1. مقدمه

1-1 کشاورزی دقیق

کشاورزی دقیق به استفاده از فناوری‌های پیشرفته برای مدیریت و بهینه‌سازی فعالیت‌های کشاورزی اشاره دارد. این فناوری‌ها شامل سیستم‌های آبیاری پیشرفته، سنجش و کنترل از راه دور پارامترهای محیط، و تحلیل داده‌های کشاورزی هستند، که به کشاورزان کمک می‌کنند تا منابع را به بهترین شکل مدیریت کرده و تولید را بهبود ببخشند.

1-2 مزایای کشاورزی دقیق

- ✓ کاهش مصرف آب
- ✓ افزایش بهره‌وری محصول
- ✓ جمع‌آوری داده‌های واقعی و اطلاعات مفید
- ✓ کاهش هزینه‌های عملیاتی
- ✓ بهبود کیفیت محصول
- ✓ ارزیابی دقیق زمین‌های کشاورزی
- ✓ نظارت و کنترل از راه دور
- ✓ کمک به تصمیم‌گیری آگاهانه، کاهش وابستگی به نیروی انسانی

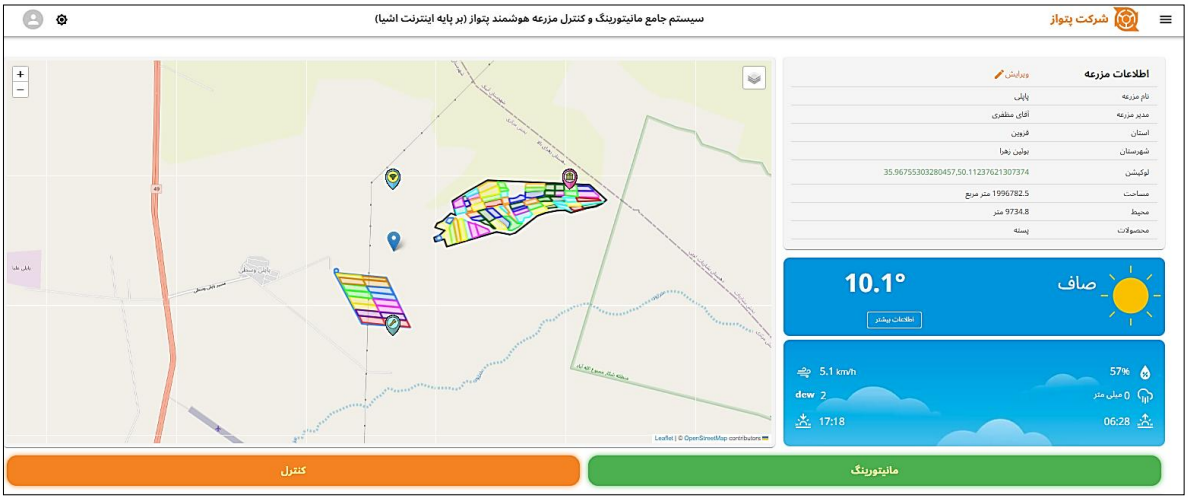
2. اجزای اصلی کشاورزی دقیق با رویکرد آبیاری و نهاده

2-1 کنترلر مرکزی (کنترلر هوشمند)

سخت افزار مرکز نمایش، کنترل و مرجع تصمیم‌گیری کلیه پارامترهای مزرعه می‌باشد. این سخت‌افزار با تمام اجزای کشاورزی دقیق از جمله اینورتر، ماژول‌های کنترل از راه دور، حسگرها، نرم-افزار، سیستم فیلتراسیون و ماشین‌های تزریق کود به صورت بیسیم یا با سیم ارتباط دارد. تنظیم زمان و میزان آبیاری را بر اساس داده‌های مختلف دریافتی از حسگرها را بر عهده دارد. کنترلرها معمولاً از طریق اپلیکیشن موبایل یا کامپیوتر نیز کنترل می‌شوند.

