بسمه تعالی

گواهی ارائه مقاله

بدینوسیله گواهی می شود، سرکار خانم محبوبه سیدی

در دوازدهمین کنفرانس هیدرولیک ایران که در تاریخ ۷ الی ۹ آبان ماه سال ۱۳۹۲ در گروه مهندسی آبیاری و آبادانی دانشگاه تهران برگزار گردید، با ارائه مقاله با عنوان "بررسی مدل های محاسبات جریان متغیر تدریجی دائمی در شبکه کانال های باز" به صورت پوستری حضور داشته اند.

دانشگاه تهران

انجمن هیدرولیک ایران
Iranian Hydraulics Association

انجمن هیدرولیک ایران
تاسیس ۱۳۷۳
شماره ثبت ۸۱۳۰۰

دبیر کنفرانس

دکتر محمدحسین امید

رئیس هیئت مدیره انجمن هیدرولیک

دکتر فرزین نصیری صالح

دوازدهمین کنفرانس هیدرولیک ایران
گروه مهندسی آبیاری و آبادانی
پردیس کشاورزی و منابع طبیعی
۷ و ۸ آبان‌ماه ۱۳۹۲

بررسی مدل های محاسبات جریان متغیر تدریجی دائمی در شبکه کانال های باز

محبوبه سیدی
دانشجوی کارشناسی ارشد، گروه عمران، دانشکده مهندسی، دانشگاه فردوسی مشهد، m.seyedi۸۴@gmail.com
محمدرضا جعفرزاده
استاد، گروه عمران، دانشکده مهندسی، دانشگاه فردوسی مشهد، jafarzad@um.ac.ir
ناصر موسویان
دانشجوی دکتری، گروه عمران، دانشکده مهندسی، دانشگاه فردوسی مشهد، naser_moosavian@yahoo.com

چکیده

در این مقاله سه الگوریتم برای محاسبه جریان متغیر تدریجی دائمی در شبکه کانال های حلقوی و شاخه ای مقایسه می گردند. این الگوریتم ها برای کاهش ابعاد ماتریس کل استفاده می شوند و به روش خاص شماره گذاری در مقاطع نیاز ندارند. ابتدا، معادلات دائمی جریان به روش تفاضل محدود گسسته می شوند. سپس سیستم غیر خطی حاصل با استفاده از روش نیوتن رافسون حل می شود. برای مقایسه الگوریتم ها، نخست الگوریتم حل هم زمان بررسی می شود. آنگاه برای کاهش ابعاد ماتریس کل دو الگوریتم اصلاحی سن و گارگ، و شافرانک و همکاران معرفی می شوند. راهکارهای مذکور برای یک شبکه حلقوی نشان می دهد که الگوریتم شافرانک و همکاران حداقل صدو پنجاه برابر سریعتر از الگوریتم حل همزمان و چهار برابر سریع تر از روش سن و گارگ به نتیجه می رسد. بعلاوه، این الگوریتم حافظه ی کمتری از کامپیوتر اشغال می کند. به خصوص زمانی که فقط مؤلفه های غیر صفر ماتریس کل ذخیره شوند. برای حل ماتریس کل شبکه، از روش تجزیه LU استفاده می شود. این شیوه در مقایسه با روش حذفی گاوس سه برابر سریع تر به جواب می رسد.

واژه‌های کلیدی: جریان متغیر تدریجی دائمی، شبکه کانال های باز، معادلات سنت ونانت

مقدمه

در یک سیستم آبیاری از شبکه کانال های باز استفاده می شود. آب از منبع به شبکه با کانال های شاخه ای شامل فرعی ها و انشعاب ها توزیع می شود. تعیین پروفیل سطح آب در کانال های شبکه با دبی معلوم و تراز مشخص در پایین دست اهمیت ویژه ای دارد.

در دهه های گذشته مدل‌های عددی متعددی برای محاسبات جریان متغیر تدریجی در شبکه‌ها پیشنهاد شده است. در بسیاری از این مدل ها به منظور کاهش عرض ماتریس کل، روش های ویژه‌ای برای شماره گذاری مقاطع عرضی ارائه شده است. چادری و شولت(Chaudhry and Schulte,۱۹۸۶) از روش تفاضل محدود برای تحلیل جریان یکنواخت در سیستم کانال های موازی استفاده کردند. این محققین روش خود را به شبکه کانال های حلقوی نیز گسترش دادند، (Schulte and Chaudhry,۱۹۸۷). در روش آنها با شماره گذاری شبکه ای با M کانال موازی، عرض ماتریس ژاکوبین نواری برابر $۳M+۱$ به دست آمد.

