

عنوان : ضرورت توجه به شرایط مرزی در مدل های عددی آلودگی

مؤلفین به ترتیب :

مریم مرید نژاد، دانشجوی سابق کارشناسی ارشد رشته مهندسی آبیاری و زهکشی، دانشگاه تهران، پردیس ابوریحان -
کارشناس شرکت مهندسین مشاور سامان آبراه ، تلفن همراه : ۰۹۱۲۳۸۶۳۵۴۶
آدرس محل کار: تهران، سعادت آباد، خیابان ۲۵ (قره تپه ای)، پلاک ۹۷

Email: m.moridnejad@gmail.com

محمد ابراهیم بنی حبیب، استادیار دانشگاه تهران، پردیس ابوریحان، دانشکده مهندسی کشاورزی، گروه مهندسی
آبیاری و زهکشی
Email: Ebrahimik@ut.ac.ir

کیومرث ابراهیمی، استادیار دانشگاه تهران، پردیس ابوریحان، دانشکده مهندسی کشاورزی، گروه مهندسی آبیاری و
زهکشی
Email: Banihabib@ut.ac.ir

آدرس تماس : کیلومتر ۲۰ بزرگراه امام رضا (ع) - پاکدشت - پردیس ابوریحان - دانشگاه تهران (ک پ: ۳۹۷۵۴)
گروه مهندسی آبیاری و زهکشی، نمابر : ۰۲۹۲۳۰۲۵۳۶۶

عنوان : ضرورت توجه به شرایط مرزی در مدل های عددی آلودگی

چکیده :

در راستای ضرورت مطالعه انتقال آلودگی از آبهای زیرزمینی به آبهای سطحی و ردیابی آن در مسیر آبهای سطحی، معادله یک بعدی همرفت به روش عددی **Upstream** حل شد. ضمناً جهت کنترل عملکرد مدل عددی، مدل فیزیکی ساخته و شرایط آزمایشات انجام شده بعنوان شرایط ورودی مرزی در این مدل استفاده شد. مسئله بسیار مهم در این مدل های عددی، غلظت ردیاب در محل ورود به کانال است (شرایط مرزی بالادست). در این مقاله مدل عددی **Upstream** بعنوان نمونه آورده شده است. در دو حالت جداگانه غلظت مرز بالادست در این مدل عددی با نمونه برداری مستقیم از کانال و به روش محاسباتی قرار داده شد. نتایج نشان می دهد که در اندازه گیری انجام شده از کانال، نمونه از یک نقطه و قبل از اختلاط کامل ردیاب با آب سطحی برداشت شده است. این مسئله باعث شده تا غلظت نمونه برداشت شده نسبت به داده های اندازه گیری شده در طول مدل بسیار بالا باشد و نتایج صحیحی بدست نیاید. در حالت دوم مرز با استفاده از معادله پیوستگی محاسبه شد. نتایج بدست آمده از شبیه سازی مدل عددی در این شرایط با داده های مدل فیزیکی در یک محدوده قرار گرفته اند. در واقع مقدار محاسباتی دقیق و بر اساس اختلاط غلظت ردیاب با آب سطحی صورت گرفته است. با مقایسه نتایج مدل فیزیکی و عددی می توان نتیجه گیری کرد که هنگام خروج آلاینده از محیط متخلخل توزیع آن یکنواخت نگردیده و جریان آشفته کانال باعث می شود که این یکنواختی در ۱۰۰ سانتی متر اول حاصل شود.

کلید واژه ها: روش **Upstream**، مدل فیزیکی، انتقال آلودگی از آبهای زیرزمینی به آبهای سطحی، مرز بالادست

۱- مقدمه

افزایش مقدار آلودگیهای شهری، باعث آلوده شدن منابع آبهای سطحی و زیر زمینی گشته و در واقع مشکل اصلی که با توسعه شهرنشینی همراه بوده است، پایین آمدن کیفیت منابع آب می باشد [۱]. تعدادی از هیدرولوژیست ها از مدتها پیش بر ارتباط بین دو منبع آبهای زیر زمینی و آبهای سطحی تاکید داشته اند [۲] و [۴]، ولی تعدادی از مدیران منابع آب تا مدتها با این دو منبع بطور جداگانه برخورد می کردند. امروزه همه بر این مسئله که این دو منبع در واقع بطور هیدرولیکی با هم در ارتباطند، اذعان می کنند. اگرچه در بسیاری از موارد آبهای سطحی بوسیله ناحیه غیر اشباع از آبهای زیر زمینی جدا گشته اند، اما نشت از هر دو منبع به دیگری امکانپذیر است. با گسترش کشاورزی و افزایش استفاده از منابع آب، دانشمندان دریافتند که توسعه هر یک از منابع سطحی و زیرزمینی بر کیفیت و کمیت دیگری تاثیر گذار خواهد بود [۵].

