مجله علوم كشاورزي ايران
جلد ۳۷، شماره ۱، سال ۱۳۸۵ (۱۲۹-۱۱۷)

بهينه‌سازي آبياري موجي با روش جستجوي ممنوع

سيدعلي اشرف صدرالديني[۱], محمدجواد منعم[۲] و اميرحسين ناظمي[۳]
۱، ۲، دانشجوي دكتري (مربي) و استاديار دانشكده كشاورزي دانشگاه تبريز
۳، استاديار دانشكده كشاورزي دانشگاه تربيت مدرس
تاريخ پذيرش مقاله ۸۳/۱۲/۲۵

خلاصه

آبياري موجي يكي از روش‌هاي پيشرفته آبياري سطحي است كه در آن آب به صورت متناوب وارد جويچه مي‌گردد. تناوب ورود جريان به جويچه به صورت موج‌هاي متوالي موجب افزايش سرعت پيشروي جريان در موج‌هاي دوم به بعد گرديده و در نهايت باعث افزايش بازده كاربرد و يكنواختي توزيع آب مي‌شود. اصلي‌ترين متغيرهاي تصميم گيري در آبياري موجي عبارتند از : زمان چرخه يعني مجموع يك دوره وصل وقطع جريان، نسبت چرخه يا نسبت زمان وصل جريان به زمان چرخه، طول جويچه و دبي جريان ورودي به جويچه. هدف از بهينه‌سازي آبياري موجي عبارت است از تعيين تركيب مناسبي از متغيرهاي تصميم گيري به نحوي كه آبياري در مطلوب‌ترين كيفيت انجام پذيرد. جستجوي ممنوع يك روش بهينه‌سازي توانمندي است كه جهت بهينه‌سازي انواع مسائل بهينه‌سازي با موفقيت بكار گرفته شده است, از جمله مسائل تخصيص استقرار, توليد كارگاهي, جدول زمان بندي، حمل و نقل، مخابرات و طراحي صنعتي را مي‌توان نام برد. در اين تحقيق با استفاده از مدل هيدروديناميك كامل براي شبيه‌سازي آبياري موجي و به كارگيري روش بهينه‌سازي جستجوي ممنوع يك مدل براي بهينه‌سازي آبياري موجي تهيه گرديد. براساس اطلاعات حاصل از آزمايش‌هاي ميداني مدل تهيه شده براي دو گزينه مختلف اجرا گرديد. درگزينه اول با در نظر گرفتن طول‌هاي معين براي جويچه، مناسب‌ترين زمان چرخه و نسبت چرخه و تعداد موج‌هاي لازم بدست آمد و در گزينه دوم به ازاي تعداد مشخصي از موج، مناسب‌ترين طول جويچه، زمان چرخه و نسبت چرخه تعيين گرديد. نتايج حاصله نشانگر عملكرد موفق مدل تهيه شده در بهينه‌سازي آبياري موجي مي‌باشد.

واژه‌هاي كليدي : جستجوي ممنوع, آبياري موجي، بهينه‌سازي

مقدمه

آبياري موجي يكي از روش‌هاي پيشرفته آبياري سطحي است كه در دو دهه اخير توسعه يافته است. يكي از مزاياي آبياري موجي نسبت به آبياري با جريان پيوسته امكان افزايش بازده آبياري تا حدود ۹۰% يعني در حد قابل رقابت با سيستم‌هاي تحت فشار ذكر گرديده است (۱، ٤). تجزيه و تحليل فرآيند حركت آب در آبياري موجي با توجه به پيچيده بودن رفتار آب در خاك، تغييرات نفوذپذيري نسبت به زمان و مكان و كاربرد انواع دبي‌هاي جريان و زمان‌هاي قطع و وصل, يكي از مشكل‌ترين مسائل در آبياري سطحي است. چنين تجزيه و تحليلي مي‌تواند بر اساس شبيه‌سازي جريان با استفاده از مدل‌هاي آبياري سطحي انجام پذيرد. شبيه‌سازي جريان به ازاي مقادير مشخصي از متغيرهاي تصميم‌گيري مذكور و ساير پارامترهاي مورد نياز از قبيل ضرايب زبري, معادله‌هاي نفوذ و شكل هندسي شيار و غيره قابل انجام مي‌باشد. اطلاعات حاصل از شبيه‌سازي مي‌تواند جهت تعيين كيفيت آبياري بر اساس روابطي نظير بازده, ضريب يكنواختي توزيع آب و كفايت آبياري بكار برده شود. هر يك از اين روابط يا روابطي مشابه با آنها به

مكاتبه كننده: سيدعلي‌اشرف صدرالديني
e-mail: alisadraddini@yahoo.com

صورت انفرادي و يا تركيبي مي توانند به عنوان معياري جهت تعيين تابع هدف در نظر گرفته شوند. براي هر يك از متغيرهاي تصميم‌گيري انواع مقادير را مي‌توان در نظرگرفت كه تركيب آنها فضاي بزرگي از جواب‌هاي قابل قبول را براي مسئله ايجاد مي نمايد. در زمينه بهينه‌سازي آبياري موجي عالمي و گلدهمر (۱۹۸۸) با استفاده از مدل موج سينماتيك و تعريف تابع هدف به صورت حداكثرسازي بازده كاربرد، سه روش آبياري جويچه‌اي: با جريان پيوسته، با كاهش جريان و موجي را در دو نوع خاك در جويچه‌هاي به طول ۳۶۰ متر مورد بررسي قرار دادند. آنها انواع رژيم‌هاي جريان را به عنوان متغير تصميم‌گيري در نظر گرفتند. نتايج تحقيقات آنها نشان داد كه از ميان انواع استراتژيهاي منظور شده جهت آبياري، حالتي كه در آن مرحله پيشروي توسط آبياري موجي تكميل گرديده و مرحله پس از پيشروي نيز با آبياري پيوسته همراه با كاهش جريان انجام پذيرد، بالاترين بازده كاربرد را دارا مي‌باشد. ايزدي و همكاران (۱۹۹۱) نيز تحقيق مشابهي را در تعداد قابل توجهي از جويچه‌ها در سه محل مختلف انجام دادند. آنها رژيم جريان يكساني را براي آبياري موجي در طول مرحله پيشروي و مرحله پس از پيشروي در نظر گرفتند. نتيجه اين تحقيقات نشان داد كه در دو روش آبياري موجي و آبياري با كاهش جريان، بازده كاربرد مي‌تواند در حد قابل توجهي افزايش يابد. باتيستا و والندر (۱۹۹۳) با قيمت گذاري آب آبياري و منظور نمودن هزينه‌هاي كارگري سعي نمودند كه بر اساس بهينه‌سازي اقتصادي، مديريت مناسبي را جهت آبياري جويچه‌اي به روش كاهش جريان تبيين نمايند. آنها كاهش پله‌اي جريان و نيز كاهش بر اساس تابع زماني پيوسته را در مرحله پس از پيشروي منظور نمودند و مدل موج سينماتيك را جهت شبيه‌سازي جريان بكار گرفتند. تحقيق مشابه ولي كاملتري توسط رافووانشي و والندر (۱۹۹۷) در زمينه بهينه‌سازي اقتصادي آبياري جويچه‌اي با جريان پيوسته انجام پذيرفته است. با توجه به عدم وجود رابطه صريح بين متغيرهاي تصميم‌گيري و تابع هدف در آبياري موجي، بهينه‌سازي مسئله با روش‌هاي كلاسيك مقدور نمي‌باشد. معمولاً بهينه‌سازي‌هاي انجام يافته توسط محققين قبلي براي حل مسائلي با جواب‌هاي محدود و با استفاده از روش‌هاي حل عددي و ترسيمي انجام پذيرفته است (۳). در اين تحقيق روش جستجوي ممنوع كه يكي از روش‌هاي شناخته شده و توانمند بهينه‌سازي عددي مي‌باشد به منظور تعيين بهترين تركيب از متغيرهاي تصميم‌گيري بكار گرفته شده است. ايده‌هاي اوليه روش جستجوي ممنوع توسط گلور (۱۹۷۷) پيشنهاد و در سال ۱۹۸۶ توسط وي تكميل گرديد (۹). محقق مذكور در سال‌هاي بعد طي دو مقاله روش جستجوي ممنوع را به طور مفصل شرح داد (۱۰، ۱۱). در سال ۱۹۹۳ گلور و همكاران (۱۹۹۳) راهنمائي را براي كاربران اين روش منتشر نمودند. تحقيقات گسترده‌اي روي امكان كاربرد جستجوي ممنوع در بهينه‌سازي انواع مسائل مهندسي صورت پذيرفته و مقاله‌هاي زيادي هم منتشر شده است. از جمله گلور و همكاران (۱۹۹۵) مقاله‌اي را در زمينه استفاده توام از روش‌هاي جستجوي ممنوع و ژنتيك الگوريتم ارايه نمودند. بلند و داوسون (۱۹۹۱) تحقيقاتي را در زمينه بهينه‌سازي طراحي صنعتي، برنداو و مرسر (۱۹۹۷) در زمينه حمل و نقل و هرتز (۱۹۹۱) در مسائل جدول زمانبندي به انجام رساندند. ويژگي جستجوي ممنوع آن است كه در جستجوي سراسري به دام بهينه‌هاي محلي نمي‌افتد و بر اين اساس بعد از رسيدن به هر بهينه محلي مي‌تواند حركت را براي جستجوي بهينه سراسري ادامه دهد (۱۰، ۱۱). در اين مقاله ابتدا روش بهينه‌سازي جستجوي ممنوع به صورت كلي شرح داده مي‌شود. سپس الگوريتم طراحي شده بر اساس مفاهيم اين روش براي بهينه‌سازي آبياري موجي با تاكيد بر مهمترين عناصر آن يعني نحوه تعريف: زير مجموعه همسايگي هر جواب، تابع هدف، ليست‌هاي ممنوع، سطح آرماني، توليد جواب اوليه و شرط توقف توضيح داده مي‌شود. فلوچارتي براي نشان دادن نحوه اجراي برنامه و تلفيق مدل هيدروديناميك كامل با مدل بهينه‌سازي ارايه گرديده و در نهايت نتايج اجراي مدل تهيه شده براساس اطلاعات حاصل از آزمايش‌هاي ميداني براي دو گزينه مختلف تشريح شده است.

