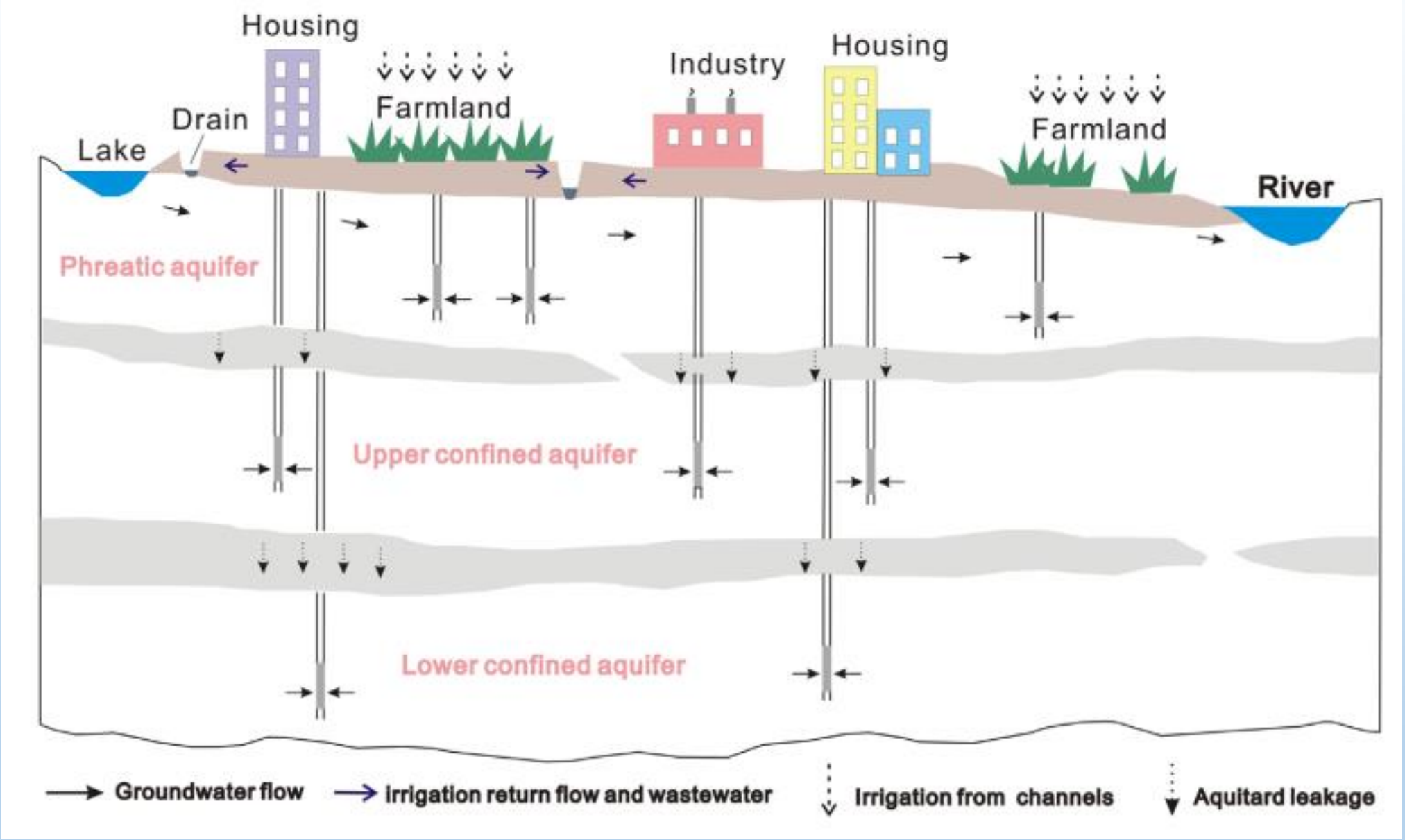
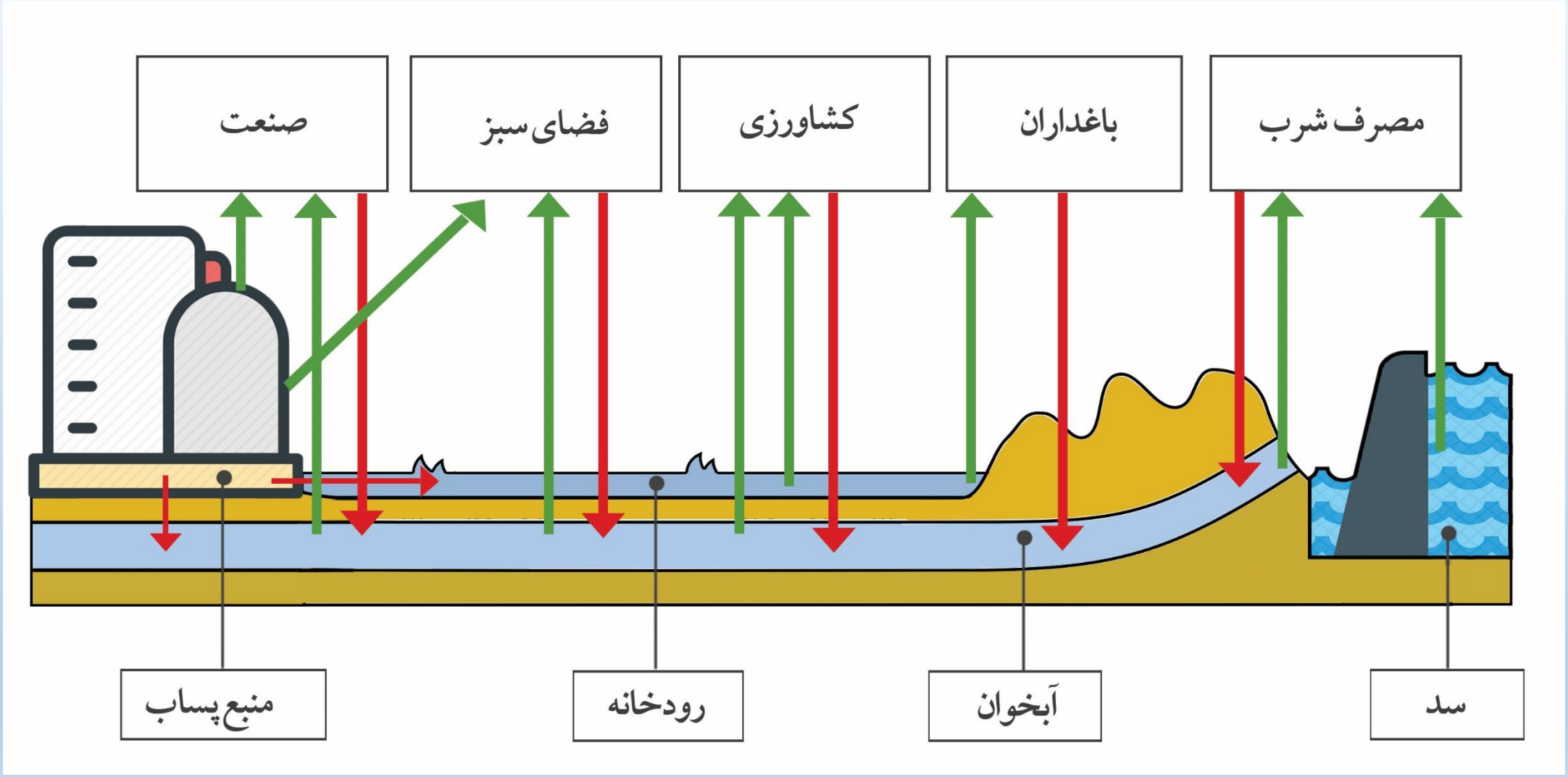
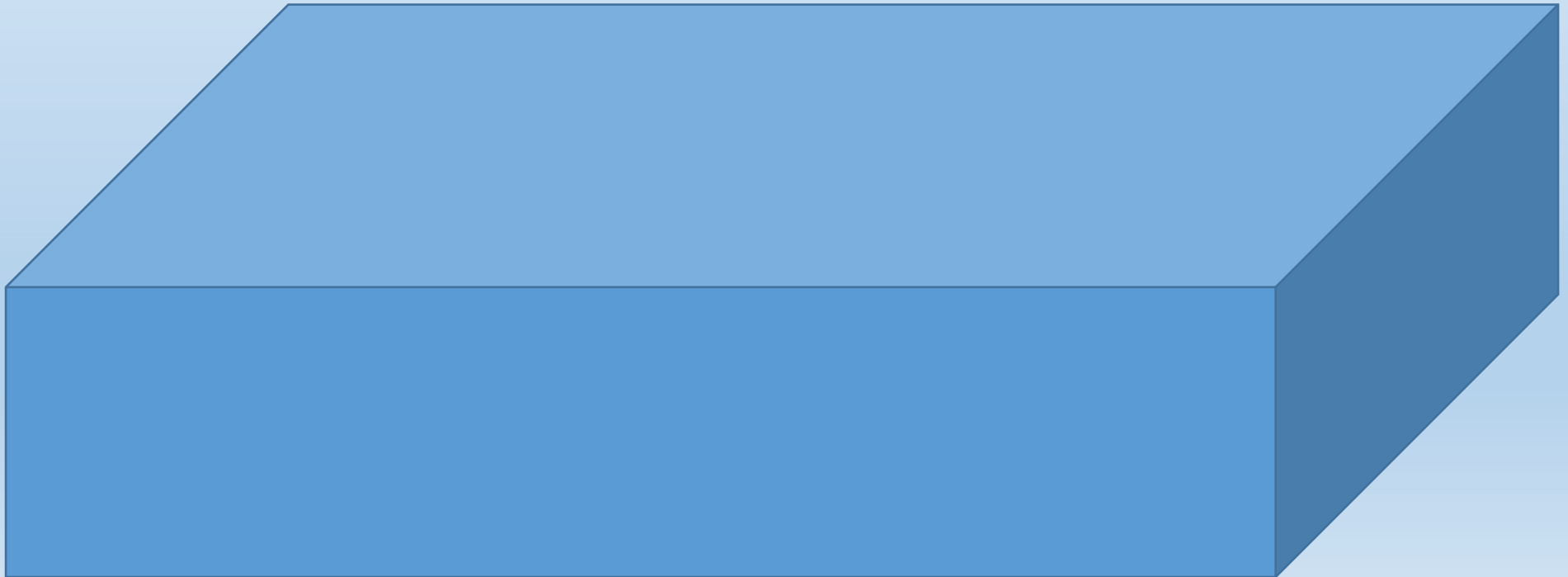


Challenges and prospects of sustainable groundwater management in an agricultural plain along the Silk Road Economic Belt , north-west China (Chen et al. 2016)