در الگوریتم های ارائه شده توسط ناین و کاوانو(Nguyen and Kawano,۱۹۹۵) برای شبکه های شاخه‌ای شامل چهار شاخه در هر نقطه اتصال، نایدو و همکاران (Naidu et al.,۱۹۹۷) برای شبکه های شاخه ای با شاخه های دوتایی، ردی و باهالامودی(Reddy and Bhallamudi,۲۰۰۴) برای شبکه های حلقوی، نیز مقاطع شماره گذاری شده است. به طور کلی استفاده از سیستم ویژه شماره گذاری مقاطع دشوار است. لذا الگوریتم های دیگری پیشنهاد شدند که دستگاه معادلات حاصل از هر شاخه را به گونه ای تفکیک می کنند که ابعاد ماتریس کل حداقل شود. این مدل ها توانایی بیشتری دارند. در این مقاله سه الگوریتم معرفی و ارزیابی می شوند که دو الگوریتم آن از روش های اخیر استفاده می کنند. در اولین الگوریتم ماتریس کل با روش حل هم زمان[۱] محاسبه می شود. در الگوریتم دوم پس از مرحله حذفی پیشرو مقاطع ابتدایی و انتهایی هر شاخه جدا می شوند و همراه با شرایط مرزی یک ماتریس کل با ابعاد $4M\times4M$ را به وجود می آورند. این ماتریس به روش حذفی گاوس حل می شود. در هر شاخه متغیر های جریان در مقاطع میانی با جایگزینی متغیرهای مقاطع ابتدایی و انتهایی بدست آمده از مرحله قبل محاسبه می شوند، (Sen and Garg,۲۰۰۲). در الگوریتم سوم از معادلات تغییر شکل یافته قطعه به قطعه در هر شاخه[۲] استفاده شده متغیرهای مقاطع ابتدایی و انتهایی به یکدیگر مربوط می شوند. این متغیرها به همراه شرایط مرزی داخلی و خارجی در ماتریس کل به به روش حذفی گاوس حل می شوند. ادامه مسئله مشابه روش قبل است (Schaffranek et al.,۱۹۸۱).

معادلات حاکم

جریان متغیر تدریجی غیر دائمی در یک کانال باز توسط معادلات سنت ونانت توصیف می شود، که شامل یک معادله اندازه حرکت و یک معادله پیوستگی می باشد. این معادلات به صورت زیر نوشته می شوند:

$$\frac{\partial Q}{\partial t}+\frac{\partial}{\partial x}(\frac{Q^2}{A})+gA\frac{\partial h}{\partial x}+gAS_f-gAS_0=0 \qquad (۱)$$

$$\frac{\partial h}{\partial t}+\frac{1}{B}\frac{\partial Q}{\partial x}=0 \qquad (۲)$$

A مساحت مقطع خیس، Q دبی عبوری از مقطع، h عمق آب ، g شتاب گرانش ، S_fشیب اصطکاکی، S_0 شیب کف کانال ، x و t مسافت و زمان و B عرض سطح آب در هر مقطع می باشد. عبارت شیب اصطکاکی S_f با استفاده از فرمول مانینگ تخمین زده می شود.

$$S_f=\frac{n^2Q|Q|}{A^2R^{\frac{4}{3}}} \qquad (۳)$$

n ضریب زبری و R شعاع هیدرولیکی می باشد. برای محاسبه جریان متغیر تدریجی دائمی، کافی است که در معادلات (۱) و (۲) جمله های وابسته به زمان حذف شوند.

شرایط مرزی

شرایط مرزی در مقاطع ورودی و خروجی شبکه و نیز در محل اتصالات شاخه‌ها تعریف می شود. معمولا دبی در مقاطع ورودی و تراز سطح آب در مقاطع خروجی به عنوان شرایط مرزی خارجی بیان می شود. در محل اتصالات شاخه‌ها شرایط مرزی داخلی با معادلات پیوستگی و انرژی توصیف می شود. معادله پیوستگی در هر مقطع به صورت ذیل نوشته می شود:

$$\sum Q_o-\sum Q_i=0 \qquad (۴)$$

اگر جریان در تمام شبکه، زیر بحرانی و افت انرژی در محل اتصال شاخه‌ها ناچیز باشد، معادله بقای انرژی با صرفنظر کردن از هد سرعت در هر نقطه اتصال به شکل زیر نوشته می شود:

---

[۱] Simultaneous solution method

[۲] Branch- segment transformation

$$h_i + Z_i = h_o + Z_o \qquad (۵)$$

در معادلات (۴) و (۵) زیرنویس‌های i و o بترتیب بیان کننده پارامترهای ورودی و خروجی می باشد.

