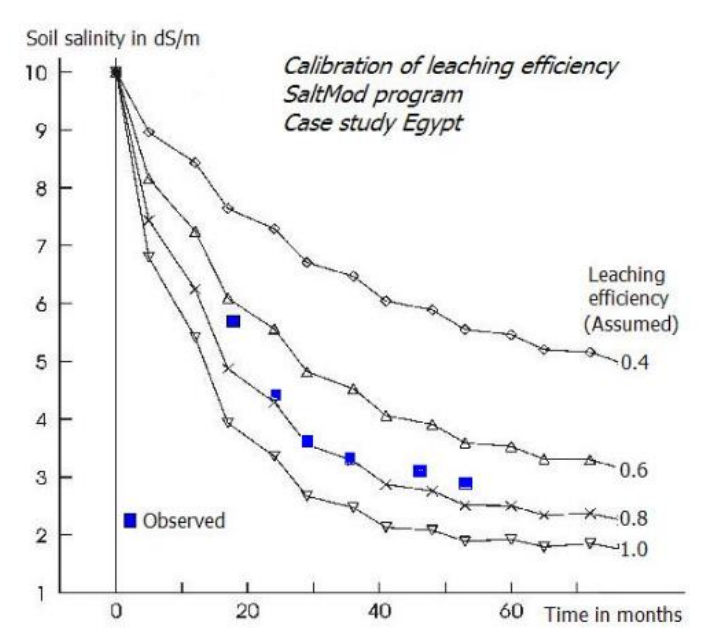
takroriy hisob-kitoblar (iteratsiyalar) kerak bo'ladi, agar qo'lda bajarilsa, zerikarli ish bo'ladi. Boshqa sabablarga ko'ra, kompyuter dasturi uzoq vaqt davomida suvni boshqarishning turli xil variantlari (ularning uzoq muddatli ta'sirini taqlid qilish maqsadida) va turli parametrlarga ega bo'lgan sinov sinovlari uchun hisob-kitoblarni osonlashtiradi.

5.7. Tuz balans

Tuz balanslari har bir suv ombori uchun alohida hisoblanadi. Ular kiruvchi va chiquvchi suvning tuz konsentratsiyasidan foydalangan holda suv balanslariga asoslanadi. Ba'zi konsentratsiyalar kirish ma'lumotlari sifatida ko'rsatilishi kerak, masalan, turli tuproq havzalaridagi suvning dastlabki tuz konsentratsiyasi, sug'orish suvi va suvli qatlamga kiruvchi er osti suvlari. Konsentratsiyalar elektr o'tkazuvchanligi (EC dS/m) bilan ifodalanadi. Konsentratsiyalar g tuz/l suvda ma'lum bo'lganda, asosiy qoidadan foydalanish mumkin: 1 g/L -> 1,7 dS/m. Odatda, tuproqning tuz konsentratsiyasi E_{Ce}, to'yingan tuproq pastasi (to'yingan ekstrakt) ekstraktining elektr o'tkazuvchanligi bilan ifodalanadi. Saltmodda tuz konsentratsiyasi dala sharoitida to'yingan holda tuproq namligining EK sifatida ifodalanadi. Qoida tariqasida, EC konvertatsiya tezligidan foydalanish mumkin: E_{Ce} = 2: 1. Chiqib ketayotgan suvning tuz konsentratsiyasi (bir rezervuardan ikkinchisiga yoki er osti drenaji orqali) kirish ma'lumotlari bilan berilgan turli xil yuvish yoki tuz aralash tirish samaradorligidan foydalangan holda tuz balanslari asosida hisoblanadi. Turli xil yuvish samaradorligining¹⁰ ta'siri ularning kirish qiymatini o'zgartirish orqali simulyatsiya qilinishi mumkin.

Agar sug'orish uchun drenaj yoki quduq suvi ishlatilsa, bu usul aralash sug'orish suvining vaqt davomida tuz konsentratsiyasini va keyinchalik tuproq va er osti suvlari sho'rlanishiga ta'sirini hisoblab chiqadi, bu esa drenaj va quduqning tuz konsentratsiyasiga yana ta'sir qiladi. suv. Ishlatilgan drenaj yoki quduq suvining ulushini o'zgartirish orqali (kirish ma'lumotlarida ko'rsatilgan), turli fraktsiyalarning uzoq muddatli ta'sirini simulyatsiya qilish mumkin. Qattiq tuproq minerallarining erishi yoki yomon eriydigan tuzlarning kimyoviy yog'inlari hisoblash usuliga kiritilmaydi, lekin ma'lum darajada uni kirish ma'lumotlari orqali

hisobga olish mumkin, masalan. sug'orish suvi yoki suvli qatlamga kiruvchi suvning tuz konsentratsiyasini oshirish yoki kamaytirish orqali.