صنعت
فضای سبز
کشاورزی
باغداران
مصرف شرب
منبع پساب
رودخانه
آبخوان
سد

مدیریت منابع آب زیرزمینی



هدف از بهره‌برداری

نوشتن هدف از بهره‌برداری به بیان ریاضی

تابع هدف

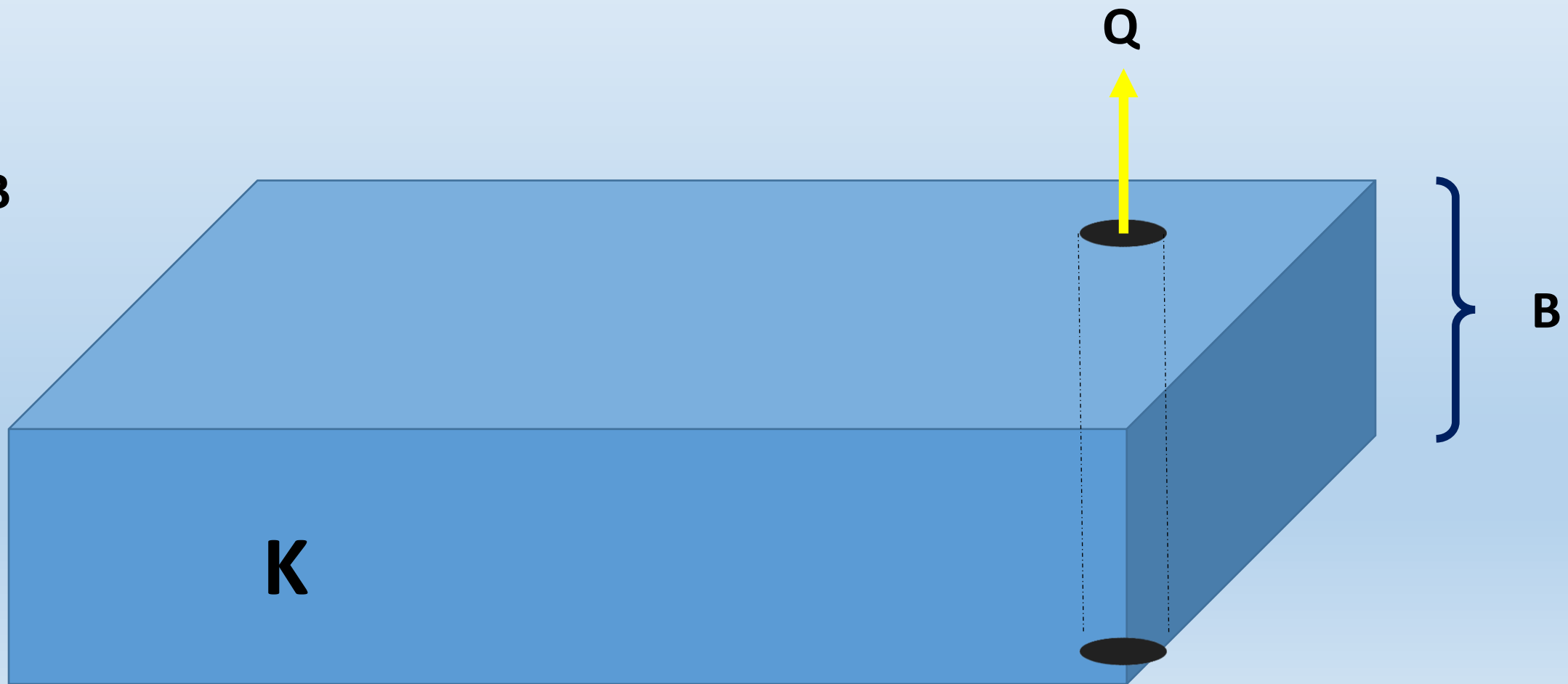
- تامین نیاز
- سود

در چه مواردی اختیار دارم؟

متغیر تصمیم

متغیر وابسته

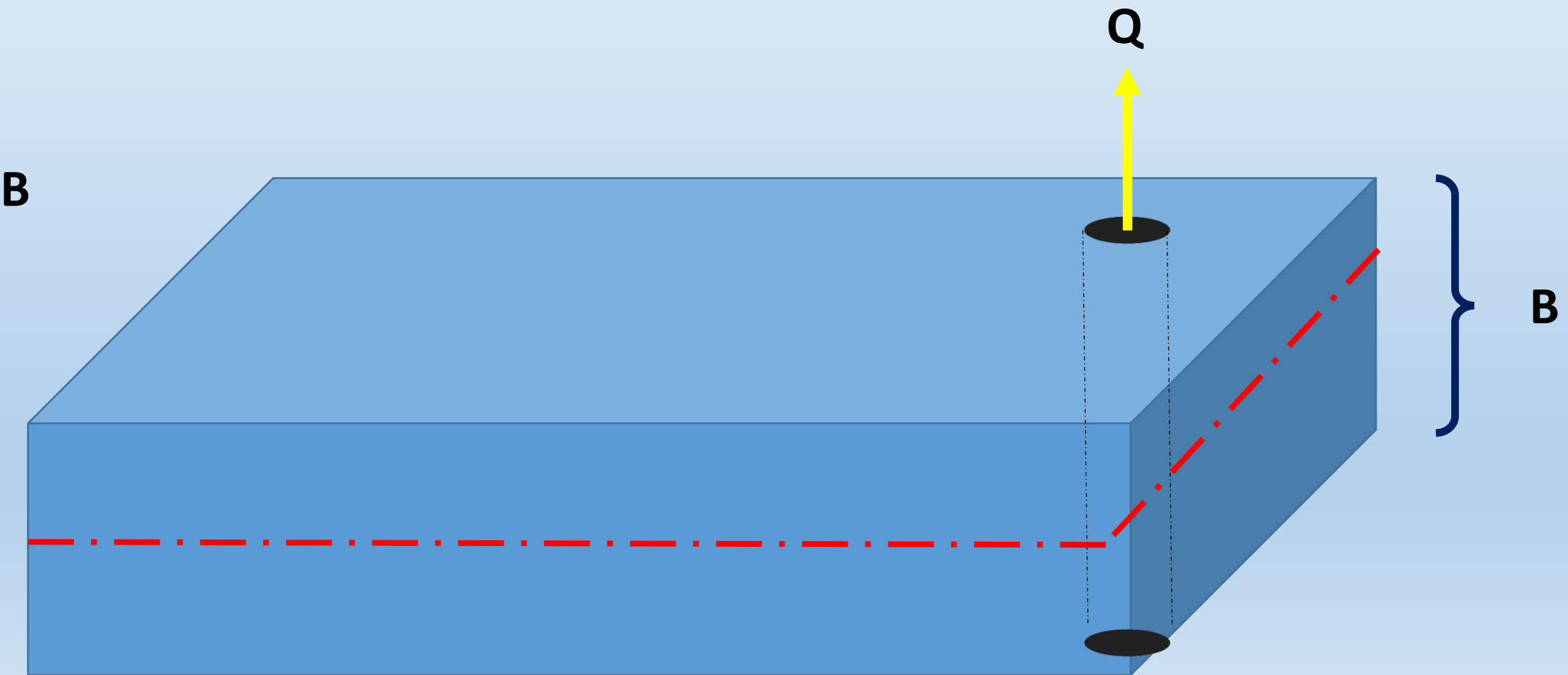
T = KB



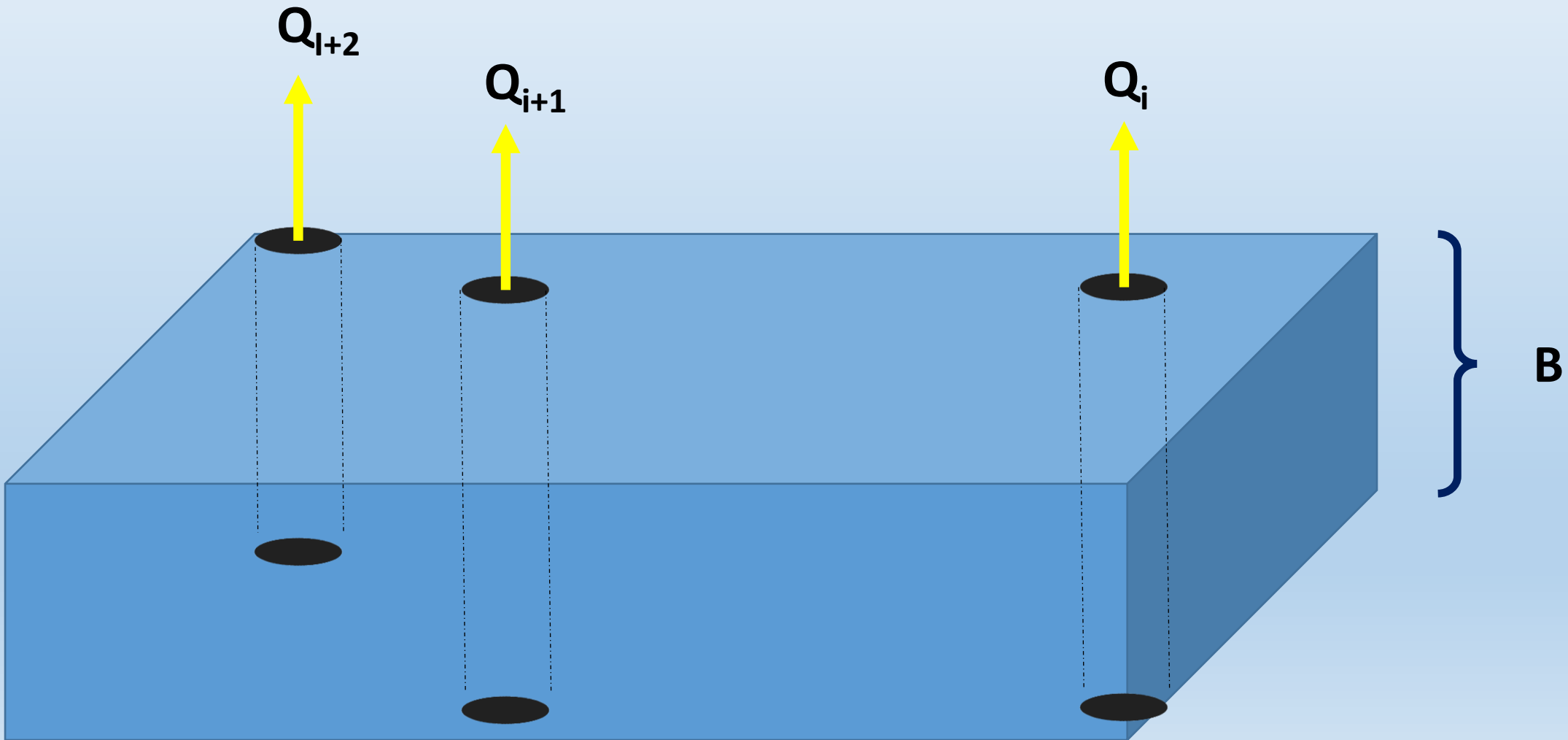
چه چیزهای را باید رعایت کرد؟

قیدها

T = KB



K


Q_{I+2}
Q_{i+1}
Q_i
B

Objective function: $Q_{Total} = \sum_{i=1}^{N} Q_i \rightarrow \text{maximum}$

Constraints: $h_j(Q_1,\ldots,Q_N) \geq h_{j,min} \quad (j = 1,\ldots,M)$

or

$s_j(Q_1,\ldots,Q_N) \leq s_{j,max} \quad (j = 1,\ldots,M)$

$Q_i \geq 0 \quad (i = 1,\ldots,N)$

Objectives	Formular expressions
Maximum total pumping rate	$\sum_i Q_i \rightarrow \max$
Maximum water volume	$\sum_j \sum_i Q_i^j \Delta t_j \rightarrow \max$
Minimum energy demand	$\sum_i e_i Q_i + \sum_i e_i' h_i \rightarrow \min$
Minimum cost	$\sum c_i Q_i + \sum c_i' h_i \rightarrow \min$
Maximum benefits	$\sum_i p_i Q_i - \sum_i p_i' h_i \rightarrow \max$

Constraints	
Prescribed minimum heads (e.g. to protect ecosystem, prevent subsidence, keep water level within filter of the well)	$h_i(Q_1,\ldots,Q_n) \geq h_{i,min}$
Prescribed maximum heads (e.g. to prevent flooding, salinization)	$h_i(Q_1,\ldots,Q_n) \leq h_{i,max}$
Prescribed minimum supply	$\sum_i Q_i \geq D$
Prescribed minimum gradients (e.g. to prevent inflow of polluted water)	$h_i(Q_1,\ldots,Q_n)-h_j(Q_1,\ldots,Q_n) \geq g_{ij,min}$
Positivity of pumping rates (if no infiltrations are involved)	$Q_i \geq 0$

مدل‌سازی فیزیکی
مدل
مدل‌سازی رفتاری

حل مساله!

خطی

The standard problem of linear optimization is given by the expressions

$$\text{Objective function:} \quad Z = \sum_{i=1}^{n} p_i x_i \;\rightarrow\; \text{maximum} \qquad (5.9)$$

$$\text{Constraints:} \quad \sum_{j=1}^{n} a_{ij} x_j \;\leq\; b_i \quad (i = 1,\ldots,m)$$