معادلات تفاضل محدود

مدل تفاضل محدود معادلات (۱) و (۲) برای جریان دائمی با چشم پوشی از مشتقات زمان در کانال i برای دو مقطع عرضی j و $j+1$ به فاصله Δx نوشته می شود.

$$\frac{1}{\Delta x}\left\{\left(\frac{Q^2}{A}\right)_{i.(j+1)}-\left(\frac{Q^2}{A}\right)_{i.j}\right\}+g\,\frac{A_{i.j}+A_{i.(j+1)}}{2}\times\frac{h_{i.j}-h_{i.(j+1)}}{\Delta x}+gn^2\,\frac{1}{2}\left\{\left(\frac{Q|Q|}{A^2R^{\frac{4}{3}}}\right)_{i.j}+\left(\frac{Q|Q|}{A^2R^{\frac{4}{3}}}\right)_{i.(j+1)}\right\}-g\,\frac{A_{i.j}+A_{i.(j+1)}}{2}S_0=0 \qquad (۶)$$

$$Q_{i.(j+1)}-Q_{i.j}=0 \qquad (۷)$$

مجهولات دبی و عمق جریان در هر بازه برای دو مقطع عرضی j و $j+1$ با $h_{i,j}$، $Q_{i,j}$، $h_{i,j+1}$ و $Q_{i,j+1}$ مشخص می شوند.

الگوریتم حل

سیستم معادلات (۶) و (۷) غیر خطی است و به صورت زیر خلاصه می شود، (از زیرنویس i به منظور اختصار صرفنظر شده است).

$$Fm_j(h_j, Q_j, h_{j+1}, Q_{j+1}) = 0 \qquad (۸)$$

$$Fc_j(h_j, Q_j, h_{j+1}, Q_{j+1}) = 0 \qquad (۹)$$

توابع Fm_j و Fc_j به ترتیب نشان دهنده معادلات اندازه حرکت و پیوستگی هستند. با استفاده از روش نیوتن- رافسون برای این سیستم داریم:

$$\frac{\partial Fm_j}{\partial h_j}\Delta h_j+\frac{\partial Fm_j}{\partial Q_j}\Delta Q_j+\frac{\partial Fm_j}{\partial h_{j+1}}\Delta h_{j+1}+\frac{\partial Fm_j}{\partial Q_{j+1}}\Delta Q_{j+1}+Fm_j=0 \qquad (۱۰)$$

$$\frac{\partial Fc_j}{\partial h_j}\Delta h_j+\frac{\partial Fc_j}{\partial Q_j}\Delta Q_j+\frac{\partial Fc_j}{\partial h_{j+1}}\Delta h_{j+1}+\frac{\partial Fc_j}{\partial Q_{j+1}}\Delta Q_{j+1}+Fc_j=0 \qquad (۱۱)$$

در نتیجه مقادیر عمق و دبی در مقاطع j و $j+1$ با محاسبه Δh_j، ΔQ_j ، Δh_{j+1} و ΔQ_{j+1} در هر تکرار بروز می شوند. برای محاسبه این پارامترها در شبکه کانال ها سه الگوریتم پیشنهاد شده است که در اینجا توضیح داده می شود.

الگوریتم اول

در یک شبکه M شاخه‌ای (i=۱...M) با N_i مقطع عرضی (j=۱...N_j)، سیستم ماتریسی معادلات (۱۰) و (۱۱) به شکل زیر خلاصه می شود:

$$[R]\{\Phi\}+\{S\}=0 \qquad (۱۲)$$

که در آنجا $\{\Phi\}^T=\{\Delta h_{1,1},\Delta Q_{1,1},...,\Delta h_{1,N_1},\Delta Q_{1,N_1},\Delta h_{2,1},...,\Delta Q_{2,N_2},...,\Delta h_{M,N_M},...,\Delta Q_{M,N_M}\}^T$ بردار مجهولات با اندازه $L=M\times(2\times N_i)$ ، ماتریس $[R]$ با ابعاد $L\times L$ و بردار $\{S\}$ به اندازه L می باشد. سیستم معادلات (۱۲) خطی است و پس از اعمال شرایط مرزی با استفاده از الگوریتم های مرسوم نظیر روش حذفی گاوس حل می شود. ابعاد ماتریس $[R]$ مخصوصا زمانی که تعداد شاخه ها در شبکه زیاد باشد بسیار بزرگ می شود، در نتیجه زمان محاسبات و حجم ذخیره سازی بالا می رود. برای رفع این نقیصه الگوریتم های بعدی پیشنهاد شده است.