مواد و روش‌ها

روش جستجوي ممنوع يك روش اكتشافي براي هدايت جستجو به منظور دستيابي به بهترين جواب در فضاي پيچيده جواب‌ها است. اين روش مي‌تواند به صورت يك تكنيك تكراري

براي جستجوي يك رشته از جواب‌هاي مسئله در نظر گرفته شود. مجموعه جواب‌هاي ممكن را با X نشان مي‌دهند (۱۰ و ۱۲). فرض كنيد هدف بهينه‌سازي تابع زير است :

$$\text{Min } c(x) : x \in X \qquad (۱)$$

كه در آن $x \subseteq R_n$. هر مرحله از جستجو به صورت يك حركت : s از يك جواب جاري : x به جواب ديگري كه در همسايگي آن قرار دارد در نظر گرفته مي‌شود. هر حركت s (براي $x \in X$ انتخاب شده) مي‌تواند به صورت يك پلان تعريف شده روي زير مجموعه X(s) از X تصور شود :

$$s : X(s) \rightarrow X \qquad (۲)$$

همسايگي S(x), زير مجموعه اي از X است كه از طريق اعمال حركت هاي s قابل انجام روي x حاصل مي‌گردد :

$$s(x) = \{s \in S : x \in X(s)\} \qquad (۳$$

و از اينرو :

$$X(s) = \{x \in X : s \in S(x)\} \qquad (٤$$

فرآيند جستجو با تعريف زير مجموعه همسايگي يك جواب جاري (يك حركت) شروع مي‌شود. پس از تعريف زيرمجموعه همسايگي بهترين جواب ممكن در اين زير مجموعه شناسايي شده و به عنوان جواب جاري پذيرفته مي‌شود. اين فرايند با تكرارهاي متوالي و با هدف يافتن جوابي با كيفيت بهتر (حالت بهينه يا نزديك به آن) از طريق تكامل تابع هدف تا برآورده شدن شرط توقف ادامه مي‌يابد. اين خطر وجود دارد كه جواب‌هاي خوبي كه قبلا رويت شده‌اند تكرار گردند و جستجو در دام نقاط بهينه محلي گرفتار شود. براي خروج از نقاط بهينه محلي دو نوع حافظه به‌كار گرفته مي‌شود : الف- حافظه تجديدپذير و ب- حافظه براساس تواتر. درحافظه تجديدپذير هر حركت پس از انجام، به اندازه طول دوره بازداشت از حركت منع مي‌شود. حركات ممنوع در ليستي ثبت مي‌شود كه به آن ليست يا زير مجموعه حركات ممنوع T گويند. عناصر زير مجموعه T بر اساس اطلاعات گذشته مربوط به فرآيند جستجو تا t تكرار قبلي تعيين مي‌گردند. تعداد t مي‌تواند بر اساس نوع مسئله يا تحقيق, يك عدد ثابت يا متغير در نظر گرفته شود (۱۰، ۱۱) :

$$T(x) = \{s \in S : s(x) \text{ كه از شرايط ممنوع خارج مي‌گردد } \} \qquad (۵$$

با ممنوع نمودن تعدادي از حركت‌ها بر اساس زير مجموعه T از حركت‌هاي تكراري در طول دوره بازداشت جلوگيري مي‌گردد. در حافظه بر اساس تواتر تعداد هر حركت ثبت مي‌شود و در نهايت حركاتي كه بيشترين تواتر را در خلال جستجو داشته‌اند جريمه مي‌شوند و دوره بازداشت آنها بيشتر مي‌شود (۱۰، ۱۱).

در طي جستجو اين احتمال وجود دارد كه حركت طبقه بندي شده به عنوان حركت ممنوع، موجب يافتن بهترين پاسخ در آن مرحله گردد. براي رفع ممنوعيت اين حركت سطح آرماني: AL[1] تعريف مي‌شود و در واقع شرطي است كه اگر برآورده شود حركت مربوطه از طبقه‌بندي ممنوع خارج مي‌گردد. سطح آرماني بسته به نوع مسئله و تجربيات موجود تعريف مي‌شود. به عنوان مثال مقدار تابع هدف با كميت مشخصي كه به عنوان سطح آرماني گرفته مي‌شود مقايسه مي‌گردد. يكي از روش‌هاي متداول كه در اين تحقيق نيز به كار برده شده آن است كه بهترين جواب بدست آمده از شروع فرايند جستجو تا مرحله جاري به عنوان سطح آرماني در نظر گرفته مي‌شود. جدول ۱ الگوريتم ساده‌اي از جستجوي ممنوع را نشان مي‌دهد.

جدول ۱_ الگوريتم ساده‌اي از جستجوي ممنوع

۱_ يك مقدار اوليه $x \in X$ انتخاب و $x^* := x$ قرار داده شود. شماره تكرار را برابر صفر قرار دهيد $k=0$ و با يك T خالي شروع كنيد.

۲_ اگر S(x)-T خالي است, به مرحله ٤ برويد، در غير اين صورت k:=k+۱ قرار داده شود و $s_k \in S(x) - T$ را چنان انتخاب كنيد كه:

$S(x) = \text{OPTIMUM}\ (s(x): s \in S(x) - T)$

۳_ $x := s_k(x)$ قرار داده شود. اگر $c(x) < c(x^*)$ كه در آن x^* نشان دهنده بهترين جواب حاصله جاري مي‌باشد, $x^* := x$ قرار داده شود.

٤- اگر تعداد انتخاب شده براي تكرار (شرط توقف) در حالت كلي و يا از زمان آخرين بهبود x^* طي شده باشد و يا به محض ورود مستقيم به اين مرحله از طريق مرحله ۲ با شرط $S(x)-T=\phi$, توقف و پايان برنامه فرا مي رسد.

در غير اينصورت , ليست T را بهنگام كنيد و به مرحله ۲ برگرديد.

