ҒОВАК МУҲИТЛАРДА ГРУНТ СУВЛАРИ ГЕОФИЛЬТРАЦИЯСИ ЖАРАЁНИ МАТЕМАТИК МОДЕЛИНИ СОНЛИ ЕЧИШ

Эгамбердиев Хожиакбар Салохитдинович

Иқтисодиёт ва педагогика университети, т.ф.б.ф.д., PhD

Бекматов Акмал Курбонмахматович

Муҳаммад ал-Хоразмий номидаги Тошкент ахборот технологиялари университети Қарши филиали ўқитувчиси

Кутдусова Эльмира Рауфовна

Муҳаммад ал-Хоразмий номидаги Тошкент ахборот технологиялари университети Қарши филиали ўқитувчиси

АННОТАЦИЯ

Мақолада ер ости сувларининг геофильтрация жараёнларини ифодаловчи мувозанат тенгламаларни ечишнинг сонли усуллари ва математик моделлари келтирилган. Шунингдек, ушбу математик моделни ошкормас схемани қўллаб сонли ечиш усули баён этилган.

Калит сўз: *Геофильтрация жараёнлари, гидрогеологик тизимлар, ёғин сочинларнинг инфильтрацияси, чегаравий масалалар, математик модел.*

КИРИШ. Дунёда ер ости сувларининг геофильтрация жараёнларини ифодаловчи мувозанат тенгламаларни ечишнинг сонли усуллари ва математик моделларини такомиллаштириш бўйича қатор, устувор йўналишларда тадқиқотлар олиб борилмоқда: жумладан, кўп ўзгарувчили параболик турдаги дифференциал тенгламаларни сонли ечиш асосида геофильтрация ва геомиграция жараёнларини математик моделларини такомиллаштириш;

гидрогеологик ҳудудларни математик моделлашда интеграциялаш имкониятини берувчи ягона ҳисоблаш тизимларини ривожлантириш; гидрогеологик шароити мураккаб ҳудудларни, ер ости суви ҳосил бўлиши ҳаракати ва сизилиб чиқиб сарфланиш худудлари ўртасидаги ўзаро алоқа жараёнларини математик моделларини ишлаб чиқиш; ер ости суви конларнинг чегарасида геофильтрация жараёнлари бир қаватли қатламдан тузилиши бўйича кўп қаватли қатламларига ўтиши ва сув оқими тик йўналиши чизмаси бўйича ҳудудлар ўртасидаги ўзаро алоқа жараёнларини математик моделлаш, ўз навбатида режим ташкил этувчи элементларини аниқлаш муҳим масалалардандир.

I. Адабиётлар таҳлили ва методология. Ер ости грунт сувлари мувозанат тенгламаси, бирор G соҳада гидрогеологик тизимларнинг геофильтрация жараёнларини математик модели қуйидагича ифодаланади:

$$\mu\frac{\partial h}{\partial t}=\frac{\partial}{\partial x}\left(kh\frac{\partial h}{\partial x}\right)+\frac{\partial}{\partial y}\left(kh\frac{\partial h}{\partial y}\right)+\eta\left(Q_b-f+J+Q_r-Q_d\right) \qquad (1.1.)$$

$$\begin{array}{lll} h(x,y,t)_{t=0}=\phi_1(x,y); & (x,y)\in\Gamma_1; & t=t_0; \\ h(x,y,t)=\phi_2(x,y); & (x,y)\in\Gamma_2; & t>t_0; \\ -kh\dfrac{\partial h}{\partial n}=\phi_3(x,y); & (x,y)\in\Gamma_3 & t>t_0; \\ -kh\dfrac{\partial h}{\partial n}=\gamma(h_0-h); & (x,y)\in\Gamma_4 & t>t_0 \end{array} \qquad (1.2.)$$

бу ерда μ - қатламнинг сув бериш қобилияти ёки тўйинганликнинг етишмовчилиги(ўлчовсиз катталик); *x,y* – текисликдаги координаталар, м; t- вақт, сут; *h=h(x,y,t)*-ер остидан ер юзасига қадар сувнинг сатҳи, м; $k=(x,y)$ - қатламни сув сизилиб ўтказувчанлик коэффиценти, яъни фильтрация коэффиценти, м/сут; η – моделни ўлчовли кўринишга ўтказиш коэффициенти (тенгликларнинг масса алмашинуви коэффициенти); $J=J(x,y)$ – ер усти сувларининг сизилиб кириши, яъни ёғин сочинларнинг инфильтрацияси, м/сут; Q_b – сув босиши, яъни грунт сувларининг ер устига чиқиб кетиши; γ-ер ости ва ер усти сувларининг ўзаро боғлиқлигининг гидрогеологик шарти.