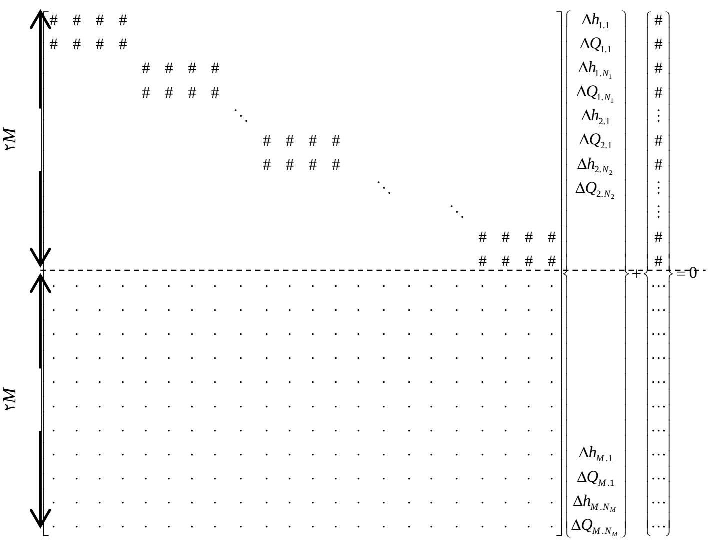
الگوریتم دوم

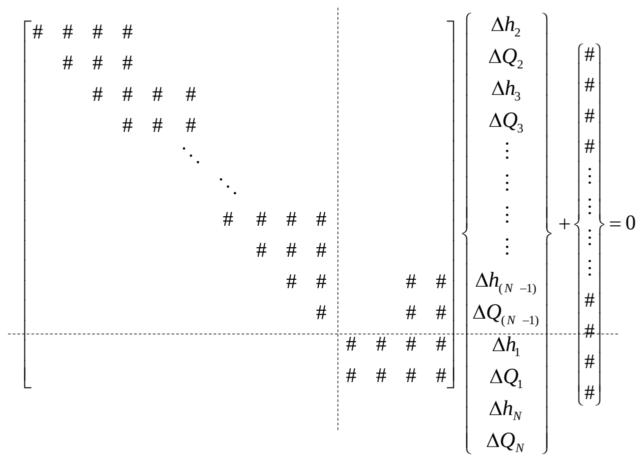
در الگوریتم سن و گارگ (Sen and Garg, ۲۰۰۲)، معادلات اندازه حرکت و پیوستگی در شاخه i مطابق شکل ۱ با چیدمان ویژه معادلات مرزی در انتهای دستگاه مرتب می شود. در این شکل مجهولات Δh_1، ΔQ_1 ، Δh_N و ΔQ_N متغیر های فعال [۳] نامیده می شوند.

$$\begin{bmatrix} \# & \# & \# & \# & & & & & & & & \\ \# & \# & \# & \# & & & & & & & & \\ & & \# & \# & \# & \# & & & & & & \\ & & \# & \# & \# & \# & & & & & & \\ & & & & & & \ddots & & & & & \\ & & & & & & & \# & \# & & \# & \# \\ & & & & & & & \# & \# & & \# & \# \\ \# & \# & & & & & & & & \# & \# & \\ \# & \# & & & & & & & & \# & \# & \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} \Delta h_2 \\ \Delta Q_2 \\ \Delta h_3 \\ \Delta Q_3 \\ \Delta h_4 \\ \Delta Q_4 \\ \vdots \\ \Delta h_{N-1} \\ \Delta Q_{N-1} \\ \Delta h_1 \\ \Delta Q_1 \\ \Delta h_N \\ \Delta Q_N \end{Bmatrix} + \begin{Bmatrix} Fm_2 \\ Fc_2 \\ Fm_3 \\ Fc_3 \\ \vdots \\ Fm_{N-1} \\ Fc_{N-1} \\ Fm_1 \\ Fc_1 \end{Bmatrix} = 0$$

شکل۱- دستگاه معادلات و ماتریس ژاکوبین یک شاخه

با روش حذفی پیشرو، ماتریس ژاکوبین در معادلات شکل ۱ به شکل ۲ تبدیل می شود. مطابق شکل ۲ برای هر شاخه دو معادله متناظر با مقاطع ابتدایی و انتهایی وجود دارد در نتیجه برای M شاخه در یک شبکه، ۲M معادله به دست می آید. مجموع شرایط مرزی داخلی و خارجی برای M شاخه از معادلات (۴) و (۵) نیز برابر ۲M معادله می شود. در شکل ۳ سیستم معادلات متناظر با مقاطع ابتدایی و انتهایی قبل از اعمال معادلات شرایط مرزی داخلی و خارجی برای کلیه شاخه های یک شبکه مرتب شده است.