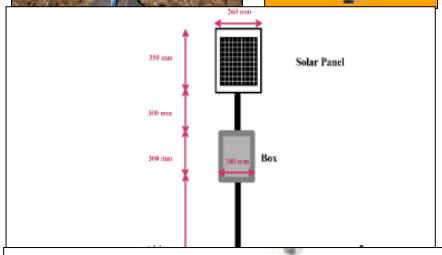
2-2 نرم‌افزارهای مدیریتی

وب اپلیکیشن جامع مانیتورینگ و کنترل امکان تنظیم و نظارت بر برنامه‌های آبیاری را فراهم می‌کند و از طریق پنل وب قابل دسترسی است. شرکت پتواز با در اختیار داشتن دانش برنامه‌نویسی اپلیکیشن تحت وب برای این منظور ایجاد نموده است تا امکان نظارت بر کنترلرها از راه دور، تنها با تلفن همراه وجود داشته باشد. دسترسی به این نسخه تحت وب از طریق آدرس Patvaz.net امکان‌پذیر می‌باشد. از طریق این وب اپلیکیشن می‌توان در هر زمان برنامه آبیاری و شیفت‌بندی‌ها را حتی از راه دور تغییر داد.



2-3 ماژول‌های IOT

ماژول‌های اینترنت اشیاء سخت افزار مخابراتی بین سنسورها و عملگرها (شیرهای برقی) می-باشند و ارتباط با دستگاه کنترلر مرکزی را به صورت بی‌سیم با شبکه محلی LoRa یا GSM به منظور ارسال اطلاعات سنسورها بر قرار می‌کند و تأمین انرژی لازم برای شیر برقی‌ها را نیز فراهم می‌آورد. وجود این سخت‌افزار امکان آبیاری هر بخش از مزرعه را در هر زمان مطابق برنامه‌ریزی از پیش تعیین شده امکان‌پذیر می‌نماید و ضمن ایجاد دقت در آبیاری موجب کاهش نیروی انسانی نیز می‌گردد.



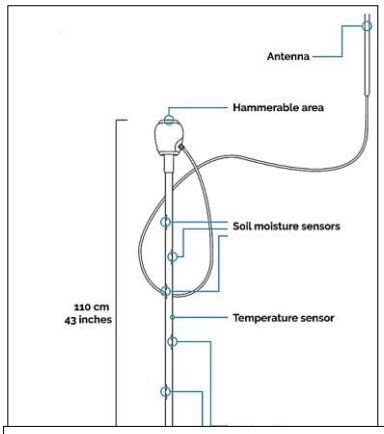
2-4 شیر برقی

این شیرها انرژی لازم برای باز و بسته شدن دیافراگم لاستیکی را از فشار شبکه تامین می‌نمایند و با یک پالس کوچک الکتریکی مسیر آب را از حالت باز به بسته و بالعکس تغییر می‌دهند.

ویژگی‌ها:

- ✓ عملکرد و نگهداری آسان با ساختار ساده
- ✓ کاهش هزینه‌ها
- ✓ قابلیت عملکرد در محدوده گسترده فشار
- ✓ کنترل و تنظیم دقیق حتی در دبی‌های پایین
- ✓ دیافراگم انعطاف‌پذیر برای باز و بسته شدن بدون ضربه
- ✓ طول عمر مفید زیاد به دلیل عدم وجود یاتاقان، بوش و شفت در بدنه شیر
- ✓ آب‌بندی کامل با دیافراگم تقویت شده و فنر داخلی
- ✓ قابلیت کنترل گسترده با انواع شیرهای پایلوت مختلف
- ✓ امکان عملکرد در موقعیت‌های افقی و عمودی در محیطهای کاربردی
- ✓ دسترسی به برندهای مختلف ایرانی، اروپایی و ترک

2-5 حسگرها



2-5-1 حسگر رطوبت خاک (TDR و بلوک گچی): میزان رطوبت خاک را اندازه‌گیری می‌کند و به کنترلر اطلاعات لازم برای شروع یا توقف آبیاری می‌دهد.

2-5-2 حسگرهای آب و هوا (سیستم هواشناسی): اطلاعات مربوط به دما، بارندگی، باد و تابش خورشید را جمع‌آوری کرده و به کنترلر ارسال می‌کنند.

2-5-3 سنسور آب: این سنسورها به اندازه‌گیری PH و EC آب برای آبیاری هدفمند و درست می‌پردازند. چرا که آب مناسب ارتباط مستقیم با کیفیت محصولات دارد.