۲- تعریف مسئله

در راستای ضرورت مطالعه انتقال آلودگی از آبهای زیرزمینی به آبهای سطحی و ردیابی آن در مسیر آبهای سطحی، معادله یک بعدی همرفت به روش عددی **Upstream** حل شد. ضمناً جهت کنترل عملکرد این مدل عددی، مدل فیزیکی ساخته و شرایط آزمایشات انجام شده بعنوان شرایط ورودی مرزی و اولیه آن استفاده شد. مسئله بسیار مهم در این مدل های عددی، غلظت ردیاب در محل ورود به کانال است (شرایط مرزی بالادست). اگر این کار بدرستی انجام

نشود نتایج مدل های عددی نیز قابل قبول نخواهد بود. بدین منظور در این مقاله در دو حالت مختلف غلظت در مرز بالادست بعنوان ورودی در مدل عددی Upstream قرار گرفته است سپس مقایسه ای بین نتایج صورت گرفته است.

۳- معادله حاکم

مسائل آلودگیهای محیطی در رودخانه ها، سواحل و هوا را می توان با استفاده از مدل های ریاضی تحلیل کرد. در این نوع مسائل، مجهول C غلظت ماده آلوده کننده بعنوان یک کمیت عددی فیزیکی است که همان جرم آلاینده است و می تواند هر نوع آلودگی را شامل شود [۶].

یکی از معادلات دیفرانسیل جزئی (PDE) در این حالت، معادله Pure Advection است. در این تحقیق مدل عددی Upstream برای حل معادله (۱) بکار رفته است که در آن u سرعت و C غلظت ماده آلوده کننده می باشد.

۴- معرفی مدل عددی (First order Upwind) Upstream

فرض کنیم در معادله همرفت، مشتقات زمانی را پیشرو (Forward) و مشتقات مکانی را پسرو (Backward) استفاده کنیم [۳].

$$\frac{\partial c}{\partial t} + u \frac{\partial c}{\partial x} = 0 \quad (1)$$

خواهیم داشت:

(۲)

$$\left(\frac{\partial c}{\partial t}\right)_j^n = -u \left(\frac{\partial c}{\partial x}\right)_j^n + H.O.T \quad \text{و یا} \quad (3)$$

$$\left(\frac{c_j^{n+1} - c_j^n}{\Delta t}\right) + u \left(\frac{c_j^n - c_{j-1}^n}{\Delta x}\right) = 0 \quad (4)$$

آنگاه می توان نتیجه گرفت که:

$$\frac{c_j^{n+1} - c_j^n}{\Delta t} = -u \left(\frac{c_j^n - c_{j-1}^n}{\Delta x}\right) \quad \text{و یا} \quad (5)$$

$$c_j^{n+1} = c_j^n - u \frac{\Delta t}{\Delta x} c_j^n + \frac{u \Delta t}{\Delta x} c_{j-1}^n$$

و با این فرض خواهیم داشت:

منظور از Cr ، عدد کورانت می باشد.

$$Cr = \frac{u \Delta t}{\Delta x}$$

$$\boxed{c_j^{n+1} = c_j^n - Cr (c_j^n - c_{j-1}^n)} \quad (6)$$

از معادله (۶) بعنوان معادله اصلی در محاسبات عددی استفاده می شود.

۵- مدل فیزیکی

با توجه به اهمیت بررسی مسئله نشت آلودگی از آبهای زیرزمینی به آبهای سطحی، مدل فیزیکی جهت شبیه سازی این پدیده ساخته شد. در این مدل بخشی از یک محیط متخلخل فرضی به همراه قسمتی از یک رودخانه فرضی مدل شده است. این مدل فیزیکی می تواند پدیده ترکیبی انتقال آلودگی را در محیط متخلخل و آزاد شبیه سازی کند. اندازه گیری های کمی تنها در مسیر آب آزاد انجام شد و محیط متخلخل بصورت کیفی مورد بررسی قرار گرفت.