(1.1) тенгламани пароболик типдаги оддий дифференциал тенгламалар тизими кўринишда, математик физиканинг бошланғич ва чегаравий шартлар асосида қуйидагича ифодалаш мумкин:

$$\begin{cases} \mu\dfrac{\partial h}{\partial t}=\dfrac{\partial}{\partial x}\left(kh\dfrac{\partial h}{\partial x}\right)+\dfrac{\partial}{\partial y}\left(kh\dfrac{\partial h}{\partial y}\right)+\eta W \\ h(x,y,t)_{t=0}=\phi_1(x,y); \qquad (x,y)\in\Gamma_1; \qquad t=t_0; \\ h(x,y,t)_{t=0}=\phi_2(x,y); \qquad (x,y)\in\Gamma_2; \qquad t>t_0; \\ -kh\dfrac{\partial h}{\partial n}=\phi_3(x,y); \qquad (x,y)\in\Gamma_3 \qquad t>t_0; \\ -kh\dfrac{\partial h}{\partial n}=\gamma(h_0-h); \qquad (x,y)\in\Gamma_4 \qquad t>t_0 \end{cases} \qquad (1.3)$$

бу ерда η – моделни ўлчовли кўринишга ўтказиш коэффициенти (тенгликларнинг масса алмашинуви коэффициенти); $W{=}Q_b-f+J+Q_r-Q_d$ ва бошқа шартли белгилар юқорида келтирилган белгиларга мос равишда ифодаланади; γ -ер ости ва ер усти сувларининг ўзаро боғлиқлигининг гидрогеологик шарти.

Бу тенгламалар тизими бир қатламли, турғунмас, текисликда ихтиёрий Г чизиғи билан чегараланган, бир жинсли бўлмаган G соҳада ер ости суви геофильтрациясини таърифлайди. Бу соҳани ер қаъридан сув ўтказмайдиган горизонталсимон ихтиёрий қатлам билан тўшалган.

Шундай қилиб, (1.13) тенглама ер ости сувлари сатҳ ўзгаришини мувозанат тенгламаси ҳисобланади, бунда (J, W, Q, f) каби факторлар аниқланиши лозим. Бунинг учун, чегаравий масалаларни ечишда сонли усуллар ва чекли айирмалар усули асосида компьютерли моделлаш билан амалга оширлади.

Ф.Б.Абуталиев, А.А.Самарский, И.Хабибуллаев, Р.Усмонов, И.Алимов, Ж.Х.Джуманов, П.П.Нагевич, И.Н.Грачева каби олимлар тадқиқотларида ушбу тенглама ва чегаравий масалаларнинг ечиш усуллари, алгоритмлари ва дастурий таъминоти келтирилган ҳамда ер ости сувлари мувозанат элементларини аниқлашни турли хил гидрогеологик мелиоратив шарт шароитларда амалга оширилган.

Геофильтрация соҳаси чегарасида ер ости сувлари мувозанати элементларида ер ости сувлари оқиб келиши ва чиқиб кетиши элементларини аниқлаш масаласи, яъни ер ости сувларининг оқиб келиши ва чиқиб кетиши қийматларининг умумлаштирилган, йиғиндидан иборат бўлган қийматлари қуйидагича аниқланади:

ер ости сувларининг оқиб келиши нуқталарида	ер ости сувларининг чиқиб кетиш нуқталарида
$q_1 = \sum_{i=1}^{n1} q_{1i}$	$q_1 = \sum_{i=1}^{n1} q_{1i}$

бу ерда, $n1$ -ер ости сувларининг оқиб келиши нуқталари сони;

$n2$ -ер ости сувларининг чиқиб кетиши нуқталари сони;

Ечиш усулларида, соҳани бир неча ҳудудларга бўлиб, фильтрация соҳаси чегарасида ва муҳим чегаравий шартлар асосида кўриб чиқамиз. Ер ости сувларининг кириши ва чиқиши қийматларини аниқлаш математик физиканинг иккинчи чегаравий масалалари ҳисобланади ва дала ишлари ҳамда лаборатория тадқиқотлари асосидаги маълумотлар бошланғич шартлар сифатида қабул қилинади.