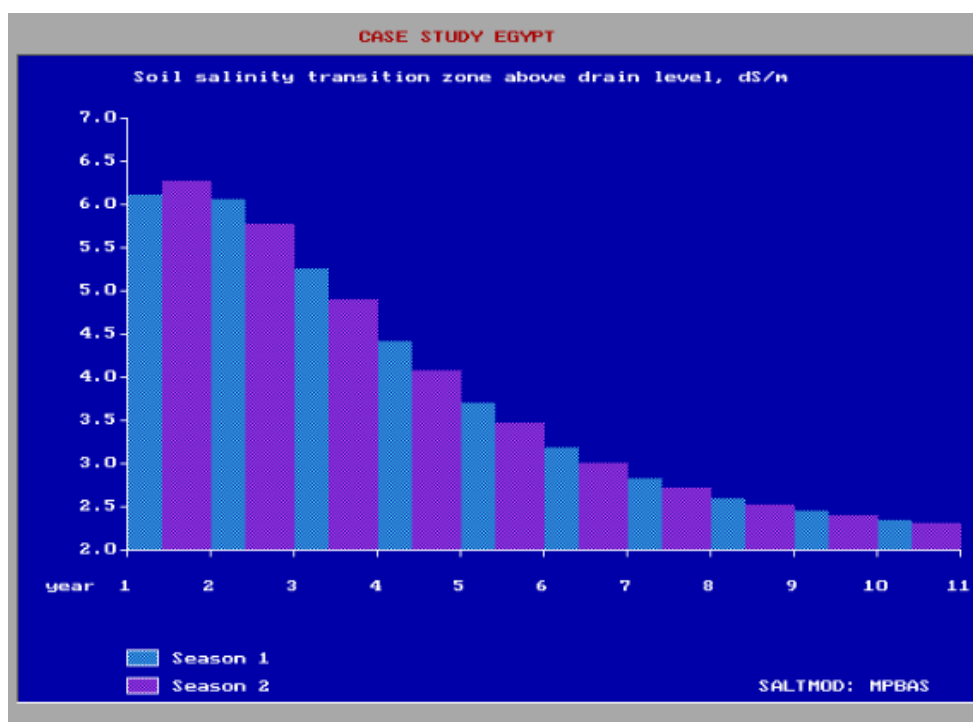
5.5.-rasm. Tuproqdan tuzlarni kalibrlash yuvish

5.8.Yillik kirish o'zgarishlari

Dastur foydalanuvchi tomonidan belgilangan yillar soni uchun qattiq kirish ma'lumotlari bilan ishlashi mumkin. Ushbu parametr uzoq muddatli o'rtacha kirish qiymatlari asosida kelajakdagi o'zgarishlarni bashorat qilish uchun ishlatilishi mumkin, masalan. yog'ingarchilik, chunki yil sayin kirish ma'lumotlarining kelajakdagi qiymatlarini baholash qiyin bo'ladi. Dastur shuningdek, har yili o'zgarib turadigan kirish qiymatlari (masalan, yog'ingarchilik, sug'orish, qishloq xo'jaligi amaliyotlari) bilan tarixiy yozuvlarni kuzatish imkoniyatini taklif qiladi, hisob-kitoblar yildan-yilga amalga oshirilishi kerak. Agar bu imkoniyat tanlansa, dastur o'tgan yilning yakuniy shartlari (masalan, suv sathi va sho'rlanish) keyingi davr uchun dastlabki shartlar sifatida avtomatik ravishda foydalaniladigan uzatish fayllarini yaratadi. Ushbu ob'ekt yomg'irning ma'lum ehtimoli taqsimotidan tasodifiy ravishda olingan turli xil hosil bo'lgan yog'ingarchilik ketma-ketliklaridan foydalanish va natijada olingan chiqish parametrlarining stokastik prognozini olish imkonini beradi. Agar hisob-kitoblar yillik o'zgarishlar bilan amalga oshirilsa, barcha kirish parametrlarini, xususan, tuproq omborlarining qalinligi va ularning umumiy g'ovakligini o'zgartirish mumkin emas, chunki bu suv va tuz balansining