1 -Aspiration Level.

برای پایان دادن به الگوریتم تکراری شرط توقف می تواند به شکل‌های مختلف تعریف گردد. به عنوان مثال رسیدن تابع هدف به یک حد معین. چنانکه مقدار بهینه تابع هدف معین باشد شرط توقف یافتن جواب بهینه خواهد بود. منظور نمودن زمان معینی برای جستجو و یا تعداد مشخصی برای تکرار نیز از دیگر شرط‌های متداول برای توقف برنامه می‌باشد.

فضای جواب‌ها و نحوه تعریف زیر مجموعه‌های همسایگی برای هر جواب

با توجه به متغیرهای تصمیم‌گیری (Q_i و $i=۱,۲,...,n_۱$)، (L_j و $j=۱,۲,...,n_۲$)، (T_m و $m=۱,۲,...,n_۳$) و (R_n و $n=۱,۲,...,n_۴$) تعداد جواب‌های ممکن در حالت کلی برابر حاصلضرب $n_۱ . n_۲ . n_۳ . n_۴$ می‌باشد. برای یک جواب $x=(Q_a, L_b, T_c, R_d)$ هر یک از زیر مجموعه‌های زیر :

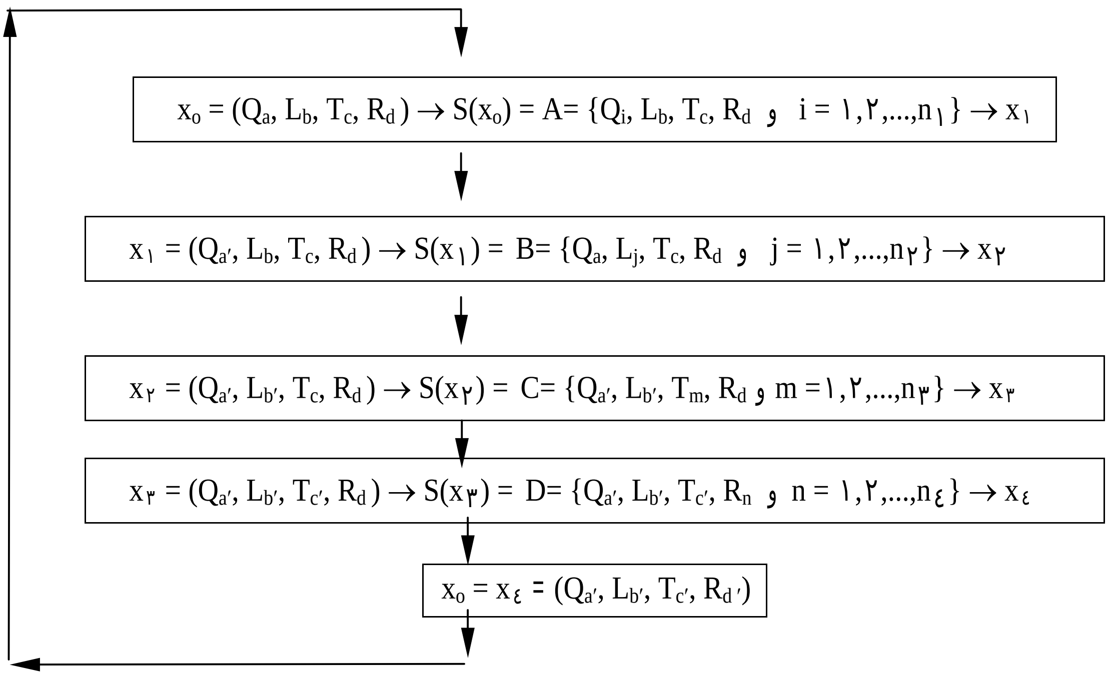
$A = \{Q_i, L_b, T_c, R_d$ و $i =۱,۲,...,n_۱\}$

$B = \{Q_a, L_j, T_c, R_d$ و $j =۱,۲,...,n_۲\}$

$C = \{Q_a, L_b, T_m, R_d$ و $m= ۱,۲,...,n_۳\}$

$D = \{Q_a, L_b, T_c, R_n$ و $n =۱,۲,...,n_۴\}$

می‌توانند به عنوان یک همسایگی (یا زیر مجموعه همسایگی) در نظر گرفته شوند. در زیر مجموعه A فضای همسایگی بر اساس تغییرات دبی ورودی Q, در زیر مجموعه B بر اساس تغییرات طول جویچه L و در زیرمجموعه‌های C و D بترتیب بر اساس تغییرات زمان چرخه T و نسبت چرخه R تعریف گردیده است. مراحل منظورشده برای انجام جستجوی ممنوع بشرح زیر می‌باشد. اگرجواب اولیه برای شروع به صورت : $x_o =(Q_a, L_b, T_c, R_d)$ در نظر گرفته شود در اولین گام, جستجو در فضای همسایگی A انجام می پذیرد در این فضا مقدار Q_i نظیر بهترین جواب ($Q_{a'}$) انتخاب می‌گردد. برای نقطه جدید همسایگی B تعریف می‌شود و در این فضا نیز مقدار L_j نظیر بهترین جواب مشخص شده و بهترین جواب حاصله مبنای حرکت به سوی همسایگی بعدی خواهد بود و این بار همسایگی C برای این جواب تعریف می‌گردد و در نهایت با تعریف همسایگی D برای بهترین جواب حاصل از زیر مجموعه C یک دور تکراری از تعریف فضاهای همسایگی کامل شده و مجدداً چرخه فوق برای آخرین جواب بهینه حاصله تکرار می‌شود. در شکل ۱ فلوچارت ساده‌ای از نحوه تعریف زیر مجموعه‌های همسایگی و حرکت از یک جواب جاری به جواب بعدی ارائه گردیده است.



شکل ۱ _ فلوچارت نشان دهنده نحوه تعریف همسایگی

تابع هدف

براي تعيين تابع هدف مي توان پارامترهاي متعددي را براي ارزيابي كيفيت عمل آبياري انجام يافته در نظر گرفت. به عنوان مثال بازده كاربرد يا يكنواختي توزيع آب يا كفايت آبياري يا تركيبي از اين موارد را مي‌توان برشمرد. هر يك از پارامترهاي فوق مي‌تواند پس از تكميل آبياري بر اساس اطلاعات حاصل از شبيه‌سازي يا اندازه گيري‌هاي واقعي در مزرعه محاسبه گردد. معمولاً امتياز آبياري موجي نسبت به آبياري با جريان پيوسته در جويچه‌ها, بهبودبخشي مرحله پيشروي ذكر گرديده است (۱، ۱٦، ۱۹). به عبارت دقيق‌تر, كاهش آب مصرفي در واحد طول جويچه در مرحله پيشروي يكي از مزاياي عمده آبياري موجي مي‌باشد. با توجه به اين كه با حداقل‌سازي آب مصرفي در مرحله پيشروي به وسيله آبياري موجي اختلاف مقادير نفوذ در ابتدا و انتهاي جويچه نيز به حداقل مقدار مي‌رسد لذا امكان افزايش بازده آبياري و يكنواختي توزيع آب در طول جويچه به حد ماكزيمم مقدار ممكن فراهم مي‌گردد. براي مرحله پس از پيشروي حالت ايده‌آل آن است كه در تداوم آخرين موج تكميل كننده مرحله پيشروي، ميزان جريان ورودي به جويچه به صورت تابع زماني متناسب با شدت نفوذ آب در طول جويچه در نظر گرفته شود تا رواناب خروجي از انتهاي جويچه به حد صفر برسد (۳). براي مقاصد عملي مي‌توان جريان ورودي به جويچه را در مرحله پس از پيشروي به صورت پله‌اي كاهش داد.