[۳] Active variables

شکل۲- معادلات شاخه i بعد از اعمال روش حذفی پیشرو

شکل ۳- معادلات کل متغیر های فعال برای M شاخه در شبکه، قبل از اعمال شرایط مرزی

معادلات شرایط مرزی به نوع شبکه بستگی دارد به همین جهت درایه های مربوطه در ماتریس کل با نقطه چین نشان داده شده‌اند. ابعاد ماتریس کل ضرایب ۴M×۴M می باشد. متغیر های فعال هر شاخه در ماتریس کل با روش حل حذفی گاوس به دست می آیند. این متغیر ها در معادلات شکل ۲ برای هر شاخه قرار داده می شوند. متغیر های میانی با تکنیک حل جایگزینی پسرو محاسبه می شوند. این روند تا زمانی که مجموع خطاهای نسبی متغیر ها یعنی $\varepsilon = \left|\sum_j (\frac{\Delta h}{h} + \frac{\Delta Q}{Q})\right| < 0.0001$ باشد، ادامه می یابد.

الگوریتم سوم

در این الگوریتم از معادلات تغییر شکل یافته قطعه به قطعه در هر شاخه استفاده می گردد. معادلات (۱۰) و (۱۱) به صورت برداری به شکل زیر نوشته می شوند. (Schaffranek et al., ۱۹۸۱)

$$B_j \Delta S_j + C_j \Delta S_{j+1} + D_j = 0 \tag{۱۳}$$

که در آن:

$$\Delta S_{j+1} = \begin{bmatrix} \Delta h_{j+1} \\ \Delta Q_{j+1} \end{bmatrix}; \quad B_j = \begin{bmatrix} \frac{\partial Fm_j}{\partial h_j} & \frac{\partial Fm_j}{\partial Q_j} \\ \frac{\partial Fc_j}{\partial h_j} & \frac{\partial Fc_j}{\partial Q_j} \end{bmatrix}; \quad C_j = \begin{bmatrix} \frac{\partial Fm_j}{\partial h_{j+1}} & \frac{\partial Fm_j}{\partial Q_{j+1}} \\ \frac{\partial Fc_j}{\partial h_{j+1}} & \frac{\partial Fc_j}{\partial Q_{j+1}} \end{bmatrix}; \quad D_j = \begin{bmatrix} Fm_j \\ Fc_j \end{bmatrix}; \quad j = 1,2,3,..,(N_i - 1)$$

معادله (۱۳) پس از چینش دوباره به صورت زیر نوشته می شود.

$$\Delta S_{j+1} = F_j \Delta S_j + G_j \tag{۱۴}$$

$$F_j = -C_j^{-1} B_j \qquad ; \qquad G_j = -C_j^{-1} D_j$$

با توجه به تغییرات j=۱,...,N_i-۱ مقدار ΔS_{N_i} بر حسب مقادیر ماقبل از فرمول تکراری (۱۴) محاسبه می شود.

$$\Delta S_{N_i} = F \Delta S_1 + G \tag{۱۵}$$

که در آنجا:

$$F = F_j F_{j-1} \cdots F_3 F_2 F_1 = \begin{bmatrix} f_{11} & f_{12} \\ f_{21} & f_{22} \end{bmatrix} \qquad ;$$

$$G = G_j + F_j \{G_{j-1} + F_{j-1}[G_{j-2} + F_{j-2}(G_{j-3} + \cdots) \cdots + F_3(G_2 + F_2 G_1)] \cdots\} = \begin{Bmatrix} G_1 \\ G_2 \end{Bmatrix}$$

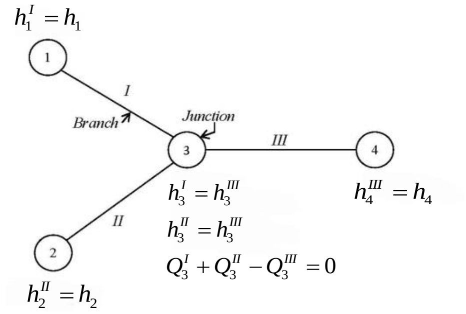
معادله برداری (۱۵) از دو معادله برای هر شاخه تشکیل شده است و برای M شاخه ۲M معادله را می سازد. با اعمال شرایط مرزی داخلی و خارجی، مشابه آنچه قبلا گفته شد، نهایتا ۴M معادله به وجود می آید. به عبارت دیگر ابعاد ماتریس ضرایب کل به ۴M×۴M می رسد. این معادلات از روش حذفی گاوس حل می شود. به عنوان مثال، یک شبکه ساده افقی شامل دو کانال ورودی I و II در بالادست و یک کانال خروجی III در پایین دست مطابق شکل ۴ را در نظر بگیرید. عمق جریان در مقاطع ورودی ۱ و ۲ و مقطع خروجی ۴ معلوم است. شرایط مرزی داخلی شامل معادلات انرژی و پیوستگی در گره میانی ۳ در همان شکل نشان داده شده است. معادلات کل متغیر های فعال منتج از سیستم معادلات (۱۵) به همراه شرایط مرزی داخلی و خارجی در شکل ۵ نشان داده شده‌اند. با جایگزینی متغیر های فعال، در معادله (۱۴) متغیر های مقاطع میانی نیز به دست می آیند. بردار جدید S_j شامل مقادیر h و Q در تکرار k+۱ام به شرح زیر به‌روز رسانی می شوند.