mantiqsiz o'zgarishiga olib keladi. Saltmodning chiqishi, kiritilgan ma'lumotlarda ko'rsatilganidek, har qanday yil davomida istalgan yilning har bir fasli uchun beriladi. Chiqarish ma'lumotlari gidrologik va sho'rlanish jihatlarini o'z ichiga oladi.

Ma'lumotlar jadvallar shaklida taqdim etiladi, ularni to'g'ridan-to'g'ri tekshirish yoki elektron jadval dasturlari yordamida tahlil qilish mumkin. Dastur turli xil kirish ma'lumotlari, natijada natijalar va vaqt o'rtasida ko'plab munosabatlarni rivojlantirish imkoniyatini beradi. Biroq, amalga oshirilishi mumkin bo'lgan barcha turli xil foydalanishni oldindan aytib bo'lmaydi, chunki dastur faqat cheklangan miqdordagi standart grafiklarni taklif qiladi. Dastur batafsil chiqish tahlili uchun elektron jadval dasturlarini qo'llash uchun mo'ljallangan bo'lib, unda foydalanuvchi tomonidan ishlab chiqilgan stsenariy bo'yicha turli xil kirish va chiqish o'zgaruvchilari o'rtasidagi munosabatlar o'rnatilishi mumkin. Hisoblashlar ko'p takrorlashni talab qilsa-da, barcha yakuniy natijalar qo'llanmada keltirilgan tenglamalar yordamida qo'lda tekshirilishi mumkin.



5.6-rasm. Melioratsiya uchun yuvishda chuqurroq er ostidagi tuproq sho'rlanishi

	MUNDARIJA	bet
	KIRISH	3
I-BOB.	SUG‘ORISH TARTIBLARINI ZAMONAVIY KOMPYUTER TEXNOLOGIYALARIGA ASOSLANGAN FAO USLUBIYOTI –CROPWAT DASTURIGA BINOAN ISHLAB CHIQUISH	5
1.1	Sug‘orish tartiblari bo‘yicha tushuncha	5
1.2	Iqlim ma‘lumotlarini yig‘ish tartibi	7
1.3	Xududning joylashgan joyi va dengiz satxidan balandligi.	15
1.4	Meteorologik ma‘lumotlar	15
1.5	Xavo xarorati va xavoning nisbiy namligi	16
1.6	Quyosh radiatsiya va shamol tezligi	17
II-BOB	FAO PENMAN-MONTEITH TENGLAMASI ASOSIDA EVAPOTRANSPIRATSIIYA XISOBI.	20
2.1	Penman-Monteith tenglamasi	22
2.2	Atmosfera bosimi	25
2.3	Psixrometrik turg‘unlik (konstanta)	25
2.4	Xavo xarorati	26
2.5	Bug‘lanishni hisoblashda qo‘llaniladigan jismoniy parametrlar bo‘yicha dastlabki ma‘lumotlar	41
III-BOB.	AQUA CROP EKIN MODELINING QISQACHA TAVSIF	47
3.1	Modelning tuzilishi va imkoniyatlari	49
3.2	Simulyatsiyalash bosqichlari	53
IV-BOB.	MODELGA KIRITILADIGAN MA‘LUMOTLAR	64
4.1	Ob-havo ma‘lumoti	66
4.2	Ekin ma‘lumoti	69
4.3	Sug‘orish ma‘lumoti	81
4.4	Dala maydoni ma‘lumoti	10 82
4.4.1	Tuproq tavsifi	82
4.5	Simulyatsiya jarayonlari	84
V-BOB.	TUPROQ-SUV-ATMOSFERA-O‘SIMLIK (SWAP) MODEL:	90
5.1	SWAP modeli domeni jarayonlari.	91
5.2	SALTMOD dasturi va suv resurslarini boshqarishdagi ahamiyati.	98
5.3	Mavsumiy yondashuv	99
5.4	Gidrologik ma‘lumotlar	100
5.5	Tuproq qatlamlari	101
5.6	Suv balansi	102
5.7	Tuz balansi	103
5.8	Yillik kirish o‘zgarishlari	104