II. Натижалар. *G* фильтрация соҳасида олинган чегаравий масалаларни ечимини кўриб чиқамиз. (1) тенгламада ва бошланғич ва чегаравий шартларда қуйидаги ўлчовсиз катталикка ўтамиз:

$$h^* = \frac{h}{h_0}, \quad x^* = \frac{x}{L}, \quad y^* = \frac{y}{L}, \quad k^* = \frac{k}{k_0}, \quad \tau = \frac{k_0 h_0}{\mu L^2} t$$

$$Q_b^* = \frac{2}{k_0 h_0^2} Q_b, \quad f^* = \frac{2L^2}{k_0 h_0^2} f, \quad J^* = \frac{2L^2}{k_0 h_0^2} J, \quad Q_r^* = \frac{2L}{k_0 h_0^2} Q_r, \quad Q_d^* = \frac{2L}{k_0 h_0^2} Q_d$$

бу ерда *h_0,* – характерли сатх, *k_0*,-фильтрация коэффициенти, *L* -фильтрация соҳасининг узунлиги

Ўлчовсиз кўринишда (2.14) тенглама қуйидаги кўринишда бўлади:

$$\frac{\partial h^*}{\partial \tau} = \frac{\partial}{\partial x^*}\left(k^* h^* \frac{\partial h^*}{\partial x^*}\right) + \frac{\partial}{\partial y^*}\left(k^* h^* \frac{\partial h^*}{\partial y^*}\right) + \frac{L^2}{\mu k_0 h_0} \eta W^* \qquad (1.4)$$

Бу ерда *W**- барча эркин ўзгарувчиларнинг йиғиндиси

Кейинчалик ўлчовсиз шаклдаги тенглама билан ишлаганимиз сабабли (1.4) тенгламани юлдузчасини тушириб қолдирамиз.

(1.4) тенглама ночизиқли ва уни ечиш учун итерацион усулдан фойдаланамиз. Қўйилган масалани янада кулайроқ ечими сифатида квазичизиқли усул ҳисобланади ҳамда дифференциал тенглама ночизиқли ўзгарувчилари қуйидаги кўринишга олиб келамиз:

$$T(h) \approx T(\bar{h}) + (h^2 - \bar{h}^2)\frac{\partial T}{\partial h^2}(\bar{h})$$

бу ерда $H = H^{(s)}(x, y, \tau)$; s – итерациялар сони

Унда (3.1) тенгламани чизиқли кўринишда қуйидагича ёзиш мумкин.

$$\frac{\partial h^2}{h\partial\tau} = \frac{\partial}{\partial x}\left(k\frac{\partial h^2}{\partial x}\right) + \frac{\partial}{\partial y}\left(k\frac{\partial h^2}{\partial y}\right) + \xi_1\eta W \qquad (1.5)$$

бу ерда $\xi_1 = \dfrac{L^2}{\mu k_0 h_0}$.

(1.5) тенгламани сонли ечиш учун чекли фарқ усулидан фойдаланамиз. Бу билан бирга G фильтрация ҳудудини ω_h *(h* тўр қадами*)* бир хил тўрли соҳа билан қоплаймиз.

Худди шунингдек, фильтрация соҳаси тўр билан алмаштирилади:

$$\omega_h = \bar{\omega}_h + \omega_h^* + \omega_h^0$$

$\bar{\omega}_h$- G ҳудуднинг ичида h қадам масофада жойлашган 4 та кесишувчи қўшни мунтазам (ички) нуқталар тўплами, ω_h^*- G ҳудудга тегишли бўлмаган фиктив нуқталар тўплами, ω_h^0 - чегаравий нуқталар тўплами.

Унда

$$\omega_h = \{(x_i = ih, \quad y_j = jh); \quad i = \overline{1, l_j} \quad j = \overline{1, m_i}\}, \qquad (1.6)$$

Бу ерда l_j - ξ_i тўғри чизиқдаги тугунлар сони, m_i - η_i тўғри чизиқдаги тугунлар сони.