7-4 سنسورهای گیاه (دندرومتر): این سنسورها به عنوان حسگرهای جابجایی با دقت بالا عمل می‌کنند و از طریق آن‌ها می‌توان انبساط و انقباض تنه یا ساقه را اندازه‌گیری کرد. این سنسورها برای پیگیری رشد صحیح ساقه بسیار مفید هستند و با بررسی دامنه نوسانات، به طور فوری میزان تنش آبی را که به گیاه وارد می‌شود نشان می‌دهند.

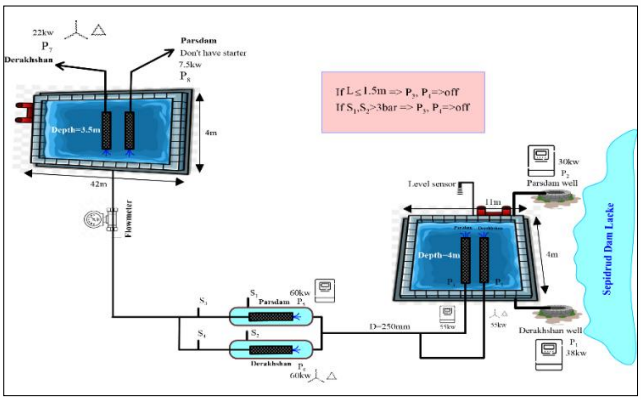
ماژول‌های IOT اطلاعات این سنسورها را به دستگاه کنترلر مرکزی ارسال می‌کند.

2-6 اینورتر (VFD)

موجب راه اندازی موتور به صورت نرم و هموار، تا رسیدن به جریان و دور نامی می‌گردد. امکان کنترل سرعت و دبی را به صورت دستی و خودکار، دارد. به عبارت دیگر به تناسب نیاز آبیاری هر شیفت، از طریق دستگاه کنترل مرکزی، دبی لازم برای آن شیفت را با کنترل دور موتور تأمین می‌کند. محافظت کامل از موتور در کل طول کارکرد انجام می‌دهد. با کنترل کامل گشتاور، ولتاژ و سرعت باعث افزایش طول عمر تجهیزات و کاهش هزینه‌های نگهداری موتور و کلیه متعلقات می‌گردد. اینورترها از دستگاه کنترل مرکزی به صورت با سیم فرمان می‌گیرند. همچنین دارای ماژول IOT می‌باشد و قابلیت کنترل عملکرد چاه و مانتور چاه‌ها را نیز دارد. یکی دیگر از مزایای اینورترها حذف و کنترل ماسه-دهی چاه‌های آبی می‌باشد.

2-7 سیستم اسکادا: سامانه سرپرستی و گردآوری داده یا اسکادا (SCADA: Supervisory Control And Data Acquisition) یک سیستم کنترلی است که از رایانه‌ها، ارتباط داده شبکه‌ای و رابط کاربری گرافیکی استفاده می‌کند تا فرآیندهای نظارتی را مدیریت کند، اما برای ارتباط برقرار کردن با ماشین‌آلات از دیگر وسایل جانبی از قبیل پی‌ال‌سی یا کنترل‌کننده‌های پی‌آی‌دی گسسته استفاده می‌نماید. در بحث کشاورزی سیستم اسکادا به سیستم پمپاژ و مخازن اطلاق می‌شود از سیستم اسکادا برای مانتیورینگ، حفاظت، هوشمندسازی منطقه‌ای، هوشمندسازی جامع، آلارمینگ، اوپراتوری، راهبری و مدیریت شبکه آبرسانی استفاده می‌شود.

از آنجایی که ثابت نگه داشتن سطح مخزن، خاموش و روشن شدن به موقع پمپ و در دست داشتن اطلاعات مربوط به مخزن از جمله حجم آن از موارد حائز اهمیت در سیستم پمپاژ است، لذا به کارگیری اسکادا به ارتباط بین چاه، پمپ، مخزن و پمپاژ ثانویه کمک شایانی خواهد کرد.