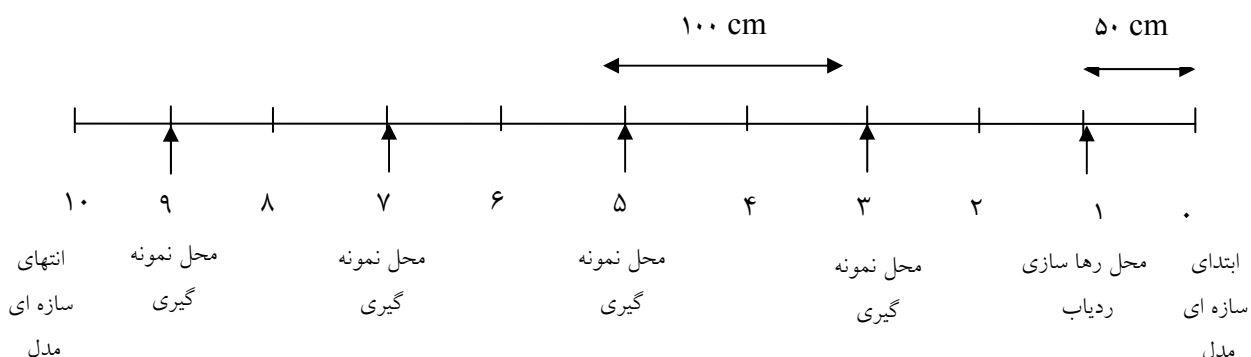
مدل فیزیکی تهیه شده شامل کانالی است به طول حدود ۵ متر که حدود ۰/۵ متر آن برای شبیه سازی محیط متخلخل اختصاص داده شد. آب مورد نیاز در مدل، در یک مخزن ذخیره شده و پس از شروع آزمایش از طریق لوله مکش پمپ از پائین وارد آن شده و بتدریج در محیط متخلخل جریان می یابد.

در این مدل از ماسه با دانه بندی ۱/۱۸ تا ۲ میلیمتر برای تشکیل محیط متخلخل استفاده شده است. آب پس از خروج از محیط متخلخل وارد کانال شده و در نهایت از انتهای آن خارج می شود. مخزن ردیاب در بالای مدل تعبیه شده است که لوله ای با قطر ۳ میلیمتر به آن متصل است. این لوله در عمق ۱۰ سانتی متری محیط متخلخل قرار گرفته است. پس از شروع آزمایش ردیاب از طریق این لوله وارد محیط متخلخل می شود و همراه جریان آب وارد کانال می گردد.

۶- نحوه نمونه گیری از آب در کانال

کل طول کانال ۵ متر بود که به ۱۰ نقطه با فواصل ۰/۵ متری تقسیم شد. نقطه شماره ۱ در محل رهاسازی ردیاب در محیط متخلخل در نظر گرفته شد و ۹ نقطه بعدی در طول کانال منظور شدند. در آزمایشات انجام شده، در نقاط ۳، ۵، ۷ و ۹ از شکل (۱) نمونه گیری به عمل آمد. در زمان $t=0$ شیر مخزن ردیاب باز شد و در ۴ محل بوسیله سرنگ از آب نمونه گرفته شد. به ترتیب این کار در زمانهای ۶۰، ۹۰، ۱۵۰، ۲۱۰، ۲۷۰ و ۳۳۰ ثانیه تکرار شد. در زمان نمونه گیری سعی شد تا تمام نمونه ها از خط مرکزی کانال تهیه شوند. سپس نمونه های برداشت شده جهت تعیین غلظت مورد استفاده قرار گرفتند.

همچنین یک نمونه نیز از محل خروج ردیاب از ماسه تهیه شد و در نهایت ۲۵ نمونه آب جهت انجام آزمایشات تعیین غلظت تهیه شد.



شکل (۱) - تصویر شماتیک از محل های نمونه گیری در کانال

۷- شرایط مرز بالادست در حالت اول

در اندازه گیریهای صورت گرفته، غلظت ردیاب در محل خروج از ماسه و ورود به جریان آزاد اندازه گیری شد. مقدار غلظت رها شده در محیط متخلخل ۱ گرم در لیتر و مقدار ثبت شده آن در مرز محیط متخلخل و جریان آزاد ۰/۱۲ گرم در لیتر بود. در شبیه سازی حالت اول این عدد بعنوان غلظت در مرز بالادست در مدل عددی قرار داده شد و نتایج شبیه سازی های انجام شده با نتایج مدل فیزیکی در شکل (۲) مقایسه گردید.