$$b_i \;\geq\; 0$$

$$x_j \;\geq\; 0 \quad (j=1,\ldots,n)$$

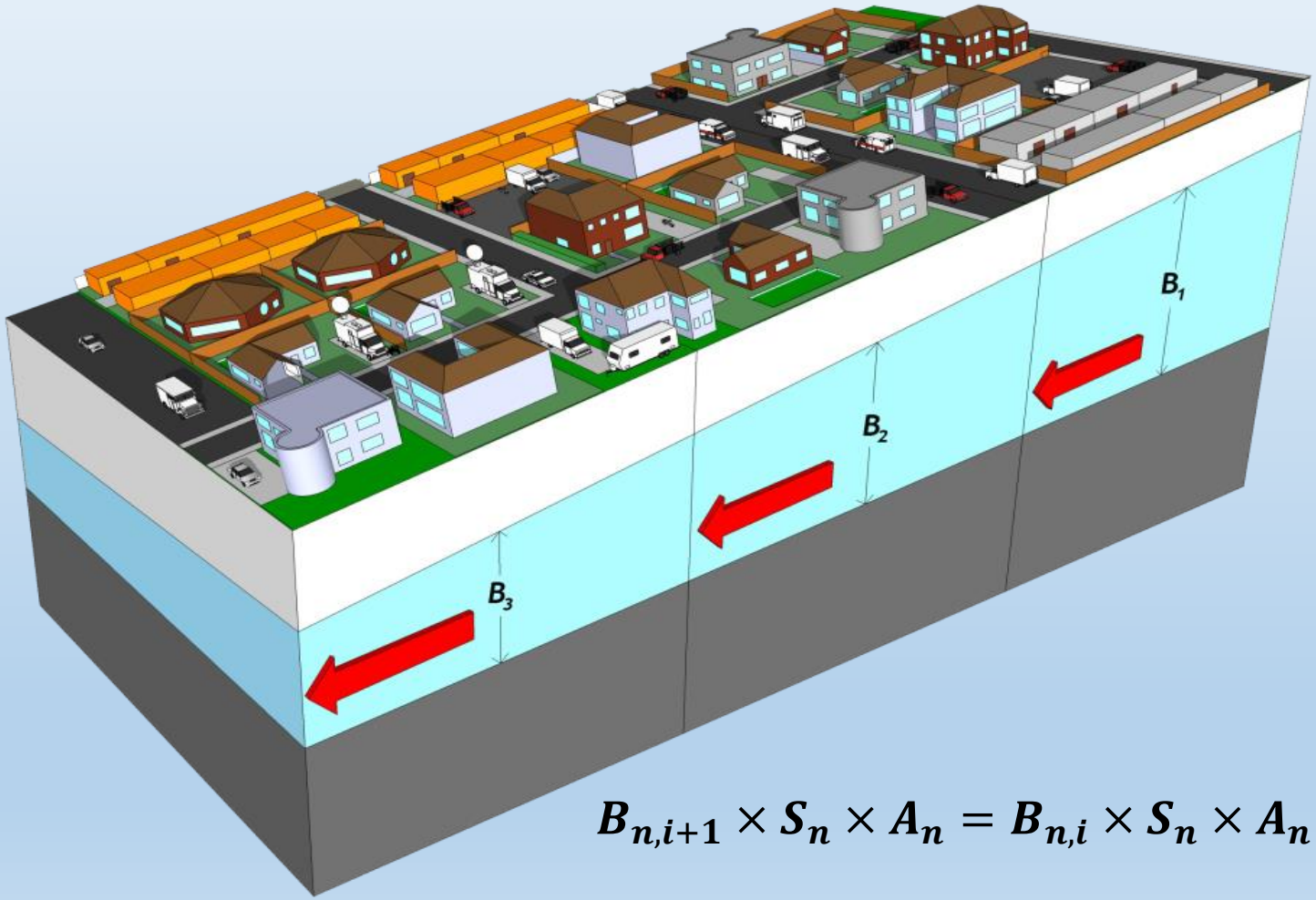
Z is the objective function. The x_i are the decision variables (i=1,....,n). There are m 'less-than'-constraints and n non-negativity constraints. The system of inequalities is changed into a system of equations by introducing non-negative slack variables y_i such that

General
Algebraic Modeling System (**GAMS** 2015) and **LINGO**
(Lindo Systems Inc 2015).

روش پهنه بندی

در این روش، آبخوان به تعدادی منطقه تقسیم می شود و از یک مقدار پارامتر ثابت برای توصیف هر منطقه استفاده می شود.

روش پهنه بندی



$$Q = K \times i \times A$$

$$i = \frac{dh}{dl}$$

$$B_{n,i+1} \times S_n \times A_n = B_{n,i} \times S_n \times A_n - Di_{T,n,i} + Re_{T,n,i} - Tr_{n,i}$$

حل مساله!

غیر خطی

مدیریت منابع آب زیرزمینی

یک بهره‌بردار

بهینه‌سازی تک هدفه

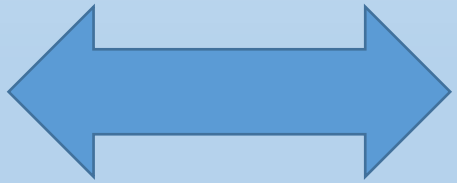
مسئله خطی

LP

غیر خطی

NLP

الگوریتم‌های فراکاوشی



شبیه‌ساز

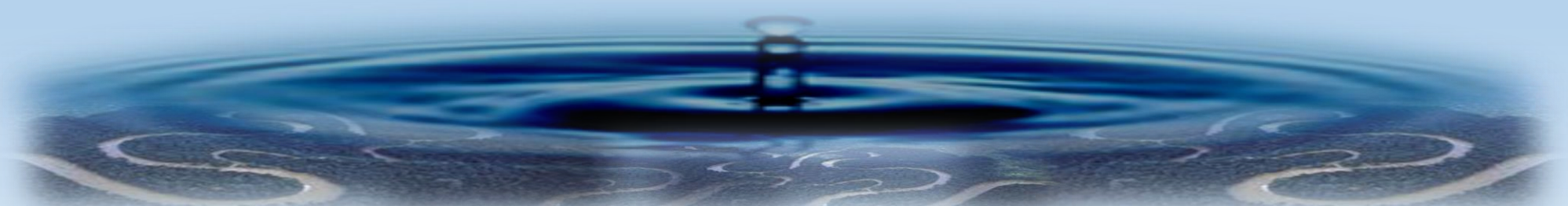
بهینه‌ساز

روش‌های عددی در حل معادلات دیفرانسیل

معادله حاکم بر یک آبخوان شبیه یک معادله دیفرانسیل است.

معادله دیفرانسیل **تابع آبخوان** مورد نظر را داریم.

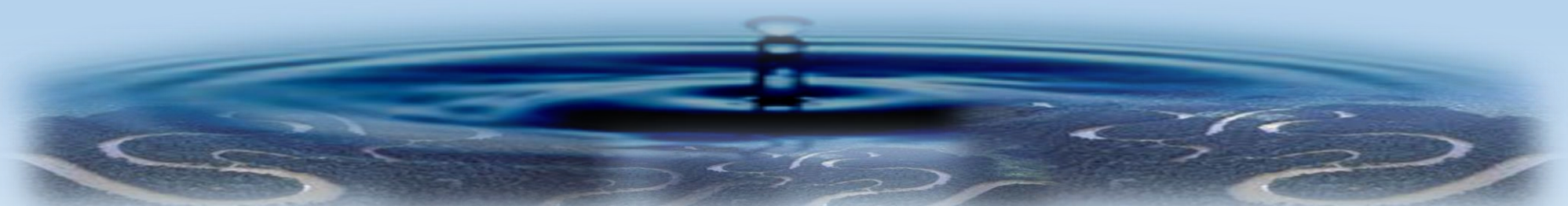
برای حل معادله دیفرانسیل از **روش تفاضلات محدود** استفاده می کنیم.



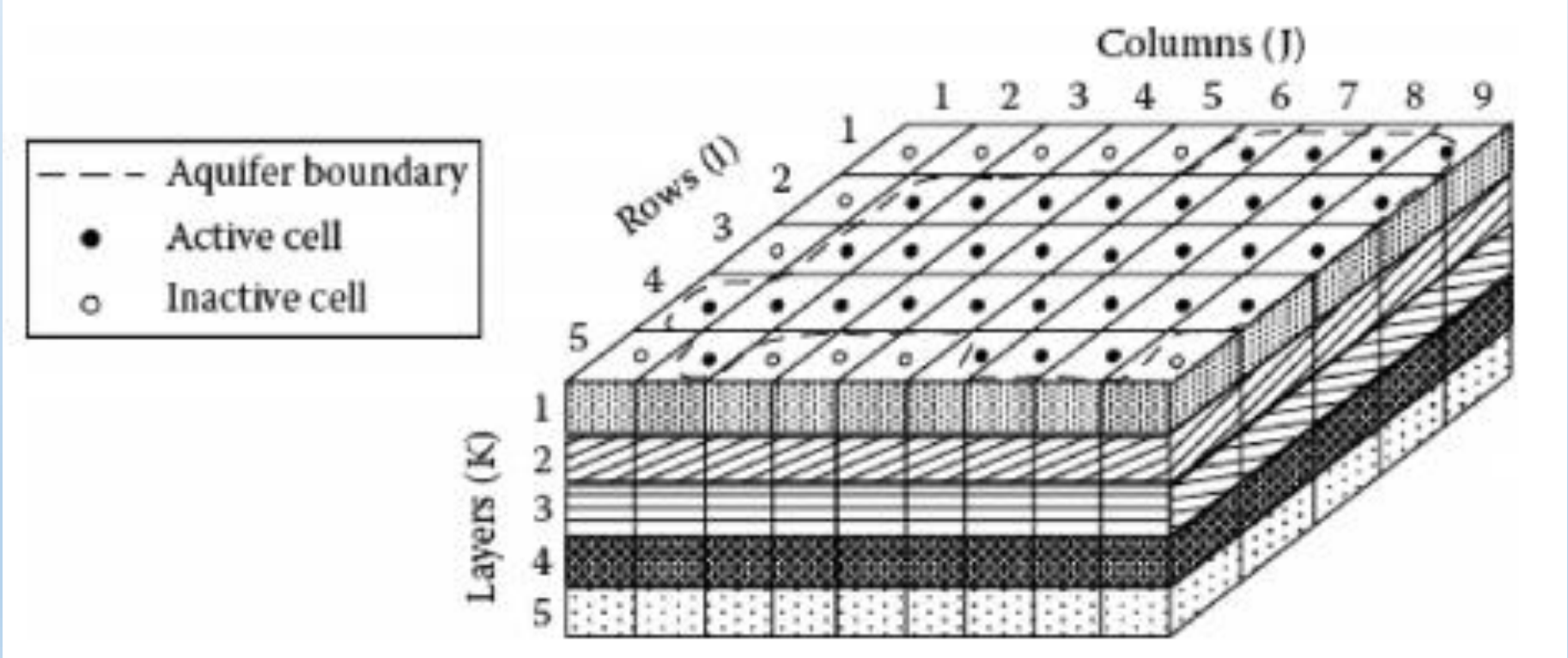
روش تفاضلات محدود

یکی از روش های عددی می باشد، که بر پایه استفاده از بسط تیلور استوار است.

روش های عددی فرآیندی برای حل تقریبی معادلات دیفرانسیل می باشند که بر اساس دقت مورد نظر مساله بکار گرفته می شوند.



$$\frac{\partial}{\partial x}\left(K_x \frac{\partial h}{\partial x}\right)+\frac{\partial}{\partial y}\left(K_y \frac{\partial h}{\partial y}\right)+\frac{\partial}{\partial z}\left(K_z \frac{\partial h}{\partial z}\right)=S_s \frac{\partial h}{\partial t}$$



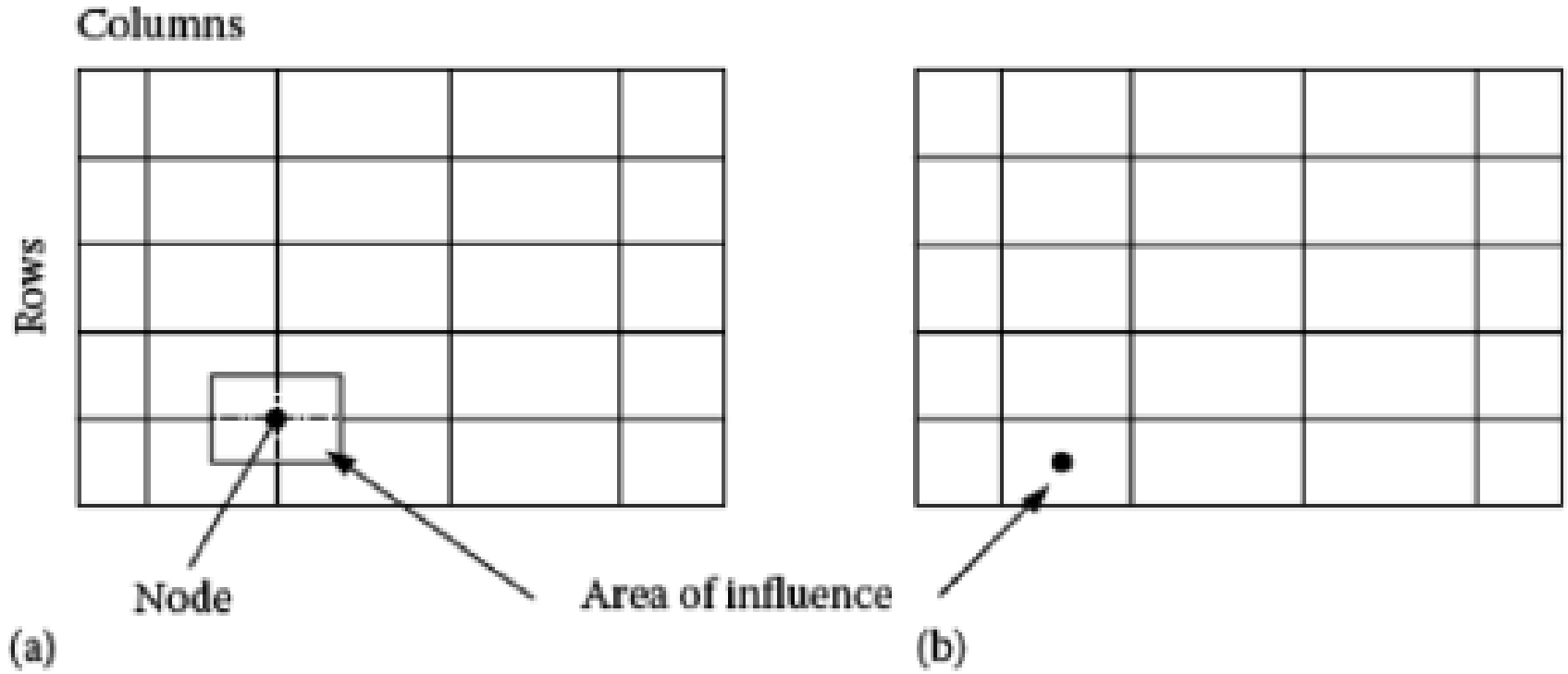


FIGURE 6.2 Illustration of 2D space discretization methods: (a) mesh-centered and (b) block-centered.