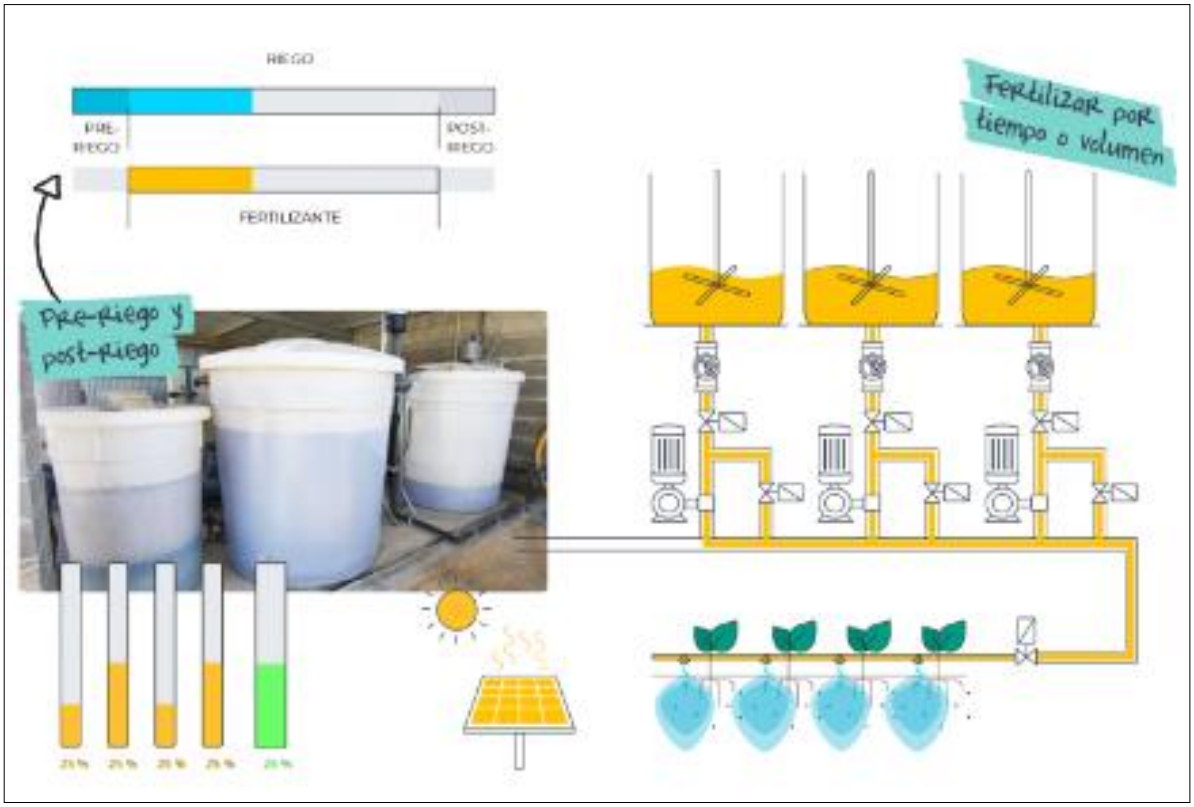
2-8 سیستم فیلتراسیون

وظیفه حذف ذرات معلق و ناخالصی‌های موجود در آب را دارد تا از انسداد نازل‌ها و آسیب به پمپ‌ها جلوگیری شود. فیلترها به حفظ عملکرد بهینه سیستم کمک می‌کنند. سیستم فیلتراسیون در سامانه آبیاری یک افت فشار ایجاد می‌کند، اما زمانی که گرفتگی در این سیستم صورت گیرد این افت فشار بیشتر شده و هنگامی که اختلاف فشار از یک محدوده‌ای بیشتر گردد، در صورت وجود شیر برقی و ماژول IOT در سیستم فیلتراسیون بک واش برای از بین بردن گرفتگی‌ها به صورت خودکار و هوشمند انجام خواهد شد. همچنین اگر اینورتر نیز وجود داشته باشد با فشار بالاتری که برای انجام بک واش نیاز است، این اقدام انجام خواهد گرفت. کنترلر مرکزی با این سیستم به صورت با سیم ارتباط دارد.

2-9 ماشین های تزریق کود

به دلیل اینکه یک سوم هزینه‌های کشاورزی به تأمین کود و نهاده‌ها اختصاص می‌یابد، این موضوع به عنوان یکی از مهم‌ترین عوامل در بهبود عملکرد و بهره‌وری در کشاورزی مطرح است. ماشین‌های تزریق کود به طور گسترده‌ای در فرآیند کوددهی و کشاورزی دقیق به کار می‌روند و قابلیت دستیابی به آبیاری و کوددهی دقیق را فراهم می‌کنند. این سیستم‌ها می‌توانند به طور مؤثری در مصرف آب، کود و نیروی کار صرفه‌جویی کنند و به افزایش عملکرد محصولات کمک نمایند.