با توجه به مطالب فوق الذكر در خصوص مزيت آبياري موجي، تابع هدف به صورت حداقل‌سازي مقدار آب مصرفي در واحد طول جويچه(v) براي تكميل مرحله پيشروي تعريف گرديد. به عبارت ديگر تركيب بهينه متغيرهاي تصميم‌گيري به قسمتي استخراج مي‌شود تا آب مصرفي در واحد طول جويچه براي تكميل مرحله پيشروي به حداقل ممكن برسد :

$$\text{Min } v(Q_i, L_j, T_m, R_n) : v \in V_{ijmnp}$$

$i = ۱,۲,\ldots,n_۱$ و $j = ۱,۲,\ldots,n_۲$ و

$m = ۱,۲,\ldots,n_۳$ و $n = ۱,۲,\ldots,n_٤$

$$V_{ijmnp} = \left[\sum_{p=1}^{k} (Q_i (T_m \times R_n))_p \right] \Big/ L_j \qquad (٦)$$

$k \leq ۳۰$

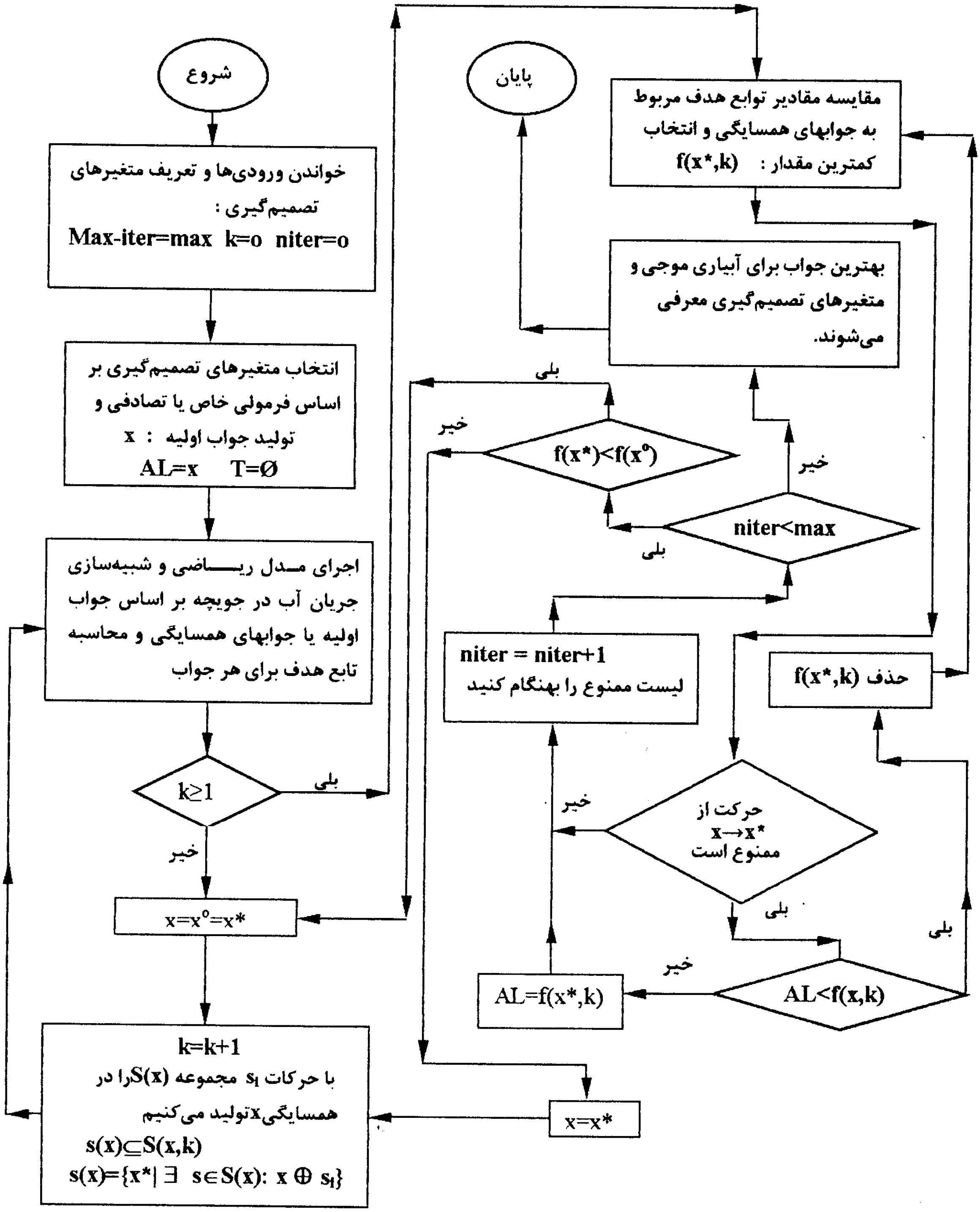
كه در آن k تعداد موج‌هاي لازم براي تكميل مرحله پيشروي مي‌باشد و حداكثر ۳۰ موج در اين تحقيق درنظر گرفته شده است.

تعريف زير مجموعه**T** يا ليست حركت هاي ممنوع

براي هر يك از زير مجموعه‌هاي همسايگي A , B , C و D يك زير مجموعه جداگانه T تعريف گرديد. زير مجموعه‌هاي T ابتدا تهي هستند. پس از تعريف همسايگي هر جواب و تعيين بهترين جواب جاري در آن, حركتي كه منجر به بهترين جواب جاري گرديده در ليست ممنوع مربوطه قرار داده مي‌شود تا در فرآيند حل تكراري چند بار از حركت مذكور جلوگيري شود و بدين ترتيب چهار ليست ممنوع جداگانه T_A, T_B, T_C و T_D تشكيل مي‌گردد. تعداد حركت‌هاي ممنوع در هر ليست بر اساس تعداد حركت‌هاي ممكن در هر زير مجموعه همسايگي تعريف گرديد. به عنوان مثال در زير مجموعه همسايگي A تعداد حركت‌هاي ممكن $n_۱$ است, بر اساس تجربه‌هاي حاصل از اجراهاي متعدد برنامه كامپيوتري تهيه شده، تعداد حركت‌هاي ممنوع در حد ۲۵ % الي ٤۰% تعداد حركت‌هاي ممكن در هر زير مجموعه همسايگي در نظر گرفته شد. در صورت كاهش تعداد حركت‌هاي ممنوع احتمال اينكه آن حركت در فرآيند حل تكراري در دام يك جواب بهينه محلي قرار گيرد افزايش مي‌يابد. افزايش تعداد حركت‌هاي ممنوع نيز منجر به حركت‌هاي زايد موضعي مي‌گردد و زمان يافتن پاسخ بهينه سراسري را افزايش مي‌دهد.

نحوه توليد جواب اوليه

چنانكه در فلوچارت شكل ۲ نشان داده شده است انتخاب مقادير متغيرهاي تصميم‌گيري براي توليد جواب اوليه در اختيار كاربر گذاشته شده است. كاربر مي‌تواند با استفاده از فرمول‌هاي تجربي متداول براي طراحي آبياري جويچه‌اي و يا استفاده از انتخاب تصادفي، جواب اوليه‌اي را براي شروع بهينه‌سازي توليد نمايد. اگر جواب اوليه نزديك به جواب بهينه سراسري باشد به احتمال زياد تعداد حركات لازم براي يافتن جواب بهينه سراسري تا حدودي كاهش خواهد يافت. البته در روش جستجوي ممنوع به دليل استفاده از مكانيسم جستجوي هدايت شده، جواب اوليه توليد شده پس از تعداد محدودي حركت به مقدار زيادي بهبود يافته و به سمت جواب بهينه سراسري ميل مي‌نمايد (٦، ۱۱).



شکل ۲- فلوچارت نشان دهنده مراحل مختلف اجراي روش جستجوي ممنوع

شرط توقف

براي مدل تهيه شده شرط توقف به اين صورت تعريف گرديد كه اگر تعداد تكرار (حركات) پس از آخرين بهبود به حد مشخصي برسد و بهبود جديدي حاصل نشود برنامه متوقف مي‌شود. به عبارت روشن‌تر پس از هر بهبود يعني رسيدن به جوابي بهتر از بهترين جواب بهينه قبلي شمارش حركات از صفر شروع مي‌شود. اگر تعداد حركات به حد تعيين شده براي توقف برنامه برسد ولي بهبود جديدي در جواب بهينه حاصل نشود جواب بهينه حاصله بر اساس آخرين بهبود به عنوان جواب بهينه سراسري پذيرفته مي‌شود و برنامه متوقف مي‌شود در غير اين صورت روند تكراري تداوم مي‌يابد. در اين تحقيق متوسط تعداد مناسب تكرار براي توقف برنامه در محدوده ۵% الي ۲۰% تعداد كل جواب‌هاي امكان پذير تشخيص داده شد.