$$S_j^{k+1} = S_j^k + \Delta S_j \tag{۱۴}$$

محاسبات تا زمانی که مجموع خطاهای نسبی متغیر ها یعنی $0.0001 > \left|\sum_j \left(\frac{\Delta h}{h} + \frac{\Delta Q}{Q}\right)\right| = \varepsilon$ باشد، ادامه می یابد.

$$\begin{bmatrix}
f_{11}^{I} & f_{12}^{I} & -1 & & & & & & & & & \\
f_{21}^{I} & f_{22}^{I} & & -1 & & & & & & & & \\
 & & & & f_{11}^{II} & f_{12}^{II} & -1 & & & & & \\
 & & & & f_{21}^{II} & f_{22}^{II} & & -1 & & & & \\
 & & & & & & & & f_{11}^{III} & f_{12}^{III} & -1 & \\
 & & & & & & & & f_{21}^{III} & f_{22}^{III} & & -1 \\
 & & 1 & & & & & & -1 & & & \\
 & & & & & & 1 & & -1 & & & \\
 & & & 1 & & & & 1 & & -1 & & \\
1 & & & & & & & & & & & \\
 & & & & 1 & & & & & & & \\
 & & & & & & & & & & 1 &
\end{bmatrix}
\begin{Bmatrix}
\Delta h_1^{I} \\ \Delta Q_1^{I} \\ \Delta h_3^{I} \\ \Delta Q_3^{I} \\ \Delta h_2^{II} \\ \Delta Q_2^{II} \\ \Delta h_3^{II} \\ \Delta Q_3^{II} \\ \Delta h_3^{III} \\ \Delta Q_3^{III} \\ \Delta h_4^{III} \\ \Delta Q_4^{III}
\end{Bmatrix}
= -
\begin{Bmatrix}
G_1^{I} \\ G_2^{I} \\ G_1^{II} \\ G_2^{II} \\ G_1^{III} \\ G_2^{III} \\ h_3^{I} - h_3^{III} \\ h_3^{II} - h_3^{III} \\ Q_3^{I} + Q_3^{II} - Q_3^{III} \\ h_1 \\ h_2 \\ h_4
\end{Bmatrix}$$

شکل۵- ماتریس ضریب برای شبکه نشان داده شده در شکل۴



شکل۴- یک شبکه ساده

حل ماتریس کل

همانطور که دیده شد ماتریس کل پراکنده است. مجهولات با استفاده از روش مرسوم حل ماتریس پراکنده محاسبه می شوند. در این روش تنها عناصر غیر صفر ذخیره می شوند در نتیجه حجم ذخیره سازی کاهش می یابد. آنگاه ماتریس کل با روش LU تجزیه می شود. L یک ماتریس پایین مثلثی و U بالا مثلثی می باشد. با مقایسه دو روش حل حذفی گاوس و تجزیه LU نتیجه می شود که روش تجزیه LU سه برابر سریع تر به جواب می رسد.

نتایج عددی

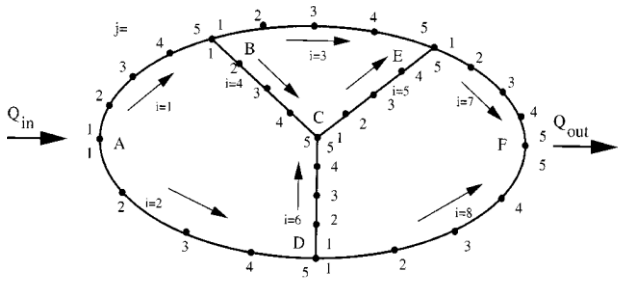
الگوریتم های مختلف عددی برای یک شبکه کانال حلقوی با مقاطع ذوزنقه ای مطابق شکل ۶ به کار برده شد. مشخصات کانال ها در جدول ۱ داده شده است. جریان در تمام شاخه ها زیر بحرانی و شیب بدنه کانال ۱/۵ افقی به ۱ عمودی می باشد. دبی جریان ورودی ۲۵۰ m^3/s و تراز آب در پایین دست (مقطع F در شکل ۶) برابر ۵m می باشد. ضریب هد سرعت یک و افت جریان ناچیز است(Chaudhry, ۱۹۹۳).

هر شاخه به چهار بازه تقسیم گردید. حل مسئله با الگوریتم های مختلف تا رسیدن به جواب های یکسان ادامه یافت. در جدول ۲ دبی و تراز آب در شاخه های مختلف شبکه نشان داده شده است. دبی بر حسب m^3/s و تراز سطح آب بر حسب m می باشد.