ОГЛАВЛЕНИЕ		
	ВВЕДЕНИЕ	3
ГЛАВА I	РАЗВИТИЕ ОРОСИТЕЛЬНЫХ СИСТЕМ НА ОСНОВЕ СОВРЕМЕННЫХ КОМПЬЮТЕРНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ ПО МЕТОДУ ФАО – ПРОГРАММА CROPWAT.	5
1.1	Понимание процедур орошения	5
1.2	Процедура сбора климатических данных	7
1.3	Расположение и высота участка.	15
1.4	Метеорологические данные	15
1.5	Температура воздуха и относительная влажность	16
1.6	Солнечная радиация и скорость ветра	17
ГЛАВА II	РАСЧЕТ ЭВАПОТРАНСПИРАЦИИ НА ОСНОВЕ УРАВНЕНИЯ ФАО ПЕНМАНА-МОНТЕЙТА.	20
2.1	Уравнение Пенмана-Монтейта	22
2.2	Атмосферное давление	25
2.3	Психрометрическая стабильность (постоянная)	25
2.4	Температура воздуха	26
2.5	Физический, используемый при расчете испарения исходная информация о параметрах	41
ГЛАВА III.	КРАТКОЕ ОПИСАНИЕ МОДЕЛИ AQUA CROP CROP	47
3.1	Структура и возможности модели	49
3.2	Этапы моделирования	53
ГЛАВА IV	ИНФОРМАЦИЯ, ВКЛЮЧЕННАЯ В МОДЕЛЬ	64
4.1	Информация о погоде	66
4.2	Информация о культуре	69
4.3	Информация о поливе	81
4.4	Информация о поле	82
4.4.1	Описание почвы	82
4.5	ПРОЦЕССЫ МОДЕЛИРОВАНИЯ	84
ГЛАВА V	МОДЕЛЬ ПОЧВА-ВОДА-АТМОСФЕРА-РАСТИТЕЛЬНОСТЬ 10	90
5.1	Процессы предметной области модели SWAP.	91
5.2	Программа SALTMOD и ее значение в управлении водными ресурсами.	98
5.3	Сезонный подход	99
5.4	Гидрологические данные	100
5.5	Слои почвы	101
5.6	Водный баланс	102
5.7	Солевой баланс	103
5.8	Ежегодные изменения в приеме	104

	TABLE OF CONTENTS	PAGE
	INTRODUCTION	3
CHAPTER I	DEVELOPMENT OF IRRIGATION SYSTEMS BASED ON MODERN COMPUTER TECHNOLOGIES ACCORDING TO FAO METHOD - CROPWAT PROGRAM.	5
1.1	Understanding of irrigation procedures	5
1.2	Procedure for collecting climate data	7
1.3	Location and altitude of the site.	15
1.4	Meteorological data	15
1.5	Air temperature and relative humidity	16
1.6	Solar radiation and wind speed	17
CHAPTER II	EVAPOTRANSPIRATION CALCULATION BASED ON THE FAO PENMAN-MONTEITH EQUATION.	20
2.1	Penman-Monteith equation	22
2.2	Atmospheric pressure	25
2.3	Psychrometric stability (constant)	25
2.4	Air temperature	26
2.5	Physical used in the calculation of evaporation initial information on parameters	41
CHAPTER III	BRIEF DESCRIPTION OF THE AQUA CROP CROP MODEL	47
3.1	STRUCTURE AND CAPABILITIES OF THE MODEL	49
3.2	SIMULATION STEPS	53
CHAPTER IV	INFORMATION TO BE INCLUDED IN THE MODEL	64
4.1	Weather information	66
4.2	Crop information	69
4.3	Watering information	10 81
4.4	Field information	82
4.4.1	Soil description	82
4.5	SIMULATION PROCESSES	84
CHAPTER V.	SOIL-WATER-ATMOSE-VEGETATION (SWAP) MODEL:	92
5.1	SWAP model domain processes.	92
5.2	SALTMOD program and its importance in water resources management.	99
5.3	A seasonal approach	
5.4	Hydrological data	102
5.5	Soil layers	103
5.6	Water balance	
5.7	Salt balance	106
5.8	Annual admission changes	