براي نشان دادن مراحل مختلف برنامه تهيه شده براي بهينه‌سازي با روش جستجوي ممنوع فلوچارت شكل ۲ ارايه شده است. در اين فلوچارت با حركت‌هاي s_i، مجموعه S(x) در همسايگي x توليد مي‌شود, x* بهترين جواب در مجموعه S(x,k) يا بهترين جواب محلي, x جواب اوليه و يا جواب جاري، x^o بهترين جواب از شروع تا لحظه جاري، AL سطح آرماني، T ليست ممنوع، max حد تعيين شده براي تعداد حركات به عنوان شرط توقف و $\mathbf{x \oplus s_i}$ نشان دهنده حركات s قابل انجام روي x مي‌باشد.

ارزيابي مدل

براي ارزيابي مدل بهينه‌سازي تهيه شده، ارقام حاصل از آزمايش‌هاي ميداني انجام يافته با مقادير جريان‌هاي ورودي متفاوت مورد استفاده قرار گرفت. با توجه به هدف تحقيق و لزوم تلفيق مدل بهينه‌سازي با مدل هيدروديناميك جريان سطحي ضرورت داشت تا متن اصلي مدل جريان سطحي در اختيار باشد. لذا ابتدا مدل هيدروديناميك جريان سطحي براي حل كامل معادلات يك بعدي جريان غير ماندگار متغير تدريجي (معادلات سنت- ونانت) تهيه گرديد. مدل تهيه شده بر اساس ارقام حاصل از آزمايش‌هاي ميداني واسنجي و مورد تاييد قرار گرفت. مدل مذكور در مقاله جداگانه‌اي به تفصيل معرفي شده است (۲).

براي محاسبه مقادير آب نفوذ يافته در جويچه از معادله كوستياكف- لوييس استفاده شد. اين معادله به صورت زير ارايه مي‌شود :

$$Z = Kt^a + f_0 t \qquad (۷$$

كه در آن Z نفوذ تجمعي $[m^3.m^{-1}]$، t زمان [min]، f_0 شدت نفوذ نهايي $[m^3.m^{-1}.t^{-1}]$، K و a ضرايب معادله هستند.

اطلاعات عنوان شده در زير از آزمايش‌هاي مذكور حاصل گرديده‌اند :

حداكثر دبي غير فرسايشي براي اولين آبياري در مزرعه ۰/۸ ليتر بر ثانيه اندازه گيري گرديد :

Q_{max}= ۰/۸ $l.s^{-1}$

ضرايب معادله‌هاي نفوذ كوستياكف- لوييس در آبياري موجي بر اساس روش واكر – هامفري (۱۸) براي دو نوع جويچه خشك و خيس در نظر گرفته مي‌شود. بر مبناي نتايج آزمايش‌هاي ميداني در حالت جريان ورودي ۰/۸ ليتر بر ثانيه مقادير اين ضرايب به صورت زير حاصل شد :

K_{dry}= ۰/۲۳۹۰۵ , a_{dry} = ۰/۵۵۳۲۳۵

fo_{dry}= ۰/۰۰۰۳۸۳۳ , K_{surg} =۰/۰۰۰٦۵۸

a_{surg} = ۰/۸٤۰۷۹۱٦ , fo_{surg}= ۰/۰۰۰۱۹

ضرايب زبري مانينگ بر اساس مقايسه نتايج شبيه‌سازي جريان (مدل هيدروديناميك) با ارقام پيشروي اندازه‌گيري شده در مزرعه عبارتند از :

n_{dry}= ۰/۰٤۰ , n_{surg} = ۰/۰۲۷

ضرايب شكل هندسي جويچه، اطلاعات ورودي مورد نياز ديگري هستند كه معمولا در مدل‌هاي آبياري سطحي به كار برده مي‌شوند. اين ضرايب با فرض روابط نمايي زير براي بيان مشخصه‌هاي شكل هندسي جويچه تعريف گرديده‌اند (۱۹) :

$$A = \sigma_1 y^{\sigma_2} \qquad (۸$$

$$W = \gamma_1 y^{\gamma_2} \qquad (۹$$

در معادلات فوق y : عمق جريان، A : سطح مقطع جريان، W : محيط خيس شده و σ_1، σ_2، γ_1 و γ_2 : ضرايب شكل

هندسي جويچه مي‌باشند. مقادير محاسبه شده براي اين ضرايب بر اساس آزمايش‌هاي مزرعه‌اي به شرح زير است :

$\sigma_1 = ۰/۱۷۳۶۰۳$, $\sigma_2 = ۱/٤۷۱۸۹۹$,

$\gamma_1 = ٦/۲٦۵۷۰۳$, $\gamma_2 = ۰/۷۵۸۲۵۷$

اطلاعات مشابهي نيز براي ساير مقادير جريان ورودي از آزمايش‌هاي مذكور استخراج گرديده است. براي اجراي مدل تهيه شده به ازاي هر دبي مورد نظر مي‌بايستي اطلاعات نظير آن مورد استفاده قرار گيرد. به عنوان مثال ضرايب معادله‌هاي نفوذ براي هر ميزان از جريان ورودي به جويچه به طور جداگانه تعريف مي‌شوند.

خاك مزرعه لوم شني و رطوبت متوسط آن در عمق ۰- ۲۰ سانتي‌متري در دوره انجام آزمايشها ۱۵ درصد حجمي بود. شيب مزرعه: $S = ۰/۰۱۱ m.m^{-۱}$ و ضرايب ميانگين‌گيري زماني θ و مكاني ϕ منظور شده در مدل هيدروديناميك كامل عبارتند از:

$\theta = ۰/٦$, $\phi = ۰/۵۵$

متغيرهاي تصميم گيري در مدل بهينه‌سازي در محدوده‌هاي زير تعريف گرديدند :

الف) ۸ ميزان دبي ورودي قابل قبول در محدوده دبي‌هاي ۰/۵ تا حداكثر ۱/۲ ليتر بر ثانيه در نظر گرفته شد :

$Q_i = ۰/۵, ۰/٦, ..., ۱/۲$ ، $i = ۱,۲,...,n_۱$ ،

$n_۱ = ۸$ و $Q_{i+1} - Q_i = ۰/۱$ $l.se^{-1}$

ب) ٦۱ طول مختلف براي جويچه در محدوده ۳۰ الي ۳۳۰ متر در نظر گرفته شد :

$L_j = ۳۰, ۳۵, ..., ۳۳۰$ ، $j = ۱,۲,...,n_۲$ ، $n_۲ = ٦۱$

$L_{j+1} - L_j = ۵$ m

ج) تعداد ۱۰ زمان چرخه (مجموع زمانهاي قطع و وصل) براي جريان موجي در جويچه‌ها درمحدوده ۵ الي ۵۰ دقيقه در نظر گرفته شد :

$T_m = ۵, ۱۰, ..., ۵۰$ ، $m = ۱,۲,...,n_۳$ ، $n_۳ = ۱۰$

$T_{i+1} - T_i = ۵$ min

د) تعداد ۵ نسبت چرخه (نسبت زمان وصل به زمان چرخه) در محدوده ۰/۲۵ الي ۰/۷۵ در نظر گرفته شد :