$$h(x-\Delta x)=h(x)-\left.\frac{\partial h}{\partial x}\right|_x \Delta x+\left.\frac{\partial^2 h}{\partial x^2}\right|_x \frac{\Delta x^2}{2!}-\left.\frac{\partial^3 h}{\partial x^3}\right|_x \frac{\Delta x^3}{3!}+\cdots$$

$$\left.\frac{\partial h}{\partial x}\right|_x = \frac{h(x+\Delta x)-h(x)}{\Delta x} - \frac{\Delta x}{2!}\left.\frac{\partial^2 h}{\partial x^2}\right|_x - \frac{\Delta x^2}{3!}\left.\frac{\partial^3 h}{\partial x^3}\right|_x - \cdots$$

$$\left.\frac{\partial h}{\partial x}\right|_x = \frac{h(x+\Delta x)-h(x)}{\Delta x} + O(\Delta x)$$

$$\left.\frac{\partial h}{\partial x}\right|_x = \frac{h(x)-h(x+\Delta x)}{\Delta x} + O(\Delta x)$$

$$\left.\frac{\partial h}{\partial x}\right|_x = \frac{h(x+\Delta x)-h(x)}{\Delta x} + O(\Delta x^2)$$

$$\overline{E} = -\frac{\Delta x^2}{3!}\frac{\partial^3 h}{\partial x^3}\bigg| = O\left(\Delta x^2\right)$$

The truncation error of the central difference approximation is:

$$\left.\frac{\partial^2 h}{\partial x^2}\right|_x \cong \frac{h(x+\Delta x) - 2h(x) + h(x-\Delta x)}{\Delta x^2}$$

$$\overline{E} = \frac{\Delta x^2}{12}\left.\frac{\partial^4 h}{\partial x^4}\right|_\xi = O\left(\Delta x^2\right)$$

The truncation error of the second-order approximation is:

$$\left.\frac{\partial h}{\partial x}\right|_t = \frac{h^{t+1} - h^t}{\Delta t}$$

$$\left.\frac{\partial h}{\partial x}\right|_t = \frac{h^t - h^{t-1}}{\Delta t}$$

Similar discretization could be used for time intervals. Therefore, the approximations of $\partial h/\partial t$ using forward and backward differences are as follows:

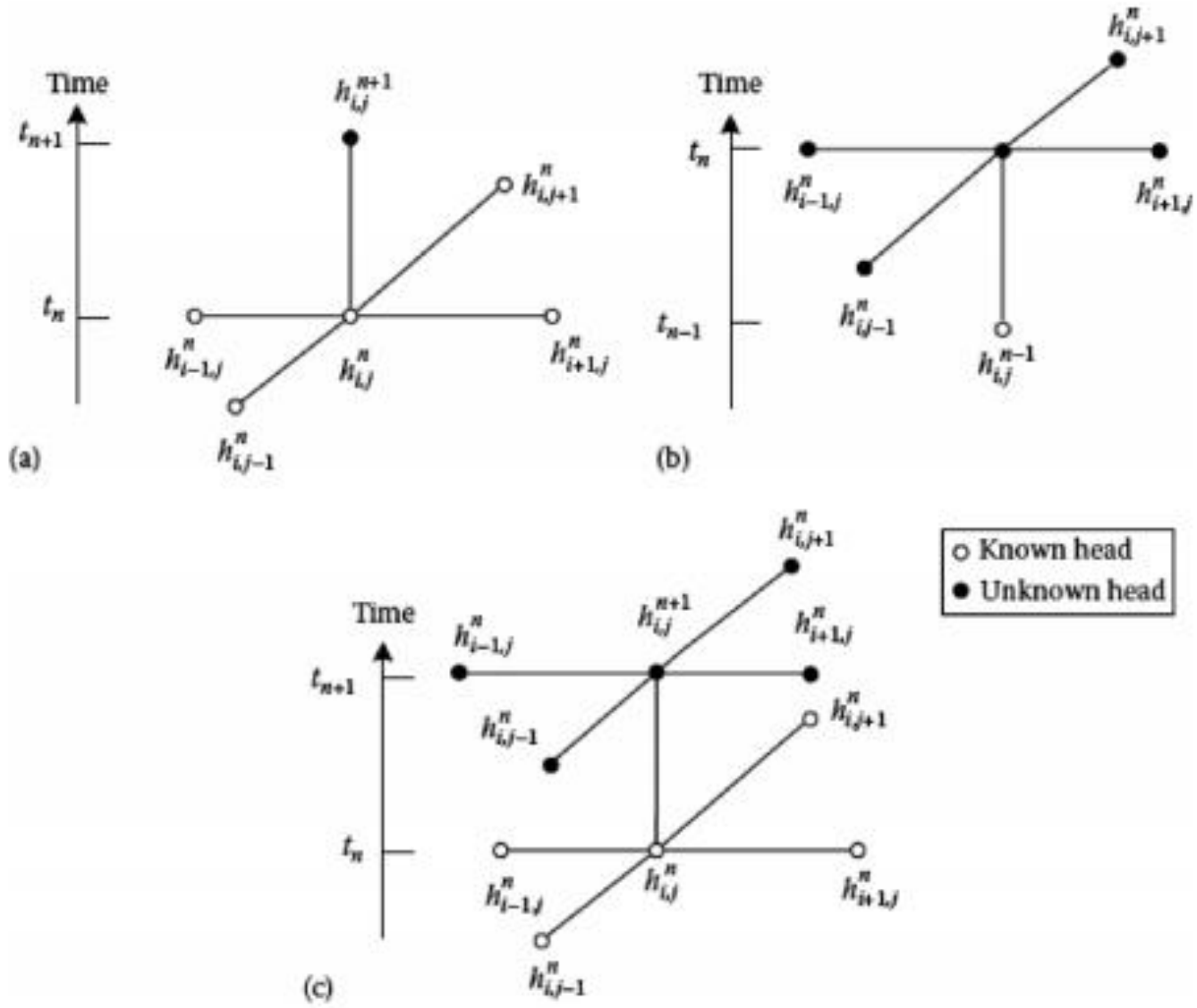


FIGURE 6.3 (a) The forward difference, (b) backward difference, and (c) Crank–Nicholson method in a 2D finite-difference grid.

The head at point (i, j) at time step (n + 1) can be obtained utilizing the value of h at
time step n and the forward difference time derivative. Therefore, there is a finitedifference equation for each node at time step n + 1 with only one unknown variable.

all values of head h are known at all spatial nodes at time n.
This method is called forward difference or explicit method.

In a 2D groundwater flow equation for a heterogeneous, anisotropic aquifer, Equation 6.1 can be written as:

$$S_s\left(\frac{h_{i,j}^{n+1}-h_{i,j}^{n}}{\Delta t}\right)=K_{x(i-1/2,j)}\left(\frac{h_{i-1,j}^{n}-h_{i,j}^{n}}{(\Delta x)^2}\right)+K_{x(i+1/2,j)}\left(\frac{h_{i+1,j}^{n}-h_{i,j}^{n}}{(\Delta x)^2}\right)$$

$$+K_{y(i,j-1/2)}\left(\frac{h_{i,j-1}^{n}-h_{i,j}^{n}}{(\Delta y)^2}\right)+K_{y(i,j+1/2)}\left(\frac{h_{i,j+1}^{n}-h_{i,j}^{n}}{(\Delta y)^2}\right) \quad (6.12)$$

$$S\left(\frac{h_i^{n+1}-h_i^n}{\Delta t}\right)=Kb\left(\frac{h_{i-1}^n-h_i^n}{(\Delta x)^2}\right)+Kb\left(\frac{h_{i+1}^n-h_i^n}{(\Delta x)^2}\right)$$

For example, in a one-dimensional (1D) groundwater flow equation for a heterogeneous, isotropic, and confined aquifer,

$$h_i^{n+1}=\frac{T\Delta t}{S(\Delta x)^2}\left(h_{i-1}^n+h_{i+1}^n\right)+h_i^n\left(1-\frac{2T\Delta t}{S(\Delta x)^2}\right)$$

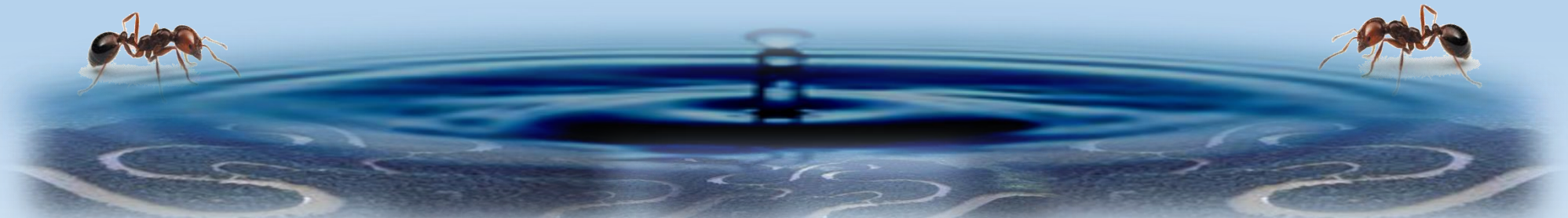
Explicit finite-difference equations are simple to solve, but when time increments are
too large, small numerical errors can propagate into larger errors in the next computational stages.

A stable solution is ensured in a 1D heterogeneous case if

$$\frac{T\Delta t}{S(\Delta x)^2}<\frac{1}{2}$$

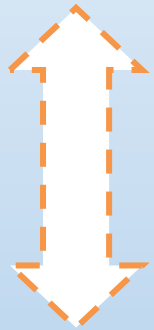
روش بهینه سازی جامعه مورچگان

با استفاده از الگوریتم جامعه مورچگان در مسائلی که دارای متغییرهای تصمیم گسسته می باشند به علت ذات گسسته این الگوریتم می توان به جواب های بهتری نسبت به سایر الگوریتم های فراکاوشی دست یافت. در سال های اخیر از الگوریتم جامعه مورچگان در بخش های مختلف مدیریت سیستم های منابع آب همانند بهره برداری از مخازن و بهینه سازی شبکه های آبرسانی استفاده شده است.



فرایند حل در الگوریتم های بهینه ساز-شبیه ساز

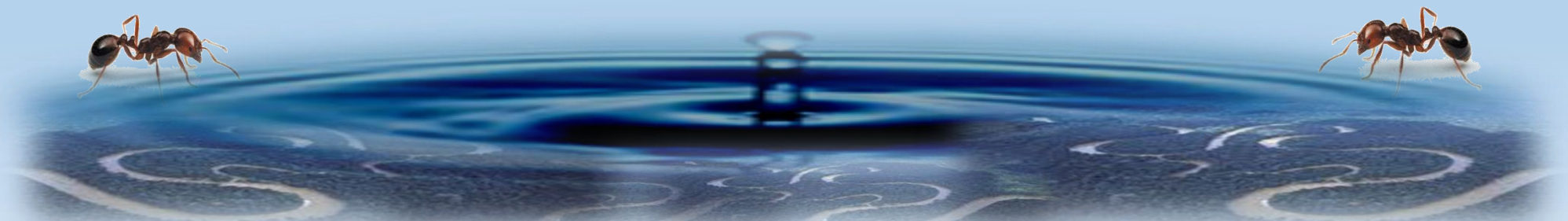
کد بهینه ساز(MAIN PROGRAM)