در این سیستم‌ها، هر مخزن مربوط به نوع خاصی از کود می‌باشد که مجهز به یک شیربرقی و کنتور بوده تا میزان دقیق کود مورد نیاز برای هر شیفت آبیاری را اندازه‌گیری و مخلوط نماید. به زبان ساده یا در اختیار داشتن ماشین تزریق کود و سیستم کنترل مرکزی به شکل دقیقی می‌توان ترکیب مناسب نهاده هر قطعه را از قبل برنامه‌ریزی کرد تا در هنگام آبیاری و باز شدن شیر مربوط به هر زون، ترکیب لازم برای آن، توسط ماشین تزریق به خط انتقال تزریق گردد و برای زون‌های دیگر از ترکیب متفاوت و مختص به خود استفاده شود. اهمیت این تجهیز مصرف دقیق نهاده مطابق با نیاز هر قطعه زراعی یا باغی می‌باشد و صرفه‌جویی زیادی در مصرف نهاده‌ها و بهره‌وری نیز دارد.



2-10 فرآیند طراحی سیستم‌های آبیاری با نرم‌افزار IrriMaker

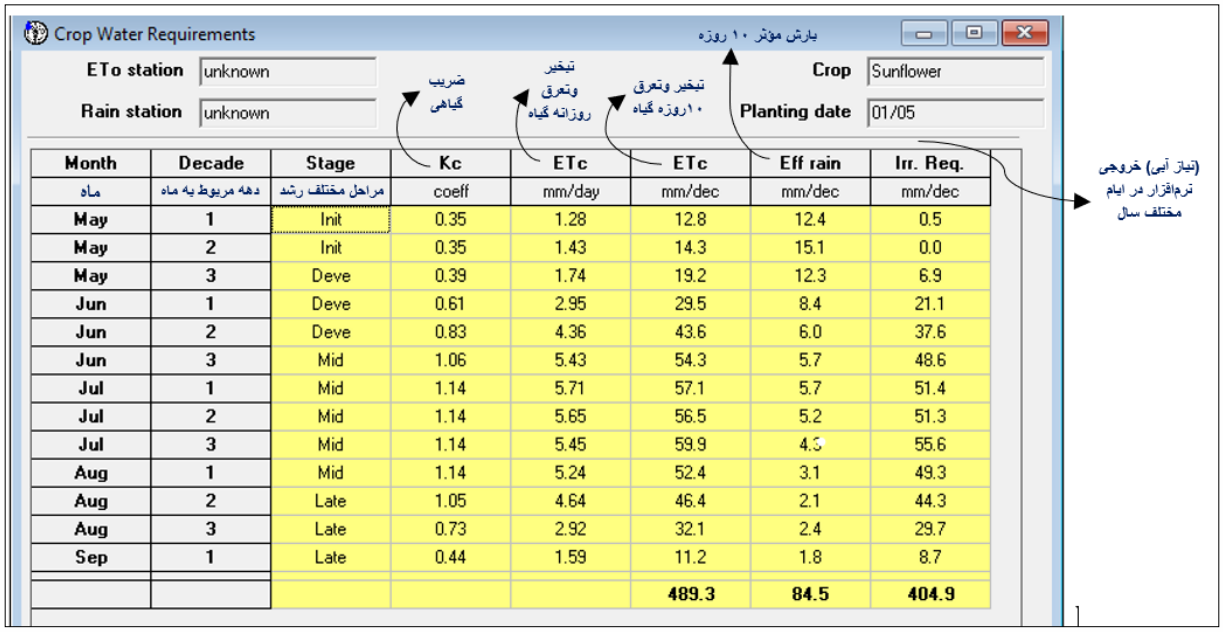
برای انجام طراحی سیستم های آبیاری هوشمند از نرم افزار IrriMaker استفاده می شود. این نرم افزار که به‌طور ویژه برای آبیاری دقیق مورد استفاده قرار می‌گیرد، قادر به ارائه بهترین شیفت‌بندی آبیاری، بهیمه‌سازی قطر لوله‌های مورد استفاده و ارائه گزارشی از میزان متریال به کاربرده شده برای طراحی مزارع است. هدف از طراحی سیستم با این نرم‌افزار، ارائه شیفت‌بندی منحصر به فردی است که ضمن تطابق با زیرساخت‌های سخت‌افزاری نظیرچاه‌ها، مخازن و پمپ‌ها، امکان پیاده‌سازی روش‌های نوین آبیاری مانند آبیاری پالسی، آبیاری قطره‌ای زیرسطحی و ... را فراهم نماید.