$R_n = ۰/۲۵, ۰/۳۵, ۰/۵, ۰/٦, ۰/۷۵$

گزينه‌هاي بهينه‌سازي

بر اساس اطلاعات حاصل از آزمايش‌هاي مزرعه‌اي و محدوده‌هاي منظور شده براي مقادير متغيرهاي تصميم‌گيري برنامه تهيه شده اجرا گرديد. براي شروع جستجو جواب‌هاي اوليه متفاوتي مورد آزمون قرار گرفت همچنين ترتيب همسايگي‌هاي نشان داده شده در شكل ۱ تغيير داده شد و مسئله مورد بررسي قرار گرفت. پس از بدست آوردن جواب بهينه در هر اجرا مقادير دبي و يا طول نظير آن جواب حذف و بر اساس محدوده جديد حاصله براي متغيرهاي تصميم‌گيري مجدداً برنامه اجرا و نقطه بهينه جديد مشخص گرديد. نتايج حاصله به وضوح نشان دادند كه گرايش اصلي جواب‌هاي بهينه به سمت حداكثر دبي ورودي و حداقل طول جويچه تعريف شده در متغيرهاي تصميم‌گيري مي‌باشد. نتايج يافته‌ها دو موضوع زير را مورد تاييد قرار دادند :

۱- اگر انواع مقادير براي طول جويچه به عنوان يك متغير تصميم‌گيري در نظر گرفته شود، جواب بهينه بشرط تعريف مناسب مقادير جريان و زمان‌هاي قطع و وصل, كوتاهترين طول جويچه خواهد بود. اين مسئله از ديدگاه رياضي امري بديهي است چرا كه در جويچه كوتاه پيشروي در كمترين زمان تكميل گرديده و عمق نفوذ حداقل مي‌باشد و لذا آب مصرفي در واحد طول جويچه به كمترين مقدار ممكن كاهش مي‌يابد.

۲- اگر انواع مقادير جريان ورودي به جويچه به عنوان يك متغير تصميم‌گيري در نظر گرفته شود, جواب بهينه به شرط تعريف مناسب زمان‌هاي قطع و وصل جريان, ماكزيمم مقدار جريان خواهد بود. مسئله قابل توجه آن است كه با افزايش دبي جريان شدت نفوذ از واحد طول جويچه نيز افزايش مييابد. افزايش شدت نفوذ نيز خود تابعي از شكل مقطع جويچه و نوع خاك بستر و همگني آن است. گرچه در جويچه‌هاي مورد آزمايش نتايج حاصله جهت‌گيري جواب بهينه را به سمت دبي‌هاي حداكثر نشان مي‌دهد ولي ممكن است در مواردي روند افزايش شدت نفوذ به ازاي افزايش مقدار جريان طوري باشد كه چنين گرايشي بوجود نيايد.

ذكر اين نكته ضروري است كه اختلاف بين مسافت‌هاي پيشروي حاصل از موج‌هاي متوالي با افزايش تعداد موج‌ها

كاهش مي‌يابد و درنهايت به حد صفر ميل مي كند. در تعداد موج‌هاي بيشتر از ۱۰ مقدار طول اضافه شده بر مسافت پيشروي تقريبا در مقايسه با طول جويچه قابل صرف نظر مي‌باشد. از طرف ديگر كاهش تعداد موج‌هاي لازم براي تكميل مرحله پيشروي، سبب خواهد شد تا شرايط جريان موجي به جريان پيوسته نزديك شود و در واقع مزيت آبياري موجي كاهش پيدا خواهد نمود. بر اين اساس در منبع شماره ۱ تعداد بهينه موج‌ها در محدوده ٤ الي ٦ موج ذكر شده و حداكثر تعداد آن براي مقاصد كاربردي ۱۰ موج توصيه گرديده است. با توجه به موارد مذكور مشخص مي‌شود كه بهينه‌سازي آبياري موجي براي مقاصد كاربردي مي‌بايد در محدوده فضاي معيني از متغيرهاي تصميم‌گيري انجام پذيرد. زيرا جويچه‌هاي خيلي كوتاه به علت مشكلات مديريت توزيع آب در مزرعه، تلفات اراضي و دبي‌هاي خيلي زياد بدليل ايجاد فرسايش از جنبه كاربردي مناسب نمي‌باشند. بنابر اين با لحاظ نمودن موارد مذكور دو گزينه زير براي بهينه‌سازي آبياري مورد بررسي قرار گرفتند :

الف) به ازاي يك دبي معين و طول مشخصي از جويچه كه از ديدگاه كاربردي نيز قابل قبول باشد جواب بهينه سراسري جستجو شود. دراين حالت همسايگي‌هاي الف و ب كه در شكل ۱ نشان داده شده‌اند حذف مي‌شوند. جواب بهينه حاصله نشان مي‌دهد كه چه نوع جريان (پيوسته يا موجي) و چه تعداد موج و كدام زمان چرخه (مجموع زمانهاي قطع و وصل) و كدام نسبت چرخه (نسبت زمان وصل به زمان چرخه) بهترين جواب را در شرايط تعريف شده (طول مشخص جويچه و دبي معين) توليد خواهد نمود.

ب) به ازاي دبي معين و تعداد مشخص موج جواب بهينه جستجو شود. در اين حالت همسايگي الف حذف شده و يك قيد (تعداد موج) بر مسئله بهينه‌سازي اضافه مي‌گردد. جواب بهينه حاصله نشان مي‌دهد كه كدام طول جويچه با كدام زمان چرخه و كدام نسبت چرخه بهترين جواب را در شرايط تعريف شده (دبي معين و تعداد مشخص موج) توليد خواهد نمود.

بدليل گرايش جواب بهينه به سمت دبي حداكثر، براي يافتن بهترين جواب در اين مثال جريان ورودي برابر حداكثر مقدارممكن يعني ماكزيمم دبي غير فرسايشي در نظر گرفته شد.

نتايج و بحث

نتايج بهينه‌سازي گزينه‌هاي الف و ب بترتيب در جداول ۲ و ۳ ارايه شده است. در جدول ۲ به ازاي هر طول معين از جويچه جواب‌هاي بهينه مربوط به مقادير زمان چرخه، نسبت چرخه، مدت زمان وصل جريان و تعداد موج‌هاي اعمال شده جهت تكميل مرحله پيشروي مشخص گرديده است. در جدول ۳ نيز به ازاي تعداد معين موج، مقادير بهينه طول جويچه، زمان چرخه، نسبت چرخه و مدت زمان وصل جريان نشان داده شده است. آخرين ستون جداول نشان دهنده تعداد تكراري ميباشد كه جواب بهينه براي گزينه مربوطه طي آن تكرار بدست آمده است. از مقايسه ارقام دو جدول چنين استنباط مي‌شود كه يك تناسب مستقيمي بين طول جويچه و تعداد موج وجود دارد.

به عنوان مثال در شرايط جواب بهينه براي تكميل مرحله پيشروي در جويچه‌ي با طول ۹۵ متر تعداد ۱۰ موج لازم است در حالي‌كه در جويچه ۱۰۰ متري اين تعداد به ۱۵ موج افزايش يافته است. نتايج گزينه الف در جدول ۲ نشان مي‌دهد كه در جويچه‌هاي با طول ٤٥ متر و كمتر جواب بهينه در شرايط آبياري پيوسته حاصل شده است در حالي كه در جويچه‌هاي با طول ۵۰ متر و بيشتر جواب بهينه در شرايط آبياري موجي حاصل مي‌شود. در جويچه‌اي به طول ۵۰ متر، آبياري پيوسته با مدت زمان بيست دقيقه جهت تكميل مرحله پيشروي كفايت مي‌كند و در اين حالت مقدار تابع هدف ۰/۰۱۹۲ متر مكعب در واحد طول جويچه مي‌باشد. اما در همين جويچه آبياري موجي با كاربرد دو موج سبب بهبود تابع هدف تا مقدار ۰/۰۱۷۲۸ متر مكعب در واحد طول جويچه گرديده است يعني كاهش مصرفي حدود ۰/۱ متر مكعب براي تكميل مرحله پيشروي در هر جويچه. مقايسه نتايج گزينه الف براي جويچه با طول ۱۰۰ متر نشان مي‌دهد كه تكميل مرحله پيشروي با تعداد ۱۰ موج نيز امكان پذير است.