۸- شرایط مرز بالادست در حالت دوم

در حالت دوم غلظت در مرز بالادست با استفاده از معادله پیوستگی محاسبه شد. بدین صورت که فرض شد ردیاب پس از ظهور در آبهای سطحی با آب کاملاً مخلوط شده و دبی نازل ردیاب با دبی آب کانال کاملاً ترکیب می شود.

$$M = Q_N C_N$$

M : جرم پرمنگنات تزریقی

Q_N : دبی نازل

C_N : غلظت ردیاب

پس از وارد شدن ردیاب در آبهای سطحی بین دبی ردیاب و دبی جریان اختلاط کامل صورت می پذیرد.

$$C_C = \frac{M}{Q_N + Q_C}$$

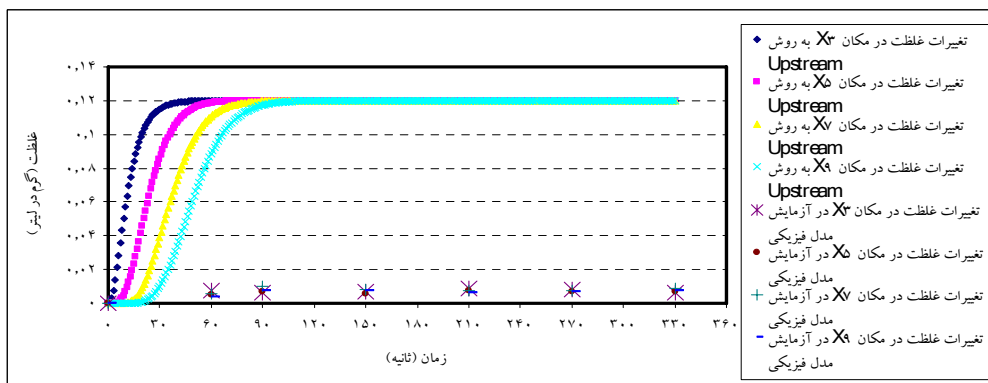
C_C : غلظت ردیاب در مرز بالادست

Q_C : دبی کانال

مقدار غلظت محاسباتی ۰/۰۰۷۴ گرم در لیتر بدست آمد در شبیه سازی حالت دوم این عدد بعنوان غلظت در مرز بالادست در مدل عددی قرار داده شد و نتایج شبیه سازی های انجام شده با نتایج مدل فیزیکی در شکل (۳) مقایسه گردید.

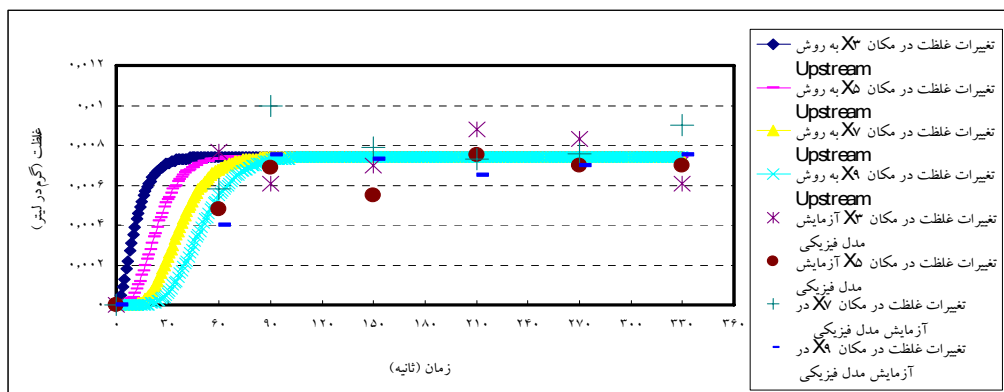
۹- مقایسه نتایج مدل های عددی در دو شرایط مختلف مرز بالادست با نتایج مدل فیزیکی

در شکل (۲) نتایج شبیه سازی شده مدل Upstream در حالت اول مرز بالادست به همراه نتایج آزمایش انجام شده در مدل فیزیکی ارائه شده است..