(1.6) дифференциал тенгламани 2 қатламли олти нуқтали чекли фарқ схемасида аппроксимациялаймиз:

$$\frac{1}{\bar{h}_{i,j}}\frac{h_{i,j}^2-\bar{h}_{i,j}^2}{\tau}=\frac{k_{i-0.5,j}h_{i-1,j}^2-(k_{i-0.5,j}+k_{i+0.5,j})h_{i,j}^2+k_{i+0.5,j}h_{i+1,j}^2}{h^2}+$$
$$+\frac{k_{i,j-0,5}\bar{h}_{i,j-1}^2-(k_{i,j-0,5}+k_{i,j+0,5})\bar{h}_{i,j}^2+k_{i,j+0,5}\bar{h}_{i,j+0,5}^2}{h^2}+W_{i,j} \qquad (1.7)$$

бу ерда

$$h_{i,j}=h(ih,jh,r\tau),\qquad \bar{h}_{i,j}=h(ih,jh,(r-1)\tau),$$
$$W_{i,j}=W(il,jl,r\tau),\quad k_{i-0.5,j}=\frac{k_{i-1,j}-k_{i,j}}{2},\quad k_{i+0.5,j}=\frac{k_{i,j}-k_{i+1,j}}{2}$$

(1.7) тенгламани ечиш учун итерация ва кўндаланг-бўйлама прогонка усули билан ечамиз. Авваломбор бўйлама прогонкани кўрамиз. (3.4) тенглама қуйидаги кўринишда ёзилади.

$$a_{i,j}h_{i-1,j}^2-b_{i,j}h_{i,j}^2+c_{i,j}h_{i+1,j}^2=-d_{i,j}\,, \qquad (1.8)$$

бу ерда

$$a_{i,j}=k_{i-0.5,j}\,,\quad c_{i,j}=k_{i+0.5,j}\,,$$
$$b_{i,j}=k_{i-0.5,j}+k_{i+0.5,j}+\frac{h^2}{\tau h_{i,j}},$$
$$d_{i,j}=k_{i,j-0.5}\bar{h}_{i,j-1}^2-\left(k_{i-0.5,j}+k_{i+0.5,j}+\frac{h^2}{\tau h_{i,j}}\right)*$$
$$*\bar{h}^2{}_{i,j}+k_{i,j+0.5}\bar{h}^2{}_{i,j+1}-W_{i,j}$$

(1.8) тенгламани ечимини қуйидаги кўринишда излаймиз:

$$h_{i,j}^2=A_{i,j}h_{i+1,j}^2+B_{i,j} \qquad (1.9)$$

бу ерда

$$A_{i,j}=\frac{a_{i,j}}{b_{i,j}-c_{i,j}A_{i-1,j}};\qquad B_{i,j}=\frac{d_{i,j}+c_{i,j}B_{i-1,j}}{b_{i,j}-c_{i,j}A_{i-1,j}}. \qquad (1.10)$$

$A_{1,j}$ ва $B_{1,j}$ коэффициентлар чегаравий шартларда жойлашади.

Муаммоларнинг чекли-айирмали яқинлашишдан фойдаланиб, биз алгебраик тенгламалар тизимини ҳосил қиламиз, уни ечиш орқали объектнинг керакли параметрларини ва уларнинг вақт ва йўналишлар бўйича ўзгаришларининг мақбул қийматларини аниқлаймиз.

(1.7) ни

$$\frac{1}{h}\frac{\partial h^2}{\partial \tau}=\frac{\partial}{\partial x}(k\frac{\partial h^2}{\partial x})+\frac{\partial}{\partial y}(k\frac{\partial h^2}{\partial y})+2\xi_1\eta W \qquad (1.11)$$

каби ифодалаб оламиз.

Юқоридагиларга асосланиб, (1.11) масалани ечиш учун, *x*, *y* бир хил тўр киритамиз:

$$\omega_{\Delta x,\Delta y,\Delta\tau}=\left\{\begin{array}{l} x_i=i\ \Delta x,\ i=0,1,2..N_x,\ \Delta x=\dfrac{L}{N};\\ y_j=j\ \Delta y,\ j=0,1,2..N_y,\ \Delta y=\dfrac{L}{N};\\ t_l=l\ \Delta\tau,\ l=0,1,2..N_l,\ \Delta t=\dfrac{T}{N_l}.\end{array}\right\} \qquad (1.12)$$