جدول ۲- نتايج بهينه‌سازي براي طول هاي مشخص جويچه، Q_{max}=۰/۸ l. s^{-1}

طول مشخص جويچه	مقادير متغيرهاي تصميم گيري و تابع هدف مربوط به بهترين جواب براي طول مشخص جويچه					
Lj m	T min	R $min.min^{-1}$	T*R min.	مقدار تابع هدف (V) $m^3.m^{-1}$	تعداد موج اعمال شده	تكرار
٤٥	۳۰	۰/٥	١٥	۰/۰۱٦۰۰۰	۱	۲۸
٤٥	۲۰	۰/۷٥	١٥	۰/۰۱٦۰۰۰	۱	۷۷
٥۰	۲٥	۰/۳٥	۹	۰/۰۱۷۲۸۰	۲	۳۰
٥۰*	٤۰	۰/٥	۲۰	۰/۰۱۹۲۰۰*	۱*	۱۰
٥٥	۳۰	۰/۳٥	۱۱	۰/۰۱۹۲۰۰	۲	۱۱
٦۰	٤٥	۰/۳٥	۱٦	۰/۰۲٥٦۰۰	۲	۱٤
٦٥	۲۰	۰/٥	۱۰	۰/۰۲۹٥۳۸	٤	۱٤
۷۰	٤۰	۰/۲٥	۱۰	۰/۰۲۷٤۲۸	٤	۱۱٥
۷٥	۳۰	۰/۳٥	۱۱	۰/۰۲۸۱٦۰	٤	۱۱
۸۰	٤٥	۰/۲٥	۱۲	۰/۰۲۸۸۰۰	٤	۸٦
۸٥	۳٥	۰/۲٥	۹	۰/۰٤۰٦٥۹	۸	۹۷
۹۰	۳۰	۰/۳٥	۱۱	۰/۰٤٦۹۳۳	۸	۱۰
۹٥	۳۰	۰/۳٥	۱۱	۰/۰٥٥٥۷۹	۱۰	۱۱
۱۰۰	۳۰	۰/۲٥	۸	۰/۰٥۷٦۰۰	۱٥	۱۸
۱۰۰*	٥۰	۰/٥	۲٥	۰/۱۲*	۱۰	٤۹

*- ارقام مربوط به جواب بهينه نبوده و صرفا جهت مقايسه ارايه شده‌اند.

در اين صورت تعداد ٥ موج كمتر از حالت بهينه لازم خواهد بود ولي مقدار آب مصرفي در واحد طول جويچه بيش از دو برابر افزايش پيدا خواهد كرد. نتايج حاصله نشان مي‌دهند كه با افزايش طول جويچه مقدار تابع هدف نيز افزايش مي‌يابد. به عنوان مثال مقايسه توابع هدف نظير جويچه‌هاي با طول ٤٥ و ۸۰ متر، بيانگر افزايش مقدار آب مصرفي به ميزان ۰/۰۱۲۸ متر مكعب در واحد طول جويچه ۸۰ متري مي‌باشد. شدت افزايش مقدار تابع هدف در طول‌هاي بزرگتر از ۸۰ متر در مقايسه با طول‌هاي كوچكتر جويچه، خيلي بيشتر است. مقدار تابع هدف در جويچه‌اي با طول ۸۰ متر برابر ۰/۰۲۸۸ متر مكعب در هر متر طول جويچه مي‌باشد كه با كاربرد ٤ موج حاصل گرديده است. در صورتي كه مقدار تابع هدف در جويچه ۸٥ متري به ۰/۰٤٦٥۹ متر مكعب در هر متر طول جويچه افزايش يافته و تعداد موج‌هاي مورد نياز به ۸ موج رسيده است. يعني حدود ٤۳ در صد بر حجم آب مصرفي در واحد طول جويچه اضافه گرديده است. طول جويچه ۸۰ متر بزرگترين طولي است كه حجم آب مصرف شده در واحد طول آن در مقايسه با طول‌هاي كوچكتر جويچه افزايش زيادي نداشته است بعلاوه تعداد موج‌هاي مورد نياز براي تكميل مرحله پيشروي در اين حالت ٤ موج مي‌باشد كه در محدوده تعداد موج مناسب ذكر شده در منبع شماره ۱ قرار دارد. توجه به اين نكته ضروري است كه كاهش طول جويچه مشكلات تلفات اراضي، كاركرد ماشين آلات و عمليات تحويل و توزيع آب را به همراه دارد، كه در نهايت سبب افزايش هزينه‌ها و كاهش محصول توليدي مي‌گردد. تصميم‌گيري دقيق در خصوص طول جويچه منوط به مقايسه اقتصادي كاهش هزينه مصرف آب در اثر افزايش بازده آبياري در جويچه‌هاي كوتاهتر از يك طرف و افزايش هزينه‌هاي عمليات كشاورزي و تحويل آب به دليل كاهش طول جويچه‌ها از سوي ديگر است با اين حال به نظر مي‌رسد كه اگر طول‌هاي ۸٥ متر و بيشتر به دليل مصرف آب زياد و نياز به تعداد موج‌هاي بيشتر از حد

مطلوب (۱) از فهرست طول‌هاي قابل كاربر جويچه در اين تحقيق حذف گردند گزينه مربوط به طول جويچه ۸۰ متر، كه در جدول ۲ مشخص گرديده است، مطلوب‌ترين گزينه براي جويچه‌هاي مورد نظر در حالت كاربرد آبياري موجي براي تكميل مرحله پيشروي مي‌باشد.

مدت زمان ورود آب به جويچه در هر زمان چرخه مدت زمان وصل ناميده مي‌شود، حداقل مدت زمان وصل وحداكثر آن بر اساس مقادير متغيرهاي تصميم‌گيري منظور شده در اين تحقيق بترتيب برابر ۲ و ۳۸ دقيقه مي‌باشد. مقادير مربوط به مدت زمان‌هاي وصل نظير هر يك از جواب‌هاي بهينه در جداول ۲ و ۳ در محدوده ۵ الي ۱۶ دقيقه قرار دارند. به عبارت ديگر بر اساس نتايج مذكور محدوده زماني ۵ الي ۱۶ دقيقه به عنوان محدوده زماني بهينه براي مدت‌هاي وصل حاصل گرديده است. در مورد نسبت‌هاي چرخه مي‌توان چنين نتيجه گرفت كه نسبت چرخه ۰/۷۵ حداقل فراواني را در ميان نسبت چرخه‌هاي ذكر شده در جداول ۲ و ۳ دارا مي‌باشد و بيشترين فراواني بترتيب به نسبت چرخه‌هاي ۰/۳۵ و ۰/۲۵ مربوط مي‌شود. به بيان ديگر براي جواب‌هاي بهينه حاصل شده در جداول مذكور در غالب موارد مدت‌هاي وصل كوتاه‌تر از مدت‌هاي قطع مي‌باشد.

پس از تكميل مرحله پيشروي توسط آبياري موجي لازم است تا جريان ورودي به جويچه تا اتمام آبياري يعني نفوذ آب به اندازه عمق آبياري در انتهاي جويچه تداوم يابد. پس از اتمام آبياري بازده كاربرد قابل محاسبه خواهد بود. بازده كاربرد بستگي به عمق آبياري خواهد داشت. هرقدر عمق آبياري بيشتر باشد، زمان لازم براي تداوم جريان ورودي بيشتر است و در نتيجه اختلاف مقادير نفوذ در ابتدا و انتهاي جويچه به دليل كاهش شدت نفوذ به ازاي زمان به حداقل رسيده و بازده كاربرد افزايش مي‌يابد.