10-1 جمع‌آوری و طبقه‌بندی داده‌های اقلیمی

در این بخش اطلاعات اقلیمی منطقه از نزدیک‌ترین ایستگاه سینوپتیک به مزرعه برای 30 سال، از سازمان هواشناسی دریافت می‌شود. این داده‌ها شامل حداقل دمای ماهیانه، حداکثر دمای ماهیانه، رطوبت نسبی، سرعت باد، ساعت آفتابی و بارش می‌باشد. سپس داده‌ها دسته‌بندی می‌شوند تا به عنوان ورودی به نرم‌افزار Cropwat از آنها استفاده گردد.

10-2 تعیین نیاز آبی گیاه با استفاده از نرم‌افزار Cropwat و مبانی طراحی سیستم آبیاری تحت فشار

نیاز آبی گیاهان به طور دقیق با استفاده از داده‌های اقلیمی منطقه مورد مطالعه با نرم‌افزار Cropwat محاسبه می‌شود. علاوه بر داده‌های اقلیمی اطلاعات مربوط به گیاه و خاک نیز به عنوان ورودی برای ارائه برنامه آبیاری ضروری است. در صورت در دست نداشتن اطلاعات گیاه از مطالعات صورت گرفته در آن منطقه و یا داده‌های منتشر شده تسط سازمان خواروبار جهانی (FAO) استفاده می‌شود. در نهایت نیازآبی گیاه در ایام مختلف سال براساس داده‌های اقلیمی مطابق شکل زیر مشخص می‌شود.



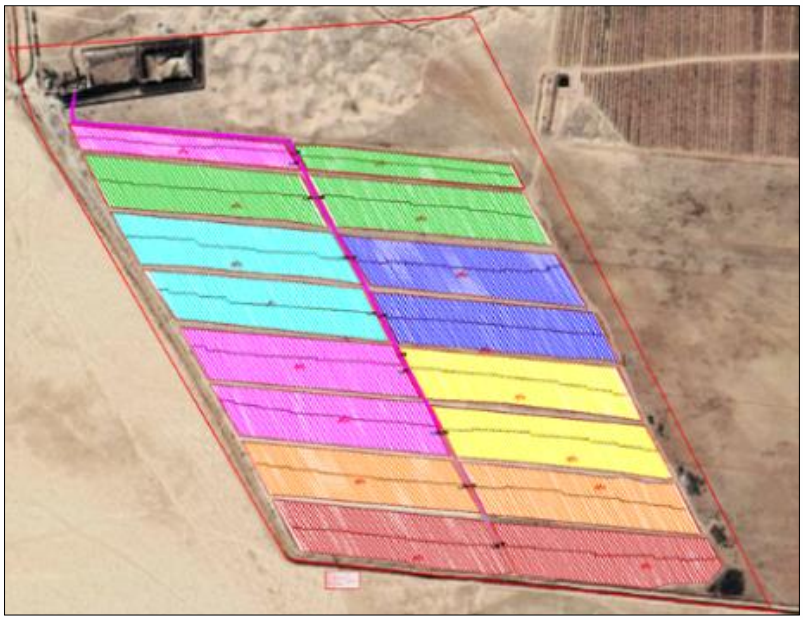
Month	Decade	Stage	Kc	ETc	ETc	Eff rain	Irr. Req.
ماه	دهه مربوط به ماه	مراحل مختلف رشد	coeff	mm/day	mm/dec	mm/dec	mm/dec
May	1	Init	0.35	1.28	12.8	12.4	0.5
May	2	Init	0.35	1.43	14.3	15.1	0.0
May	3	Deve	0.39	1.74	19.2	12.3	6.9
Jun	1	Deve	0.61	2.95	29.5	8.4	21.1
Jun	2	Deve	0.83	4.36	43.6	6.0	37.6
Jun	3	Mid	1.06	5.43	54.3	5.7	48.6
Jul	1	Mid	1.14	5.71	57.1	5.7	51.4
Jul	2	Mid	1.14	5.65	56.5	5.2	51.3
Jul	3	Mid	1.14	5.45	59.9	4.3	55.6
Aug	1	Mid	1.14	5.24	52.4	3.1	49.3
Aug	2	Late	1.05	4.64	46.4	2.1	44.3
Aug	3	Late	0.73	2.92	32.1	2.4	29.7
Sep	1	Late	0.44	1.59	11.2	1.8	8.7
					489.3	84.5	404.9