شکل (۲)- مقایسه نتایج مدل فیزیکی با مدل عددی Upstream در حالت اول مرز بالادست

در شکل (۳) نتایج شبیه سازی شده مدل Upstream در حالت دوم مرز بالادست به همراه نتایج آزمایش انجام شده در مدل فیزیکی ارائه شده است..



شکل (۳) - مقایسه نتایج مدل فیزیکی با مدل عددی Upstream در حالت دوم مرز بالادست

۱۰- بحث و نتیجه گیری

همانطور که در شکل (۲) نیز مشاهده می شود مقادیر داده های شبیه سازی شده به حدی بالاست که داده های مدل فیزیکی در برابر آن بسیار کوچکند. غلظت ردیاب ورودی به محیط متخلخل ۱ گرم در لیتر، در حالیکه غلظت اندازه گیری شده ۰/۱۲ گرم در لیتر می باشد. علت کاهش غلظت تا حدودی پدیده جذب و بیشتر انتشار ردیاب در محیط متخلخل می باشد. در اندازه گیری انجام شده، نمونه از یک نقطه و قبل از اختلاط کامل ردیاب با آب سطحی برداشت شده است. این مسئله باعث شده تا غلظت نمونه برداشت شده نسبت به داده های اندازه گیری شده در طول مدل بسیار بالا باشد. با قرار دادن غلظت نمونه بعنوان غلظت ورودی در مدل عددی، اختلاف فاحشی بین نتایج مدل فیزیکی و مدل عددی ایجاد شده است. در این حالت، پیش از یکنواخت شدن و به تعادل رسیدن غلظت ردیاب در مرز، نمونه برداری انجام شده است و نتایج نشان می دهد که غلظت خروجی از محیط متخلخل با آب سطحی به تعادل نرسیده است. برای رسیدن به نتایج قانع کننده می بایست در محل تداخل آب زیرزمینی و آب سطحی بعد از اختلاط کامل، در شبکه ای از نقاط نمونه گیری انجام شود.

در حالت دوم مرز بالادست بصورت محاسباتی و با استفاده از معادله پیوستگی بدست آمده است (۰/۰۷۴ گرم در لیتر). نتایج شبیه سازی مدل عددی با داده های مدل فیزیکی در یک محدوده قرار گرفته اند. در واقع مقدار محاسباتی دقیق و پس از یکنواخت شدن غلظت ردیاب خروجی و به تعادل رسیدن آن با آب سطحی، بدست آمده است. بطور کلی می توان گفت در نمونه برداری ها مسئله یکنواخت شدن غلظت در مرز بسیار مهم است اگر نمونه برداری قبل از یکنواخت شدن غلظت خروجی از محیط متخلخل انجام شود و بعنوان مرز در مدل عددی استفاده شود، نتایج آن قابل قبول نخواهند بود. با مقایسه نتایج مدل فیزیکی و عددی می توان نتیجه گیری کرد که هنگام خروج آلاینده از محیط متخلخل توزیع آن یکنواخت نگردیده و جریان آشفته کانال باعث می شود که این یکنواختی در ۱۰۰ سانتی متر اول حاصل شود.

- ۱- **Barone Victoria Ann** (۲۰۰۰) “ *Modeling the Impacts of Land Use Activities on the Subsurface Flow Regime of the Upper Roanoke River Watershed* ”
- ۲- **Rorabaugh, M. I** (۱۹۶۴) “*Estimating changes in bank storage and groundwater contributions to stream flow.*” *Publ. ۶۳, International Association of Scientific Hydrology*, Wallingford, U.K., ۴۳۲-۴۴۱.
- ۳- **Tannehill, J. C., Anderson, D. A. and Pletcher, R. H.**, (۱۹۹۷), “*Computational Fluid Mechanics and Heat Transfer*”, ۲th Ed., Taylor & Francis, pp ۷۹۲, USA.
- ۴- **Theis, C. V** (۱۹۴۱) “*the effect of a well on the flow of a nearby stream.*” *Transactions of the American Geophysical Union*. ۲۲, no. ۳: ۷۳۴-۷۳۸.
- ۵- **Winter, T. C., Harvey, J. W., Franke, O. L., and Alley, W. M.** (۱۹۹۹) “*Ground water and surface water: A single resource Circular.*” U.S. Geological Survey, Washington, D.C.

۶- طاهر شمسی، احمد (۱۳۷۹) "هیدرولیک محاسباتی"، چاپ اول، انتشارات دانشگاه صنعتی امیرکبیر.