(1.12) тенгламадаги дифференциал операторларни чекли – айирмали операторлар билан алмаштириб, бўйлама-кўндаланг йўналиш схемасидан фойдаланиб, биз *Ox* йўналиш бўйича қуйидагига эга бўламиз:

$$\frac{1}{\tilde h_{i,j}}\frac{(h^2)_{i,j}^{n+\frac{1}{2}}-(h^2)_{i,j}^{n}}{0.5\Delta\tau}=\frac{k_{i-0.5,j}(h^2)_{i-1,j}^{n+\frac{1}{2}}-(k_{i-0.5,j}+k_{i+0.5,j})(h^2)_{i,j}^{n+\frac{1}{2}}+}{\Delta x^2}+\frac{k_{i+0.5,j}(h^2)_{i+1,j}^{n+\frac{1}{2}}}{\Delta x^2}+$$
$$+\frac{k_{i,j-0.5}(h^2)_{i,j-1}^{n}-(k_{i,j-0.5}+k_{i,j+0.5})(h^2)_{i,j}^{n}}{\Delta y^2}+\frac{k_{i,j+0.5}(h^2)_{i,j+1}^{n}}{\Delta y^2}+2\xi_1\eta W_{i,j}^{n}.$$

(1.13)

(1.13) системани сатҳ функциясининг квадратига нисбатан $h^2\approx 2\tilde h h-\tilde h^2$ каби ёзамиз. У ҳолда (1.13) қуйидагича ифодаланади:

$$\frac{1}{\tilde h_{i,j}}\frac{2\tilde h_{i,j}h_{i,j}^{n+\frac{1}{2}}-\tilde h_{i,j}^2-2\tilde h_{i,j}h_{i,j}^{n}+\tilde h_{i,j}^2}{0.5\Delta\tau}=\frac{2k_{i-0.5,j}\tilde h_{i-1,j}h_{i-1,j}^{n+\frac{1}{2}}-k_{i-0.5,j}\tilde h_{i-1,j}^2}{\Delta x^2}-\frac{2\left(k_{i-0.5,j}+k_{i+0.5,j}\right)\tilde h_{i,j}h_{i,j}^{n+\frac{1}{2}}}{\Delta x^2}+$$
$$+\frac{\left(k_{i-0.5,j}+k_{i+0.5,j}\right)\tilde h_{i,j}^2+}{\Delta x^2}+\frac{2k_{i+0.5,j}\tilde h_{i+1,j}h_{i+1,j}^{n+\frac{1}{2}}-k_{i+0.5,j}\tilde h_{i+1,j}^2}{\Delta x^2}+\frac{2k_{i,j-0.5}\tilde h_{i,j-1}h_{i,j-1}^{n}-k_{i,j-0.5}\tilde h_{i,j-1}^2}{\Delta y^2}-$$
$$-\frac{2\left(k_{i,j-0.5}+k_{i,j+0.5}\right)\tilde h_{i,j}h_{i,j}^{n}}{\Delta y^2}+\frac{\left(k_{i,j-0.5}+k_{i,j+0.5}\right)\tilde h_{i,j}^2}{\Delta y^2}+\frac{2k_{i,j+0.5}\tilde h_{i,j+1}h_{i,j+1}^{n}-k_{i,j+0.5}\tilde h_{i,j+1}^2}{\Delta y^2}+2\xi_1\eta W_{i,j}^{n+\frac{1}{2}}.$$

Ушбу ифодадаги қавсларни қуйидагича очиб чиқамиз:

$$\frac{1}{\tilde{h}_{i,j}}\frac{2\tilde{h}_{i,j}}{0.5\Delta\tau}h_{i,j}^{n+\frac{1}{2}}-\frac{1}{\tilde{h}_{i,j}}\frac{2\tilde{h}_{i,j}}{0.5\Delta\tau}h_{i,j}^{n}=\frac{2k_{i-0.5,j}\tilde{h}_{i-1,j}}{\Delta x^2}h_{i-1,j}^{n+\frac{1}{2}}-\frac{k_{i-0.5,j}\tilde{h}_{i-1,j}^2}{\Delta x^2}-$$

$$-\frac{2\left(k_{i-0.5,j}+k_{i+0.5,j}\right)\tilde{h}_{i,j}}{\Delta x^2}h_{i,j}^{n+\frac{1}{2}}+\frac{\left(k_{i-0.5,j}+k_{i+0.5,j}\right)\tilde{h}_{i,j}^2}{\Delta x^2}+\frac{2k_{i+0.5,j}\tilde{h}_{i+1,j}}{\Delta x^2}h_{i+1,j}^{n+\frac{1}{2}}-$$