شبیه ساز به عنوان زیر برنامه
Subroutine Program

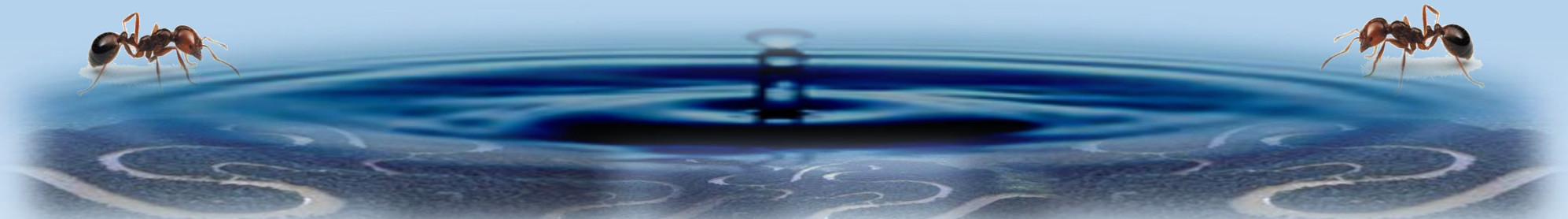
بیان اصول الگوریتم ها و

نحوه ی استفاده از آن ها در حل مساله



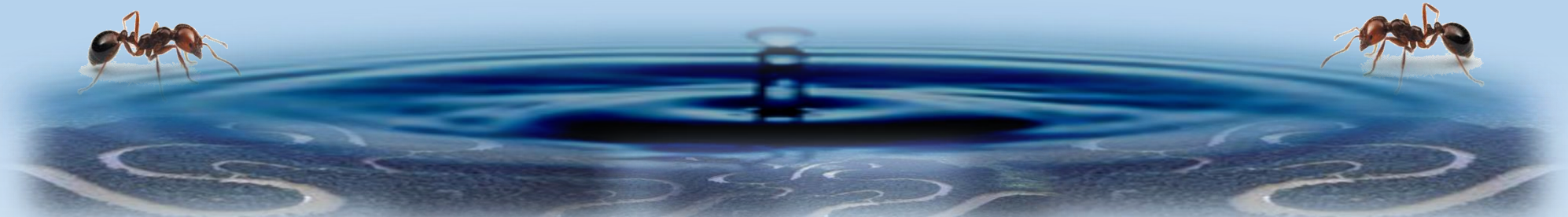
استفاده از معادلات پیوسته و گسسته در روش تفاضلات محدود

در استفاده از معادلات روش تفاضلات محدود از معادلات پیوسته استفاده کرده و آن ها را به معادلات گسسته یا چند بعد بسط می دهیم در انتها با استفاده از فرض ثابت بودن بعضی از پارامترها و معادلات دیفرانسیل به یک سری مختصات می رسیم که چهار راس یک مستطیل را در شرایط مرزی تشکیل می دهند با استفاده از رئوس بدست آمده با ترسیم خطوطی به موازات محور های مختصات محدوده مورد نظر با یک شبکه مستطیلی پوشیده خواهد شد.



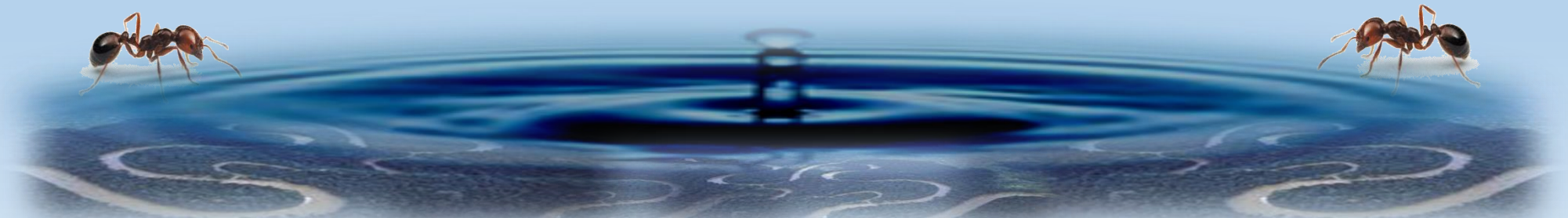
مشتقات نسبی معادله به وسیله روابط تفاضل های محدود بـه کـار گرفـت.

روش تفاضلات محدود مانند روش اجزای محدود ، روش احجام محـدود و روش اجزای مرزی یکی از روش های عددی می باشد، که بر پایه اسـتفاده از بسط تیلور استوار است. روش های عددی فرآینـدی بـرای حـل تقریبـی معادلات دیفرانسیل می باشند که بر اساس دقـت مـورد نظـر مسـاله بکـار گرفته می شوند. در FDMمشتقات مراتب اول و دوم توابـع بـا اسـتفاده از بسط تیلور تقریب زده می شوند تا محاسبه مقدار مشتق تابع در یک نقطه، به کمک مقدار تابع در نقاط اطراف آن میسر گردد.



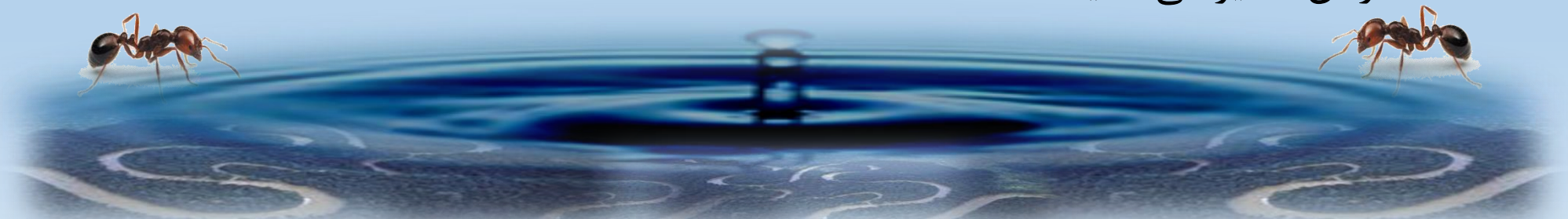
تبیین الگوریتم جامعه مورچگان

الگوریتم جامعه مورچه ها که با الهام از رفتار مورچه های واقعی در هنگـام جستجوی غذا توسعه یافته است، در دهه های اخیر در بسـیاری از مسـائل بهینه یابی مورد استفاده قرار گرفته است.



پایه و اساس بیولوژیکی

مورچه ها حشراتی اجتماعی هستند که به صورت جمعی زندگی کرده و به دلیل روابط توسعه یافته خود می توانند رفتارهای پیچیده ای از خود نشان دهند و کارهای سختی را که از عهده یک مورچه به تنهایی خارج است را به صورت گروهی انجام دهند. به عنوان نمونه می توان به یافتن کوتاه ترین مسیر بین لانه و منبع غذایی و تقسیم کارها در جامعه اشاره نمود. وقتی مورچه ای به دنبال غذا می گردد، در طول مسیر حرکت خود، ماده بوداری به نام فرامان از خود به جا می گذارد که سایر مورچه هایی که در جستجوی غذا هستند را تحریک به عبور از آن مسیر می نماید.



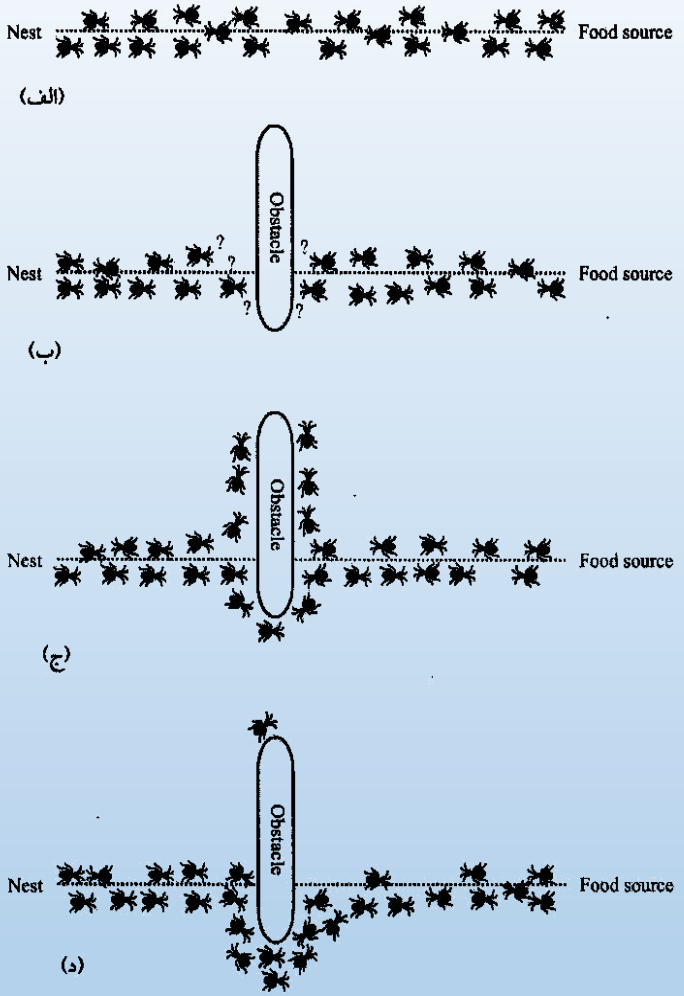
نمونه رفتار واقعی مورچه ها

الف) مورچه ها بر روی کوتاه‌ترین مسیر بین لانه تا محل غذا در حال حرکتند

ب) بطور ناگهانی مانعی در مقابل آنها ظاهر می شود و مورچه ها در تصمیم گیری به چپ یا راست مخیرند.

ج) تقریبا به طور مساوی مورچه ها به سمت چپ و راست حرکت می‌کنند.

د) به دلیل فرامان قویتر، مورچه ها مسیر کوتاه‌تر را به عنوان مسیر جدید انتخاب خواهند کرد.

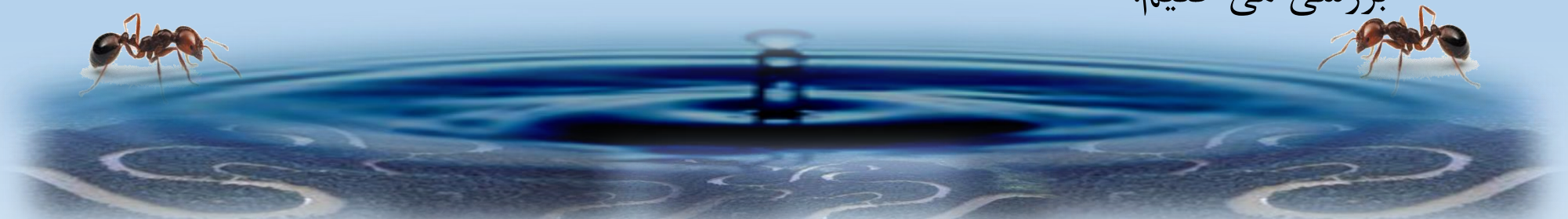


مورچه های مصنوعی

برای انتقال مکانیزم فرایند اصلاح محیط جهت تشویق تغییر در رفتار برای ایجاد ارتباط به حالت الگوریتمی نیازمند به وجود آوردن برخی اصلاحات در رفتار مورچه های واقعی می باشیم.

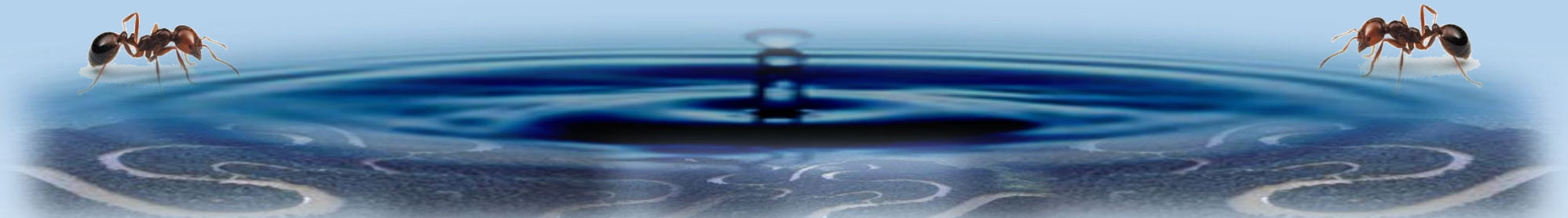
مورچه های مصنوعی در طول فرایند جستجو و یا بعد از رسیدن به هدف نهایی، بسته به عملکرد مورچه، مسیر خود را با فرامان مصنوعی علامت گذاری کرده که بر تصمیم گیری مورچه های دیگر در ساختن گراف تاثیرگذار می باشد.

در طی فرایند الگوریتم مورچه با مباحثی چون اشتباه رفتن مورچه و تبخیر فرمان ها روبرو هستیم که طی روش تصمیم گیری و بهنگام سازی فرامان ها بررسی می کنیم.



روش تصمیم گیری

- رابطه انتقال تصادف نسبی
- هدایت کننده کاوشی



روش تصمیم گیری بر اساس رابطه انتقال تصادف نسبی

از آنجایی که هدف اصلی استفاده از مورچه های مصنوعی، یافتن جواب های خوب است، لذا باید محدودیتی برای عبور مورچه مصنوعی از محلی که قبلاً عبور کرده وجود داشته باشد و به نحوی از گیر افتادن مورچه در حلقه ها جلوگیری به عمل آید.

فرامان مصنوعی در واقع یک عدد حقیقی $\tau \in IR$ است که به گزینه های قابل انتخاب توسط مورچه مصنوعی در تولید جواب، تخصیص داده می شود. به عنوان مثال، در مساله کوتاه ترین مسیر، یک مقدار فرامان τ_{ij} به هر مسیر **(i,j)** داده می شود که بیانگر مطلوبیت این مسیر می باشد.