جدول ۱- مشخصات کانال

شماره کانال	طول کل کانال (m)	عرض کانال (m)	طول بازه (m)	ضریب زبری n	شیب کانال S.
۱	۲۰۰	۳۰	۵۰	۰/۰۱۳	۰/۰۰۰۵
۲	۲۰۰	۴۰	۵۰	۰/۰۱۳	۰/۰۰۰۵
۳	۲۰۰	۲۰	۵۰	۰/۰۱۲	۰/۰۰۰۵
۴	۱۰۰	۲۰	۲۵	۰/۰۱۴	۰/۰۰۰۵

۵	۱۰۰	۲۰	۲۵	۰/۰۱۳	۰/۰۰۰۵
۶	۱۰۰	۲۵	۲۵	۰/۰۱۳	۰/۰۰۰۵
۷	۱۰۰	۳۰	۲۵	۰/۰۱۴	۰/۰۰۰۵
۸	۳۰۰	۵۰	۷۵	۰/۰۱۴	۰/۰۰۰۵



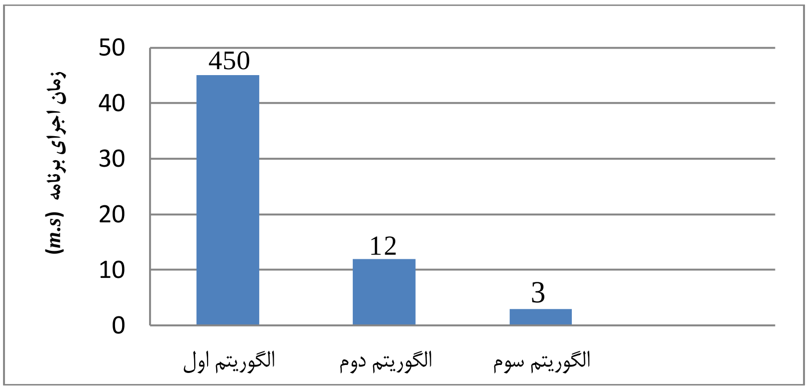
شکل ۶ –شبکه کانال حلقوی

جدول ۲- تراز آب و دبی در شبکه شکل ۶

شماره مقطع	کانال ۱		کانال ۲		کانال ۳		کانال ۴		کانال ۵		کانال ۶		کانال ۷		کانال ۸	
	Q=۹۵/۷۴۸		Q=۱۵۴/۲۵۲		Q=۵۵/۰۰۳		Q=۴۰/۶۵۵		Q=۵۲/۶۶۹		Q=۱۲/۰۱۴		Q=۱۰۷/۷۶۲		Q=۱۴۲/۲۳۸	
	فاصله از ابتدای شاخه (m)	تراز آب (m)	فاصله از ابتدای شاخه (m)	تراز آب (m)	فاصله از ابتدای شاخه (m)	تراز آب (m)	فاصله از ابتدای شاخه (m)	تراز آب (m)	فاصله از ابتدای شاخه (m)	تراز آب (m)	فاصله از ابتدای شاخه (m)	تراز آب (m)	فاصله از ابتدای شاخه (m)	تراز آب (m)	فاصله از ابتدای شاخه (m)	تراز آب (m)
۱	۰	۴/۷۵۴	۰	۴/۷۵۴	۰	۴/۸۵۳	۰	۴/۸۵۳	۰	۴/۹۰۲	۰	۴/۸۵۲	۰	۴/۹۵۱	۰	۴/۸۵۲
۲	۵۰	۴/۷۷۹	۵۰	۴/۷۷۹	۵۰	۴/۸۷۷	۲۵	۴/۸۶۵	۲۵	۴/۹۱۴	۲۵	۴/۸۶۴	۲۵	۴/۹۸۶	۷۵	۵/۸۶۰
۳	۱۰۰	۴/۸۰۳	۱۰۰	۴/۸۰۳	۱۰۰	۴/۹۰۲	۵۰	۴/۶۷۷	۵۰	۴/۹۲۷	۵۰	۴/۸۷۶	۵۰	۴/۹۷۹	۱۵۰	۴/۹۲۶
۴	۱۵۰	۴/۸۲۸	۱۵۰	۴/۸۲۸	۱۵۰	۴/۹۲۷	۷۵	۴/۸۰۰	۷۵	۴/۹۳۹	۷۵	۴/۸۸۹	۷۵	۴/۹۸۸	۲۲۵	۴/۹۶۳
۵	۲۰۰	۴/۸۵۳	۲۰۰	۴/۸۵۲	۲۰۰	۴/۹۵۱	۱۰۰	۴/۹۰۲	۱۰۰	۴/۹۵۲	۱۰۰	۴/۹۰۲	۱۰۰	۵/۰۰۰	۳۰۰	۵/۰۰۰