$$-\frac{k_{i+0.5,j}\tilde{h}_{i+1,j}^2}{\Delta x^2}+\frac{2k_{i,j-0.5}\tilde{h}_{i,j-1}}{\Delta y^2}h_{i,j-1}^{n}-\frac{k_{i,j-0.5}\tilde{h}_{i,j-1}^2}{\Delta y^2}-\frac{2\left(k_{i,j-0.5}+k_{i,j+0.5}\right)\tilde{h}_{i,j}}{\Delta y^2}h_{i,j}^{n}+$$

$$+\frac{\left(k_{i,j-0.5}+k_{i,j+0.5}\right)\tilde{h}_{i,j}^2}{\Delta y^2}+\frac{2k_{i,j+0.5}\tilde{h}_{i,j+1}}{\Delta y^2}h_{i,j+1}^{n}-\frac{k_{i,j+0.5}\tilde{h}_{i,j+1}^2}{\Delta y^2}+2\xi_1\eta W_{i,j}^{n+\frac{1}{2}}.$$

Ўхшаш ҳадларни ихчамлаганимиздан кейин қуйидагига келамиз:

$$\frac{2k_{i-0.5,j}\tilde{h}_{i-1,j}}{\Delta x^2}h_{i-1,j}^{n+\frac{1}{2}}-\left(\frac{2\left(k_{i-0.5,j}+k_{i+0.5,j}\right)\tilde{h}_{i,j}}{\Delta x^2}-\frac{4}{\Delta\tau}\right)h_{i,j}^{n+\frac{1}{2}}+\frac{2k_{i+0.5,j}\tilde{h}_{i+1,j}}{\Delta x^2}h_{i+1,j}^{n+\frac{1}{2}}=$$

$$=-\left(\left(\frac{4}{\Delta\tau}-\frac{2\left(k_{i,j-0.5}+k_{i,j+0.5}\right)\tilde{h}_{i,j}}{\Delta y^2}\right)h_{i,j}^{n}+\frac{2k_{i,j-0.5}\tilde{h}_{i,j-1}}{\Delta y^2}h_{i,j-1}^{n}+\right. \qquad (1.14)$$

$$+\frac{2k_{i,j+0.5}\tilde{h}_{i,j+1}}{\Delta y^2}h_{i,j+1}^{n}-\frac{k_{i-0.5,j}\tilde{h}_{i-1,j}^2}{\Delta x^2}+\frac{\left(k_{i-0.5,j}+k_{i+0.5,j}\right)\tilde{h}_{i,j}^2}{\Delta x^2}-\frac{k_{i+0.5,j}\tilde{h}_{i+1,j}^2}{\Delta x^2}-$$

$$\left.-\frac{k_{i,j-0.5}\tilde{h}_{i,j-1}^2}{\Delta y^2}+\frac{\left(k_{i,j-0.5}+k_{i,j+0.5}\right)\tilde{h}_{i,j}^2}{\Delta y^2}-\frac{k_{i,j+0.5}\tilde{h}_{i,j+1}^2}{\Delta y^2}+2\xi_1\eta W_{i,j}^{n+\frac{1}{2}}\right).$$

бу ерда $\tilde{h}_{i-1,j}$, $\tilde{h}_{i,j}$, $\tilde{h}_{i+1,j}$ –бошланғич итерация қийматлари.

(1.14) чекли-айирмани (1.15) алгебраик тенгламалар системаси кўринишида ифодалаймиз:

$$a_{i,j}h_{i-1,j}^{n+\frac{1}{2}}-b_{i,j}h_{i,j}^{n+\frac{1}{2}}+c_{i,j}h_{i+1,j}^{n+\frac{1}{2}}=-d_{i,j}, \qquad (1.15)$$