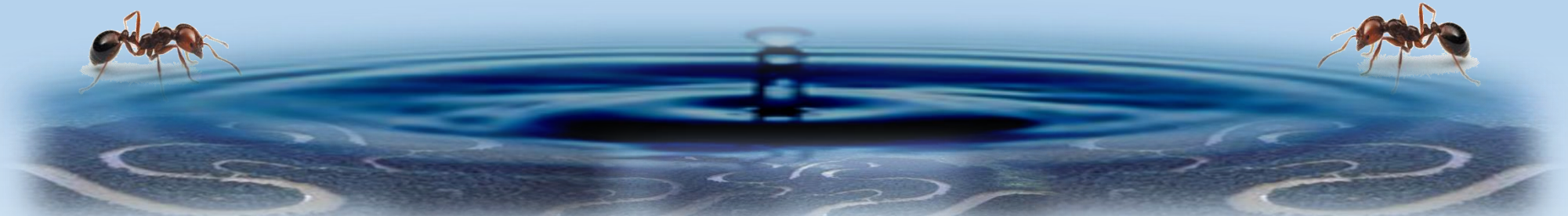
یک مورچه که در گره i واقع شده است، گره بعدی خود را بر اساس رابطه انتقال تصادف نسبی زیر انتخاب می نماید:

$$P_{ij} = \frac{\tau_{ij}}{\sum_{h \in s} \tau_{ih}}$$

احتمال انتخاب گره j توسط مورچه ای است که به گره i رسیده است.

مقدار فرامانی است که به هر مسیر (i,j) داده می شود.

مقادیر بزرگ فرامان مسیر ij باعث افزایش احتمال انتخاب آن مسیر می گردد که مشابه عملکرد مورچه های حقیقی است.



روش تصمیم گیری بر اساس رابطه هدایت کننده کاوشی

علاوه بر فرامان، در بسیاری از مسائل مـی تـوان از یـک هـدایت کننـده کاوشـی جهت ساخت جواب های متغیر استفاده نمـود. در واقـع هـدایت کننـده کاوشـی همانند یک چشم مصنوعی، مورچه ها را در انتخاب مسیر مناسب کمک می کند.

در اینجا رابطه انتقال تصادفی نسبی را به شکل زیر تعریف می شود:

$$P_{ij} = \frac{\tau_{ij}^{\alpha} \eta_{ij}^{\beta}}{\sum_{h \in s} \tau_{ij}^{\alpha} \eta_{ij}^{\beta}}$$

η_{ij}

که در این رابطه هدایت کننده کاوشی می باشد.

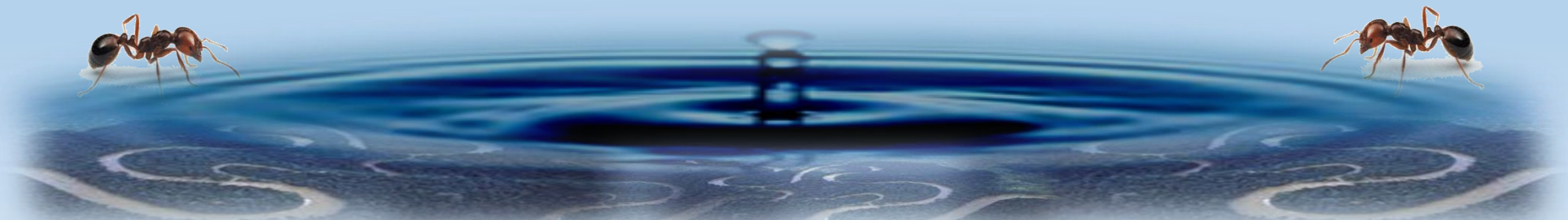
بهنگام سازی فرامان

هدف از بهنگام سازی فرامان، تمرکز بیشتر فرایند جستجوی مورچه ها بر یک منطقه مناسب از فضای جستجو است که امید آن می رود با جستجوی متمرکزتر در آن منطقه به جواب مطلوب تری دست یابد. به عبارت دیگر، بهنگام سازی فرامان باعث تقویت بخشی از فضای جستجو می شود که به نظر مناسب تر می رسند. راهکار اصلی برای این فرایند، ابتدا تبخیر فرامان است که باعث کاهش میزان فرامان به یک مقدار تعریف شده می گردد. پس از آن تقویت فرامان است که با افزودن عبارت بهنگام کننده به فرامان های انتخابی صورت می گیرد.

الگوریتم های متفاوت براساس شیوهای بهنگام سازی فرامان پیشنهاد شده اند.

شباهت های بین مورچه های واقعی و مصنوعی

- جامعه ای از اجزاء مشارکت کننده
- ارتباط از طریق اثرات فرامان
- حرکت های موضعی و جستجوی کوتاه ترین مسیر
- سیاست انتقال وضعیت



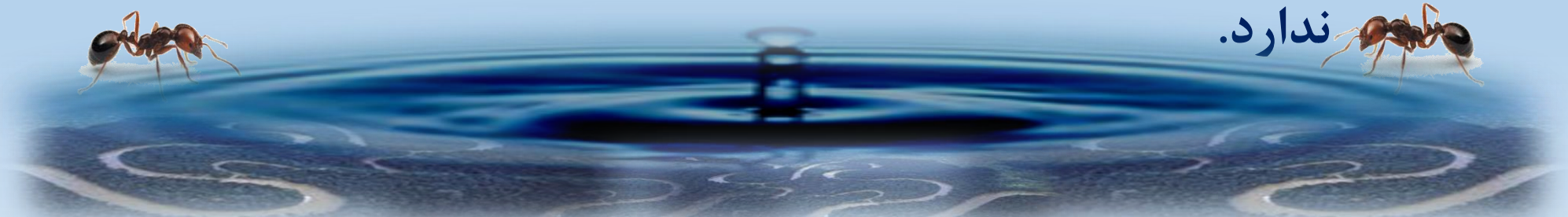
اختلاف های بین مورچه های واقعی و مصنوعی

1) مورچه های مصنوعی در یک فضای گسسته زندگی می کنند.

2) مورچه های مصنوعی می توانند، بر خلاف مورچه های طبیعی، دارای حافظه باشند.

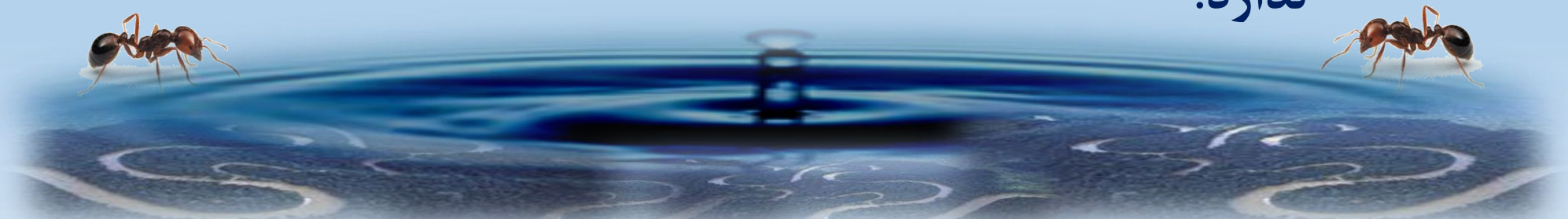
3) روش جایگذاری فرمان در مورچه های مصنوعی تفاوت اساسی با مورچه های واقعی دارد.

4) زمان بندی در فرامان گذاری بستگی به نوع مساله داشته و اغلب شباهتی با نحوه جایگذاری فرامان مورچه های واقعی ندارد.

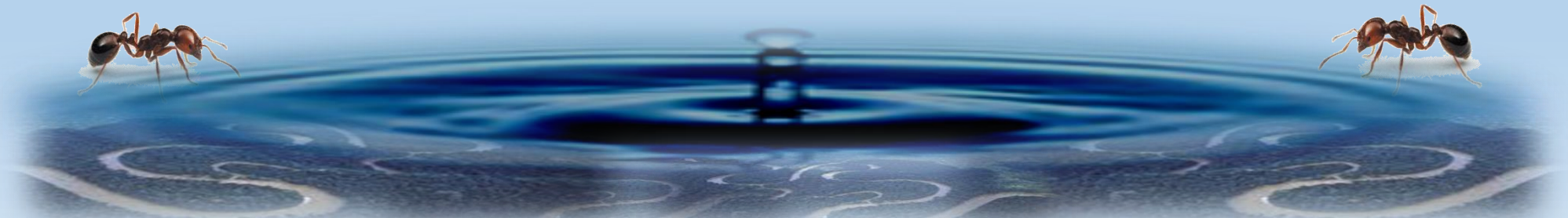


5) میزان فرامان جایگذاری شده توسط مورچه مصنوعی اغلب تابعی از کیفیت جواب حاصله دارد. در حالی که در طبیعت، تنها در نوع خاصی از مورچه ها این امکان وجود دارد.

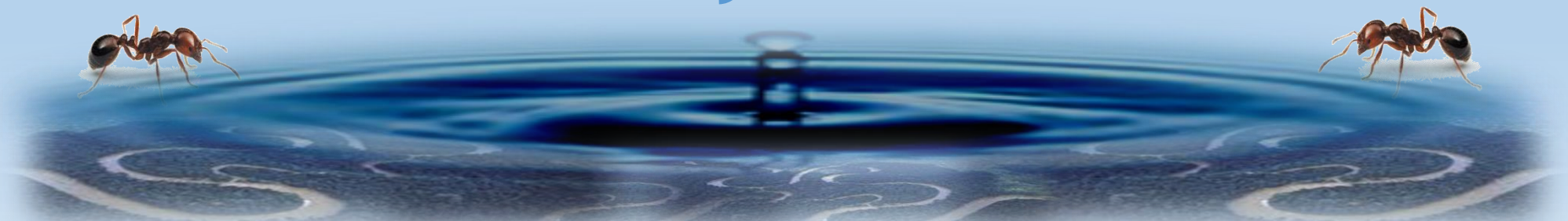
6) برای پیشرفت عملکرد کل الگوریتم، عموماً الگوریتم های مورچه با قابلیت های اضافی خاصی همانند جستجوی موضعی تقویت می شوند این امکان در طبیعت وجود ندارد.



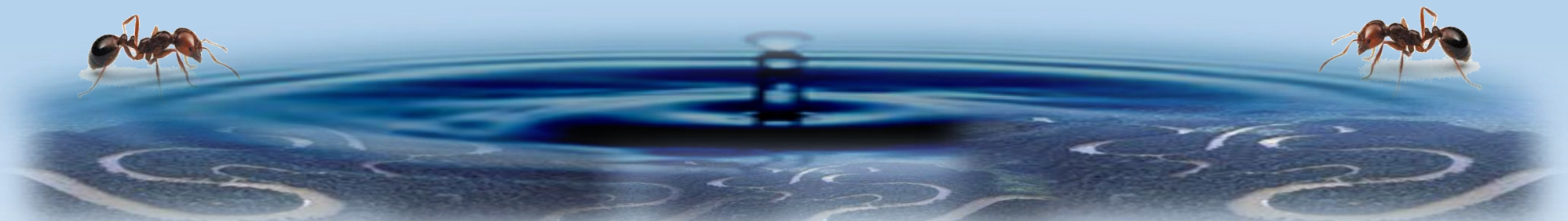
حل مساله



- حل مساله
  - حل مساله شبیه سازی
    - تعریف مساله
    - تحلیل آبخان تحت فشار
  - حل مساله بهینه سازی
    - تعریف مساله



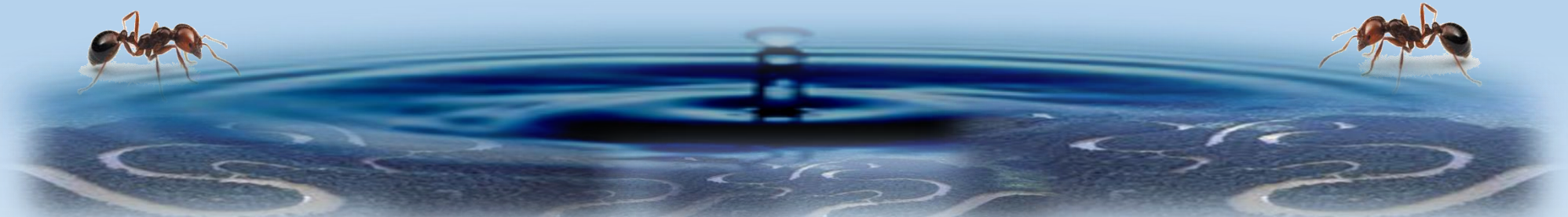
بررسی آبخوان قائم شهر



در زیر شکل حوزه آبی قائمشهر را که آبخوان قائمشهر در آن قرار دارد را مشاهده می نمایید.