10-3 طراحی شبکه آبیاری

در این بخش ابتدا به طراحی خط اصلی، یعنی لوله‌هایی که در حد فاصل ایستگاه پمپاژ تا لوله‌های آبرسان (مانیفلدها) قرار دارند پرداخته می‌شود. پس از آن به طراحی لوله‌های مانیفلد و لترال‌ها با توجه به انواع آبپاش‌ها و قطره‌چکان‌ها پرداخته می‌شود. در نهایت با استفاده از دبی مورد نیاز هر زون، مشخصات ایستگاه پمپاژ شامل دبی و هد مورد نیاز تعیین می‌گردد.

10-4 شبیه‌سازی هیدرولیکی و اجرای نرم افزار IrriMaker

پس از تعیین نیاز آبی گیاه با نرم‌افزار Cropwat و طراحی هیدرولیکی شبکه از کوچکترین جزء آبیاری تحت فشار، یعنی قطره چکان‌ها تا خط اصلی در نرم‌افزار IrriMaker تعریف می‌شود. به عبارت دیگر طراحی در این نرم‌افزار از جز به کل انجام می‌گردد. در نهایت با اتمام شبیه‌سازی هیدرولیکی شبکه، شیفت‌بندی مناسب مزرعه ارائه خواهد شد. قبل از این مرحله می‌توان بهینه‌سازی اقطار مختلف لوله های مرود استفاده را نیز بررسی کرد و در صورت امکان آنها بهینه‌سازی نمود. همچین در انتهای کار می‌توان گزارش مربوط به لوازم مورد استفاده برای طراحی را به عنوان خروجی از نرم‌افزار دریافت کرد. پس از شبیه‌سازی هیدرولیکی می‌توان دبی و فشار در هر بخش از شبکه را قرائت نمود. نکته حائز اهمیت این است که با داشتن بهینه‌ترین شیفت‌بندی به کشاورزان این امکان داده می‌شود تا با توزیع یکنواخت آب در تمام سطح مزرعه خود، آبیاری دقیق‌تر و اقتصادی‌تری داشته و بهترین نتیجه را از منابع آبی خود بگیرند در نهایت موجب افزایش بهره‌وری محصولات کشاورزی خود شوند.



هر رنگ مشخص شده در شکل‌های فوق نشان‌دهنده یک شیفت آبیاری می‌باشد. در جدول زیر نیز اطلاعات مربوط به هر شیفت دو مزرعه شامل تعداد شیفت‌های آبیاری، دبی، مساحت تحت پوشش و فشار سر پمپ هنگام آبیاری هر شیفت مشخص است.

شماره شیفت	دبی (مترمکعب بر ساعت)	دبی (لیتر بر ثانیه)	مساحت تحت پوشش(هکتار)	فشار سر پمپ
		65 هکتار		
1	97/02	26/95	6	46/67
2	95/81	26/61	6	47/18
3	98/06	27/24	6	46/21
4	119/89	33/3	7/51	32/63
5	98/9	27/47	6	45/82
6	118/89	33/02	7/5	33/41
7	94/91	26.36	6	47/55
		100 هکتار		
1	195.95	54.43	13.48	27.33
2	195.46	54.29	13.76	27.54
3	195.99	54.44	14.21	27.32
4	195.88	54.41	13.72	27.36
5	195.36	54.27	13.14	27.58
6	195.85	54.4	14.54	27.38
7	195.3	54.25	13.15	27.6
8	59.48	16.25	4.38	57.69