مقایسه الگوریتم ها

کد برنامه در محیط نرم افزار MATLAB نوشته و اجرا شد. زمان محاسبات مقیاس مناسبی برای مقایسه مطلوبیت الگوریتم‌های مختلف است. نتایج در نمودار میله‌ای شکل ۷ نشان داده شده است. بر این اساس الگوریتم سوم در حدود چهار برابر سریعتر از الگوریتم دوم و صدو پنجاه برابر سریعتر از الگوریتم اول به جواب می رسد. لازم به توضیح است که اگر از تکنیک ماتریس پراکنده(Sparse) برای حل ماتریس کل استفاده شود حداقل دو برابر سریع تر به جواب می رسد. ضمنا روش تجزیه LU برای ماتریس کل، حدود سه برابر سریع تر از روش حل حذفی گاوس است.



شکل ۷- مقایسه زمان محاسبات برای الگوریتم های مختلف

نتیجه گیری

برای حل جریان متغیر تدریجی دائمی در شبکه کانال های باز، معادلات سنت ونانت با روش تفاضل محدود گسسته سازی شد. سپس از روش نیوتن- رافسون برای حل معادلات غیر خطی گسسته استفاده گردید. سه الگوریتم مختلف برای محاسبات متغیر های مجهول در مقاطع هر شاخه بررسی شدند. الگوریتم اول روش حل هم زمان بود که در آن تمامی متغیرهای مقاطع هر شاخه در کل شبکه به همراه شرایط مرزی داخلی و خارجی در یک ماتریس کل به طور همزمان حل شدند. ابعاد این ماتریس بسیار بزرگ بود. در الگوریتم دوم متغیرهای فعال هر شاخه بعد از مرحله حذفی پیشرو به همراه شرایط مرزی در ماتریس کل جایگزین و محاسبه شدند. متغیرهای میانی با استفاده از متغیرهای فعال با روش جایگزینی پسرو بدست آمدند. در الگوریتم سوم از روش تغییر شکل یافته قطعه به قطعه در هر شاخه استفاده شد. این روش متغیرهای ابتدایی و انتهایی هر شاخه را به یکدیگر مرتبط می کند. با قراردادن این متغیرها به همراه معادلات شرایط مرزی در ماتریس کل مجهولات(متغیرهای فعال) به روش حذفی گاوس بدست آمدند. متغیرهای فعال در معادلات تغییرشکل یافته قطعه به قطعه در هر شاخه جایگزین شدند. با حل این معادلات متغیرهای میانی حاصل شدند. مقایسه زمان اجرا در محیط نرم افزار MATLAB برای یک شبکه حلقوی نسبتا ساده نشان داد که روش سوم حداقل چهار برابر سریع تر از روش دوم و صدو پنجاه برابر سریعتر از روش اول به جواب رسید. در نتیجه در زمان محاسبات و حجم ذخیره سازی اطلاعات به طور قابل توجهی صرفه جویی شد. ماتریس کل در این الگوریتم ها، از روش تجزیه بالا و پایین مثلثیLU حل شد. این شیوه سه برابر سریع تر از روش حل حذفی گاوس به نتیجه رسید.

مراجع

Chaudhry, M. H. (۱۹۹۳). Open channel flow. Prentice-Hall., Englewood Cliffs., N.J.

Chaudhry, M. H., and Schulte, A. (۱۹۸٦). Computation of steady-state gradually varied flows in channels. Can. J. Civ. Eng., Vol. ۱۳, No. HY ۱.

Naidu, B. J., Bhallamudi, S. M., and Narasimhan, S. (۱۹۹۷). GVF computation in tree-type networks.J.Hydraul. Eng., ASCE, Vol.۱۲۳, No.HY ۸.

Nguyen, Q. K., and Kawano, H. (۱۹۹٥).Simultaneous solution for flood routing in channel networks. J. Hydraul. Eng., ASCE, Vol. ۱۲۱, No. HY ۱۰.

Reddy, H. P., and Bhallamudi, S. M. (۲۰۰٤). Gradually varied flow computation in cyclic looped channel networks.J. Irrig. Drain. Eng., ASCE, Vol. ۱۳۰, No.HY ٥.

Schaffranek, R. W., Baltzer, R. A., and Goldberg, D. E. (۱۹۸۱).A model for simulation of flows in singular and interconnected channels.Techniques of Water-Resources Investigation Report, Chapter C۳, U.S. Geological Survey, Denver.

Schulte, A. M., and Chaudhry, M. H. (۱۹۸۷). Gradually-varied flow in open-channel networks. J. Hydraul. Res., Vol. ۲٥, No.HY ۳.

Sen, D. J., and Garg, N. K. (٢٠٠٢).Efficient algorithm for gradually varied flows in channel networks.J. Irrig. Drain. Eng., ASCE, Vol. ١٢٨, No. HY ٦.