اطلاعات مورد استفاده از آبخوان قائمشهر در این تحقیق عبارت است از :

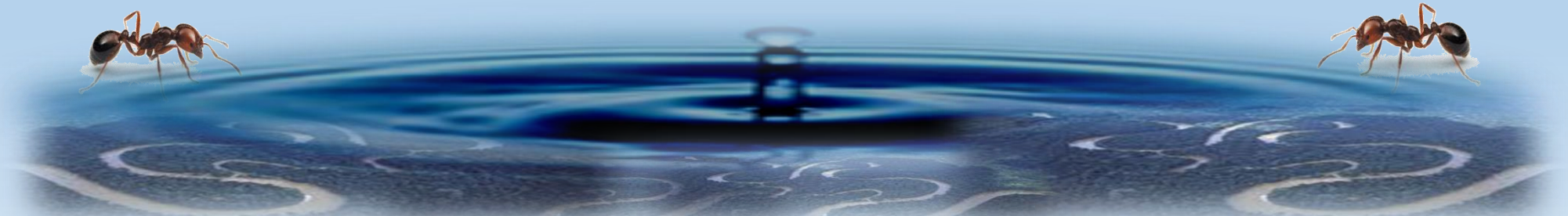
- موقعیت جغرافیایی محدوده مطالعاتی
- هیدروکلیماتولوژی
- منابع آب زیر زمینی موجود
- بررسی های اکتشافی
  - بررسیهای ژئوفیزیک (روش ژئوالکتریک)
  - چاههای اکتشافی و پیزومتری
  - آزمایشهای پمپاژ
- هیدروژئولوژی دشت



مقدمه

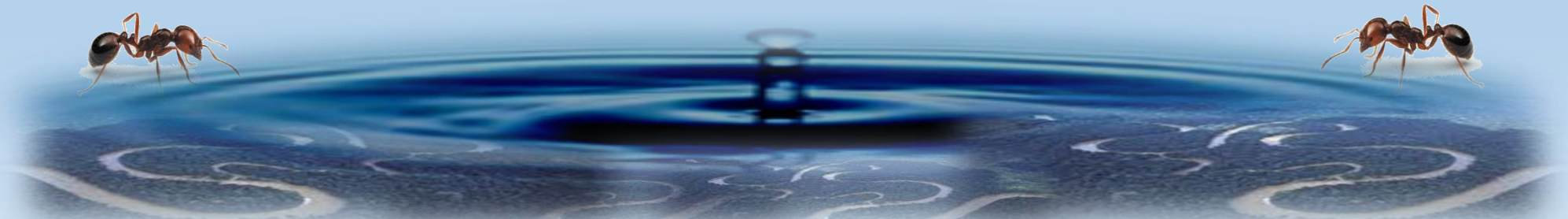
برای شبیه سازی یک آبخوان واقعی هنوز قدم های بسیاری وجود دارد، و به عبارت دیگر ما نمی توانیم ادعا نماییم که روشی پیشنهادی به اندازه ی کافی برای شبیه سازی یک آبخوان در ابعاد بسیار بزرگ قابل اجرا باشد ولی درصورتی که بتوانیم آن را برای آبخوانی کوچک و یا بخشی کوچک از آبخوان بزرگ مورد استفاده قرار دهیم می توانیم نسبت به موفقیت روش خویش ابراز اطمینان نماییم. به همین خاطر برای شبیه سازی-بهینه سازی یک آبخوان از بخشی از آبخوان قائمشهر کمک گرفته شد.

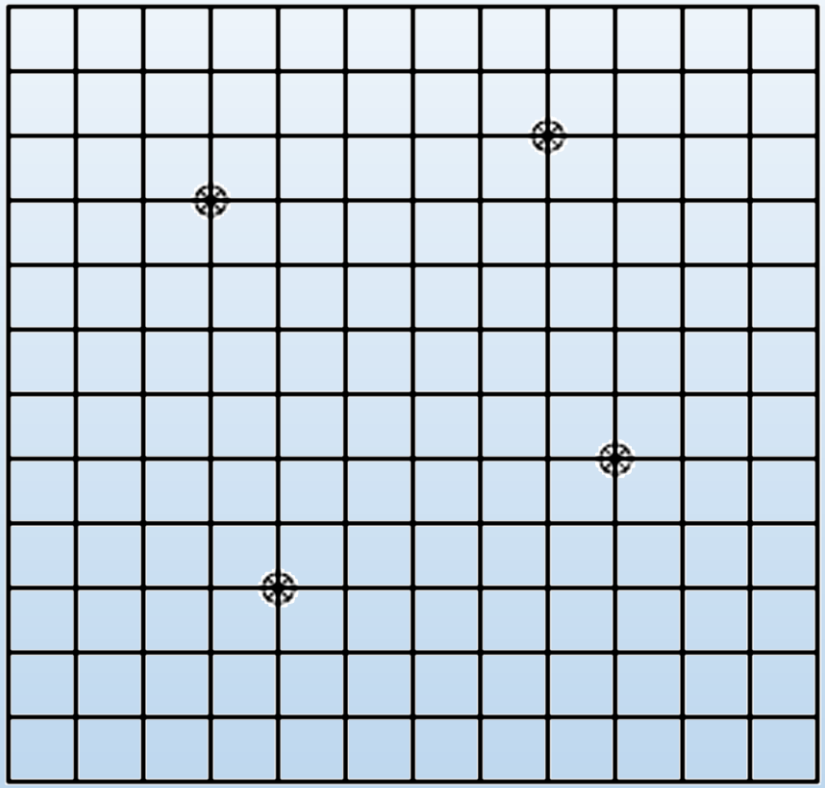
در این بخش یک المان و یا بخش از آبخان را برداشته و در آن الگوریتم خویش را پیاده سازی نموده ایم. این المان از آبخوان مربعی بوده و برای آن ضریب Tمتفاوت برای هر بخش درنظر گرفته شده است.



ابعاد بخش گرفته شده برابر ۶۰۰۰ متر در ۶۰۰۰ متر است که برای آن در قسمت راست آبخوان رودخانه ای نیز درنظر گرفته شده است.

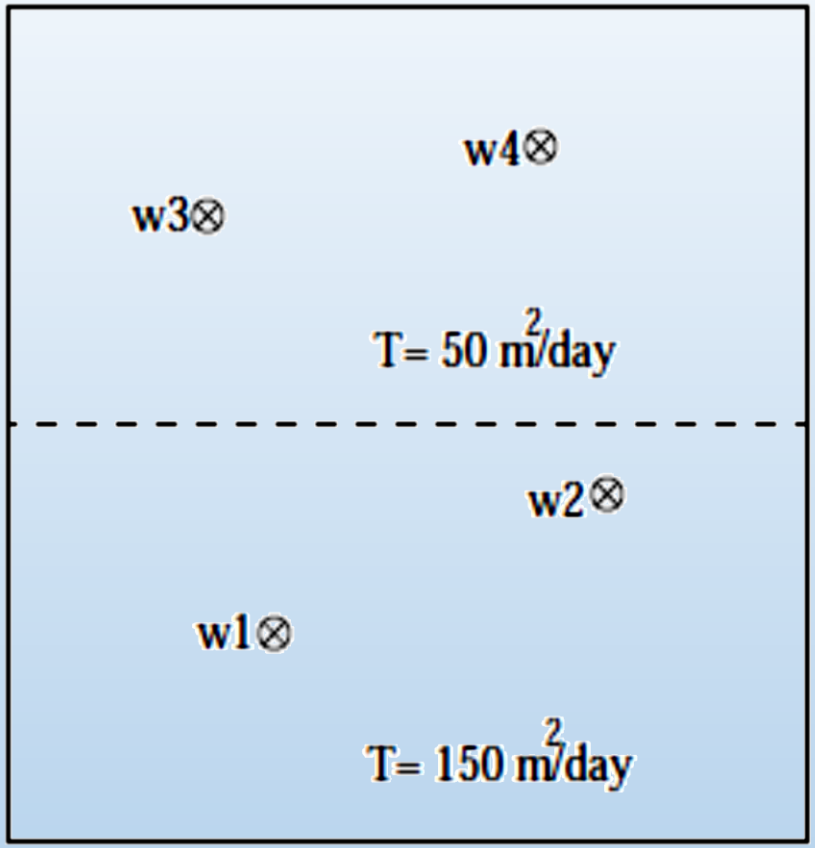
در این قسمت ما اطلاعاتی را از آبخوان قائم شهر در مازندران مورد استفاده قرار داده ایم و اقدام به شبیه-سازی آبخوان توسط شبیه ساز و بهینه سازی بهره برداری از چاه های آن توسط بهینه ساز نموده ایم. در ادامه آبخوان مورد مطالعه را مشاهده می نمایید.





آبخوان شبکه بندی شده با شبکه‌های برابر ۵۰۰ متر

(۴ چاه در آبخوان قابل مشاهده می‌باشد)



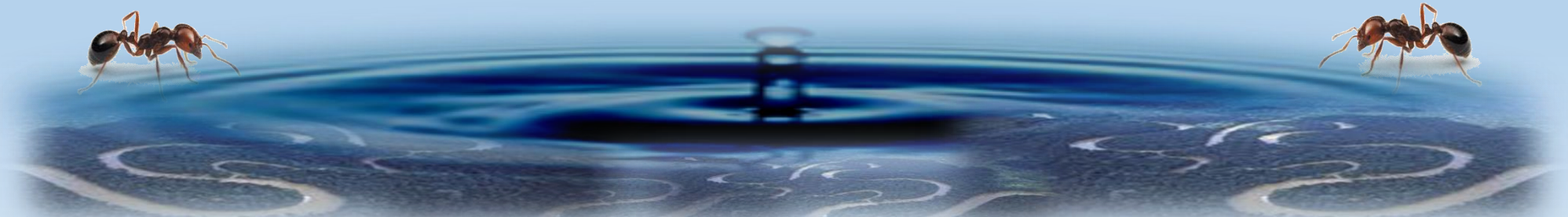
مشخصات آبخوان مورد مطالعه

برگرفته از آبخوان قائمشهر

این آبخوان قسمتی از آبخوان قائمشهر است که برای شبیه سازی مورد استفاده قرار گرفته است.

مشخصات ضریب انتقال و حوزه ای برگرفته از آبخوان قائمشهر در شمال است.

ابتدا این آبخوان را گسسته سازی نموده و در محیط مطلب کدنویسی شد، سپس با استفاده از شبیه‌ساز و بهینه ساز اقدام به حل مساله می‌کنیم که فرایندی همانند زیر خواهد داشت.



گرفتن اطلاعات و گسسته سازی آبخوان با روش *FDM*

شبیه ساز- کدنویسی و شبیه سازی آبخوان در محیط برنامه و اجرای برنامه توسط بهینه ساز

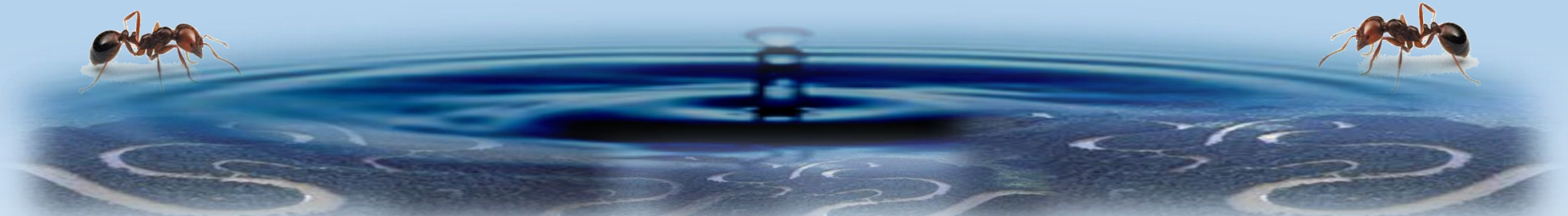
بهینه ساز- بهینه نمودن و انتخاب متغییرهای جدید و تابع هدف جدید

این چرخه تا یافتن بهترین جواب و براساس یک دوره تکرار پیش فرض ادامه خواهد یافت.