جدول ۳_ نتايج بهينه‌سازي در تعداد متفاوتي از موج، Q_{max}=۰/۸ $l.\ s^{-1}$

تعداد موج	مقادير متغيرهاي تصميم گيري و تابع هدف مربوط به بهترين جواب در تعداد متفاوت موج					
k	طول جويچه Lj m	T min	R $min.min^{-1}$	T*R min	مقدار تابع هدف (V) $m^3.m^{-1}$	تكرار
۱	۳۰	۱۵	۰/۳۵	۶	۰/۰۰۹۶۰۰	٦٤
۲	۳۰	۱۰	۰/۵	۵	۰/۰۱۶۰۰۰	٦۳۷
۲*	۳۵	۱۵	۰/۳۵	٦	۰/۰۱٦٤۵۰	۸۲٤
۲*	٤۰	۲۰	۰/۳۵	۷	۰/۰۱٦۸۰۰	۵۹۸
۲*	٤۵	۱۰	۰/۷۵	۸	۰/۰۱۷۰٦٦	۵۱
۲*	٤۵	۱۵	۰/۵	۸	۰/۰۱۷۰٦٦	۲۳۷
۲*	٤۵	۳۰	۰/۲۵	۸	۰/۰۱۷۰٦٦	٤۷٦
۳	٤۰	۱۰	۰/۵	۵	۰/۰۱۸۰۰۰	۲۲۰
٤	۵۵	۲۰	۰/۳۵	۷	۰/۰۲٤٤۳٦	۳۸۱
۵	۵۵	۱۵	۰/۳۵	٦	۰/۰۲٦۱۸۲	۳۹٤
٦	٦۰	۱۵	۰/۳۵	٦	۰/۰۲۸۸۰۰	۱۷۸
۷	٦۵	۱۵	۰/۳۵	٦	۰/۰۳۱۰۱۵	۲۷۲
۸	۸۰	۳۰	۰/۲۵	۸	۰/۰۳۸٤۰	۸۹
۹	۷۰	۱۵	۰/۳۵	٦	۰/۰۳۷۰۲۸	٤٤۲

*- ارقام مربوط به جواب بهينه نبوده و صرفا جهت مقايسه ارايه شده‌اند.

در طول‌هاي كوچكتر جويچه اختلاف مقادير نفوذ ابتدا و انتهاي جويچه كم مي‌باشد و لذا دست‌يابي به بازده‌هاي مطلوب در عمق‌هاي كم آبياري قابل انتظار خواهد بود. با توجه به مطالب فوق و مطالب عنوان شده در بخش تعريف تابع هدف مي‌توان چنين استنباط نمود كه پس از تكميل مرحله پيشروي توسط آبياري موجي، بهترين حالت آبياري آن است كه براي به حداقل رساندن رواناب خروجي از جويچه، مقدار جريان پيوسته آب ورودي به جويچه متناسب با شدت نفوذ جويچه تا اتمام آبياري كاهش يابد. بعلاوه مقادير بازده آبياري بسته به عمق آبياري و طول جويچه مورد نظر متغير خواهد بود. لذا بررسي روند تاثيرات تغييرات طول جويچه و عمق آبياري روي بازده آبياري در مرحله پس از پيشروي، بر اساس هر يك از گزينه‌هاي بهينه ذكر شده در جدول ۲ براي مرحله پيشروي، موضوع تحقيق مهمي است كه نتايج آن مي‌تواند مكمل يافته‌هاي اين تحقيق باشد. در حال حاضر اين موضوع توسط نويسندگان مقاله تحت مطالعه مي‌باشد.

خلاصه نتايج وپيشنهادات

۱- در آبياري جويچه‌اي مطلوب ترين كيفيت آبياري زماني حاصل مي شود كه مرحله پيشروي در كوتاه ترين زمان تكميل شده و جريان ورودي پس از اين مرحله بر اساس ظرفيت نفوذپذيري جويچه طوري تنظيم شود كه رواناب خروجي به حداقل (از نظر تئوري به حد صفر) برسد.

۲- مدل بهينه‌سازي تهيه شده براساس روش جستجوي ممنوع و تابع هدف تعريف شده قادر است بهترين تركيب متغيرهاي تصميم‌گيري در آبياري موجي را براي طول مشخصي از جويچه تعيين نمايد. در اين صورت مرحله پيشروي در كوتاه‌ترين مجموع زمان‌هاي وصل انجام گرفته و حجم آب مصرفي در واحد طول جويچه به حداقل مي‌رسد.

۳- مدل بهينه‌سازي تهيه شده مي‌تواند به عنوان ابزاري توانمند در اختيار مديران و برنامه‌ريزان آبياري قرار گيرد. اين برنامه قادر است بهينه‌سازي آبياري جويچه‌اي را براي مرحله پيشروي در دو حالت جريان پيوسته و موجي به انجام رساند.

٤- براي بدست آوردن نتايج دقيق لازم است ابتدا مدل هيدروديناميك كامل بر اساس اندازه‌گيري‌هاي مزرعه‌اي به طور دقيقي واسنجي شود. براي اين منظور تعيين معادله نفوذ كه مقادير ضرايب آن تاثير عمده‌اي روي جواب‌هاي مدل دارند حايز اهميت است.

۵- با توجه به تاثير پذيري مقادير بازده آبياري از عمق آبياري، بررسي روند تاثيرات تغييرات عمق آبياري روي بازده آبياري بر اساس هر يك از گزينه‌هاي بهينه حاصله از اين تحقيق موضوع مهمي است كه مي تواند طي تحقيقات ديگري انجام پذيرد.

منابع مورد استفاده — REFERENCES

۱. سهرابي، ت.، ن. حيدري، ع. توكلي و س. نيريزي. ۱۳۷۵. آبياري موجي. چاپ اول، كميته ملي آبياري و زهكشي.

۲. صدرالديني، س.ع.ا.، م.ج. منعم، ا.ح. ناظمي. ۱۳۸۲. كاربرد مدل هيدروديناميك كامل براي شبيه‌سازي آبياري موجي. چهارمين كنفرانس هيدروليك ايران، دانشكده مهندسي دانشگاه شيراز، جلد ۱ : (۲۵۹-۲٦۷).

3. Alemi, M.H. & D.A. Goldhamer. 1988. Surge irrigation optimization model. Trans. ASAE 31(2) : 519-526.

4. Anonymous. 1998. Shrinking water supplies prompt a surge in new irrigation incentives. Texas A & M university. M2 communication LTd.

5. Bautista, E., & W.W. Wallender. 1993. Optimal management strategies for cutback furrow irrigation J. Irrig. and Drain. Engrg. ASCE 119(6) : 1099-1114.

6. Bland, J.A. & G.P. Dawson. 1991. Tabu search and design optimization. J. Computer Aided Design 23(3) : 195-202.

7. Brandao, J. & A. Mercer. 1997. A tabu search alogorithm for the multi- trip vehicle routing and scheduling problem. European J. Oper. Res., Vol. 100 : 180-191.

8. Glover, F. 1977. Heuristics for integer programming using surrogate constraints. J. Decision Sciences 8(1) : 156-166.

9. Glover, F. 1986. Future paths for integer programming and link to artificial intelligence, J. Computer and Oper. Res. 13(5) : 533-549.
10. Glover, F. 1989. Tabu search- part I. ORSA J. Comput. 1(3) : 190-206.
11. Glover, F. 1990. Tabu search- part II. ORSA J. Comput 2(1) : 4-32.
12. Glover, F., M. Laguna, E. Taillard, & D. de Werra. 1993. A user's guide to tabu search. J.Annals of Oper. Res 41(1) : 3-28.
13. Glover, F., J.P. Kelly, & M. Laguna. 1995. Genetic algorithms and tabu search: hybrids for optimization. J. Computers Ops. Res. 22(1) : 111-134.
14. Hertz, A. 1991. Tabu search for large scale timetabling problems. European J.Oper. Res. Vol. 54 : 39-47.
15. Izadi, B., D. Studer, & I. McCann. 1991. Maximizing set- wide furrow irrigation application efficiency under full irrigation strategy. Trans. ASAE 34(5) : 2006-2014.
16. Izuno, F.T. & T.H. Podmore. 1985. Kinematic wave model for surge irrigation research in furrows. Trans. ASAE 28(4) : 1145-1150.
17. Raghuwanshi, N.S., & W.W. Wallender. 1997. Economic optimization of furrow irrigation J. Irrig. and Drain. Engrg. ASCE 123(5) : 377-385.
18. Walker, W. R. & A. S. Humpherys. 1983. Kinematic-wave furrow irrigation model. J. Irrig. and Drain. Engrg. ASCE 109(4) : 377-392.
19. Walker, W.R. & G.V. Skogerboe. 1987. Surface irrigation theory and practice.Prentice- Hall INC. New Jersey.