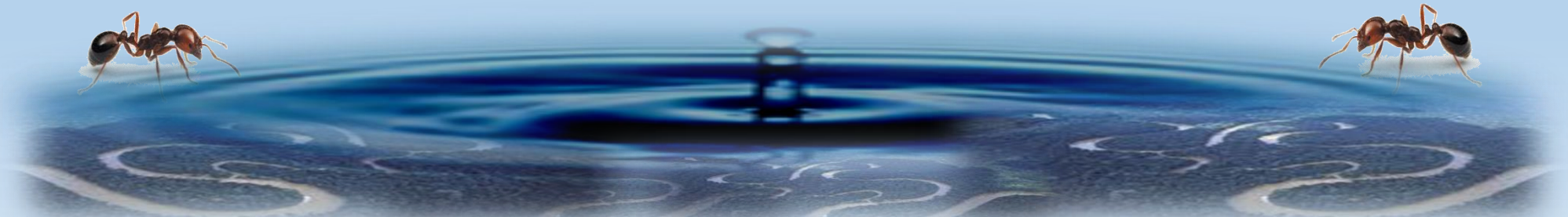
برای شبیه سازی از آبخوان ۴ چاه درنظر گرفته شد که به لحاظ هیدرولیکی بهم مرتبط می باشند. پرواضح است که برای مناطق بزرگتر می توان تعداد بیشتری را برای چاه ها درنظر گرفت. همانطور که قبلاً عنوان شد بهره برداری ما از این چاه ها بصورت کمی بوده و قصد ما حداقل سازی هزینه پمپاژ از چاه ها می باشد. فرض دیگری که برای این مساله استفاده شد این است که این چهار چاه و مالکان آن ها تصمیم میگیرند برای تامین آب مورد نیاز با یکدیگر همکاری نمایند و یا اینکه هر چهار چاه متعلق به یک فرد می باشد.

برای گسسته سازی و حل مساله روش های متفاوت و مختلفی وجود دارد که ما در اینجا از روش تفاضلات محدود کمک گرفته ایم. در این روش باید اقدام به گسسته سازی آبخوان برای مدلسازی آن در محیط مجازی نماییم.

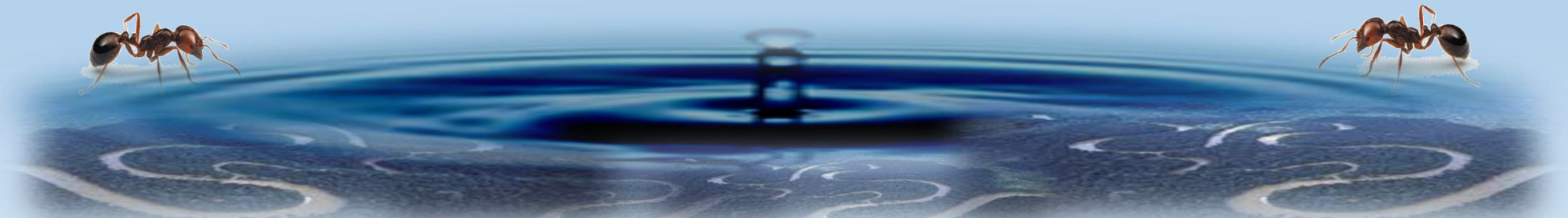
بازه ی درنظر گرفته شده برای گسسته سازی عبارت است از در راستای افقی برابر ۵۰۰ متـــر و در راستایی قائم نیز برابر ۵۰۰ متر. می توان برای این مساله و یا مسائل مشابه بازه های دیگری را نیز درنظر گرفت که ممکن است در اجرای برنامه تاثیر گذار باشـــد. ولـــی در ایـــن مســـاله بـــا فواصل درنظر گرفته شده ما می‌توانیم به جواب های مناسبی دست یابیم. ایـــن چهـــار چـــاه بـــا استفاده از روش تفاضل های محدود و در محیط مطلب کدنویسی شد.



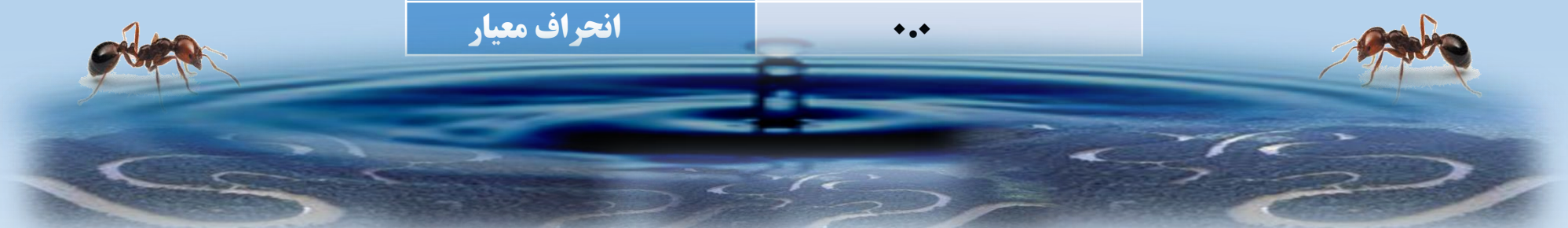
طبق فرض این چهار چاه می بایست دبی برابر ۳۸۰۰ لیتر بر ثانیه را برای کشاورزان فراهم نماینـــد. که این مساله بصورت یک قید در بهینه ساز اعمال گشت. ضریب Tبرای قسمت بالای آبخوان برابر ۵۰ و برای قسمت پایینی آبخوان برابر ۱۵۰ درنظر گرفته شده که این به هرچـــه واقعـــی تـــر شـــدن مساله کمک خواهد نمود. ارتفاع چاه ها ۱۰۰ متر درنظر گرفته شده است. شبیه ساز بـــه مـــا میـــزان ارتفاع نهایی هر چاه را خواهد داد که پس از کم نمودن آن از ۱۰۰ متر میزان افت آن بدست خواهد آمد. تابع هدف برابر خواهد بود با دبی هرچاه ضربدر میزان افت آن چاه که می توان آنرا با ضریبی درصورت نیاز تبدیل به میزان هزینه پمپاژ از چاه نمود.



پس از اتصال شبیه ساز و بهینه ساز به یکدیگر در محیط برنامه نویسی مطلب اقدام به اجرای برنامه خواهیم نمود و برای اطمینان یافتن از اینکه بدانیم جواب درستی را برای مساله پیدا نموده ایم علاوه براینکه یکبار قبلاً مساله های را برای امتحان حل نموده ایم، اقدام به اجرای برنامه برای ۱۰ بار می نماییم تا بتوانیم از همگرایی و یافتن بهترین جواب در همه ی اجراها مطمئن گردیم. در جدول زیر ۱۰ اجرا و ضرایب مربوط را مشاهده می نمایید.

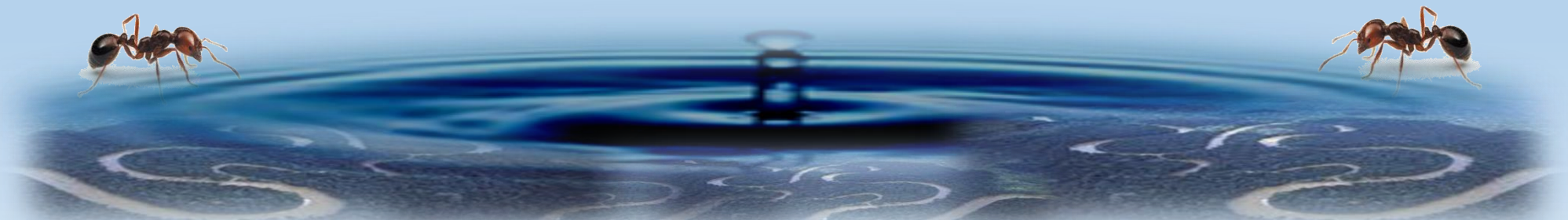


دفعات اجرا	جواب ها
۱	۹۴۲۲۴
۲	۹۴۲۲۴
۳	۹۴۲۲۴
۴	۹۴۲۲۴
۵	۹۴۲۲۴
۶	۹۴۲۲۴
۷	۹۴۲۲۴
۸	۹۴۲۲۴
۹	۹۴۲۲۴
۱۰	۹۴۲۲۴
تعداد برازش تابع هدف	۲۲۵۰۰۰
حداقل	۹۴۲۲۴
حداکثر	۹۴۲۲۴
میانگین	۹۴۲۲۴
انحراف معیار	۰.۰



بهینه سازی پارامترهای الگوریتم جامعه مورچگان

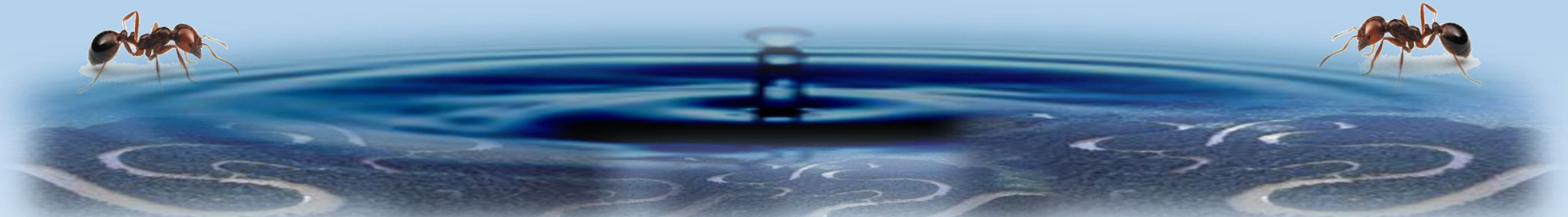
پارامتر در الگوریتم جامعه مورچگان	مقدار
تکرار	۱۵۰۰
تعداد مورچه‌ها	۱۵۰
تبخیر	۰.۹
ضریب K	۱۰۰
ضریب پنالتی و یا جریمه	۱۰۰۰۰۰



جمع بندی و نتیجه گیری

در این مساله ما به مطالعه بهینه سازی بهره برداری از آبخوان ها پـرداختیم. جـواب های بدست آمده در قسمت امتحان الگوریتم ها نشاندهنده کارایی مدل بـرای حـل مساله می باشد. در ادامه برای اطمینان یافتن از صحت و کارایی الگوریتم اقـدام بـه اجرای مدل برای ۱۰ بار نموده ایم.

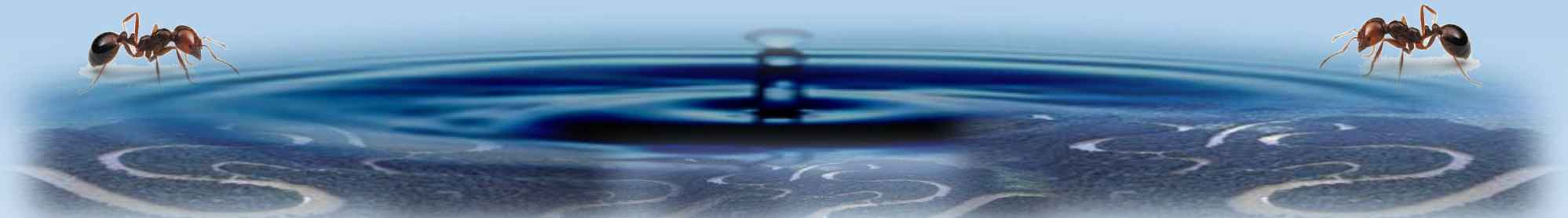
در این مساله حداقل و حداکثر جواب بدست آمده برای الگوریتم برابر شـده اسـت. جواب بدست آمده برابر ۹۴۲۲۴ لیتر بر ثانیه در متر که عبارت اسـت از حاصلضـرب میزان افت در چاه ها ضربدر میزان دبی آبی که از آن چاه بیرون کشیده می شود.



در اجراهای مختلف این مساله به ازای ۱۰ اجرا جواب بدست آمده برابر ۹۴۲۲۴ لیتر بر ثانیه در متر بوده است که در آن برای هر ۱۰ اجرا جواب ها برابر می باشد که نشاندهنده کارایی روش بکار گرفته شده برای مساله است.

درنتیجه کمترین و بیشترین جواب برای مساله نیز برابر ۹۴۲۲۴ لیتر بر ثانیه در متر است و میانگین نیز همین مقدار خواهد بود. انحراف معیار مساله برابر ۰ است که نشاندهنده همگرایی کامل است.

میزان برداشت از چاه ها عبارت شده است از : برای چاه شماره ۱ برابر ۹۳۱ لیتر در ثانیه، برای چاه شماره ۲، برابر ۹۶۰ لیتر در ثانیه، برای چاه شماره ۳ برابر ۹۷۱ لیتر در ثانیه، و برای چاه شماره ۴ برابر ۹۳۸ لیتر در ثانیه می باشد.



بیشترین برداشت مربوط به چاه شماره ۳ و کمترین برداشت مربوط به چاه شـماره ۱ می باشد هرچند اختلاف اساسی بین این برداشت ها وجود ندارد که احتمالاً به علت تقارن موجود در شکل مساله است.

همچنین افت چاه ها عبارت است: از ۸۴.۱۶ متر برای چاه شماره ۱، ۷۳.۵۱ متر بـرای چاه شماره ۲، ۷۸.۵۷ متر برای چاه شماره ۳ و ۶۴.۵۵ متر برای چاه شماره ۴. در این حالت میزان افت چاه شماره ۱ و ۳ کمتر از بقیه استکه علت اصلی آن این اسـت کـه این چاه ها درکنار یک تراز آبی ثابت و یا رودخانه واقع شده اند.