бу ерда

$$a_{i,j}=\frac{2k_{i-0.5,j}\tilde{h}_{i-1,j}}{\Delta x^2},\ b_{i,j}=\frac{2\left(k_{i-0.5,j}+k_{i+0.5,j}\right)\tilde{h}_{i,j}}{\Delta x^2}-\frac{4}{\Delta\tau},\quad c_{i,j}=\frac{2k_{i+0.5,j}\tilde{h}_{i+1,j}}{\Delta x^2},$$

$$d_{i,j} = \left(\frac{4}{\Delta\tau} - \frac{2\left(k_{i,j-0.5} + k_{i,j+0.5}\right)\tilde{h}_{i,j}}{\Delta y^2} \right) h_{i,j}^n + \frac{2k_{i,j-0.5}\tilde{h}_{i,j-1}}{\Delta y^2} h_{i,j-1}^n +$$
$$+ \frac{2k_{i,j+0.5}\tilde{h}_{i,j+1}}{\Delta y^2} h_{i,j+1}^n - \frac{k_{i-0.5,j}\tilde{h}_{i-1,j}^2}{\Delta x^2} + \frac{\left(k_{i-0.5,j}+k_{i+0.5,j}\right)\tilde{h}_{i,j}^2}{\Delta x^2} - \frac{k_{i+0.5,j}\tilde{h}_{i+1,j}^2}{\Delta x^2} -$$
$$- \frac{k_{i,j-0.5}\tilde{h}_{i,j-1}^2}{\Delta y^2} + \frac{\left(k_{i,j-0.5} + k_{i,j+0.5}\right)\tilde{h}_{i,j}^2}{\Delta y^2} - \frac{k_{i,j+0.5}\tilde{h}_{i,j+1}^2}{\Delta y^2} + 2\xi_1\eta W_{i,j}^{n+\frac{1}{2}}.$$

Oy йўналишида (1.12) системани $\omega_{\Delta x,\Delta y,\Delta\tau}$ тўрда ошкормас схемани қўллаб аппроксимация қиламиз.

$$\frac{1}{\tilde{h}} \frac{(h^2)_{i,j}^{n+1} - (h^2)_{i,j}^{n+\frac{1}{2}}}{0.5\tau} = \frac{k_{i-0.5,j}(h^2)_{i-1,j}^{n+\frac{1}{2}} - (k_{i-0.5,j} + k_{i+0.5,j})(h^2)_{i,j}^{n+\frac{1}{2}}}{\Delta x^2} + \frac{k_{i+0.5,j}(h^2)_{i+1,j}^{n+\frac{1}{2}}}{\Delta x^2} \tag{1.16}$$
$$+ \frac{k_{i,j-0.5}(h^2)_{i,j-1}^{n+1} - (k_{i,j-0.5} + k_{i,j+0.5})(h^2)_{i,j}^{n+1}}{\Delta y^2} + \frac{k_{i,j+0.5}(h^2)_{i,j+1}^{n+1}}{\Delta y^2} + 2\xi_1\eta W_{i,j}^{n+\frac{1}{2}}$$

Юқорида келтирилган сатҳ функциясининг квадратига нисбатан ифодадан фойдаланиб (1.16) ни қуйидагича ёзамиз:

$$\frac{2k_{i,j-0.5}\tilde{h}_{i,j-1}}{\Delta y^2} h_{i,j-1}^{n+1} - \left(\frac{2\left(k_{i,j-0.5}+k_{i,j+0.5}\right)\tilde{h}_{i,j}}{\Delta y^2} - \frac{4}{\Delta\tau} \right) h_{i,j}^{n+1} + \frac{2k_{i,j+0.5}\tilde{h}_{i,j+1}}{\Delta y^2} h_{i,j+1}^{n+1} =$$
$$-\left(\left(\frac{4}{\Delta\tau} - \frac{2\left(k_{i-0.5,j} + k_{i+0.5,j}\right)\tilde{h}_{i,j}}{\Delta x^2} \right) h_{i,j}^{n+\frac{1}{2}} + \frac{2k_{i-0.5,j}\tilde{h}_{i-1,j}}{\Delta x^2} h_{i-1,j}^{n+\frac{1}{2}} + \right. \tag{1.17}$$
$$+ \frac{2k_{i+0.5,j}\tilde{h}_{i+1,j}}{\Delta x^2} h_{i+1,j}^{n+\frac{1}{2}} - \frac{k_{i-0.5,j}\tilde{h}_{i-1,j}^2}{\Delta x^2} + \frac{\left(k_{i-0.5,j}+k_{i+0.5,j}\right)\tilde{h}_{i,j}^2}{\Delta x^2} - \frac{k_{i+0.5,j}\tilde{h}_{i+1,j}^2}{\Delta x^2} -$$
$$\left. - \frac{k_{i,j-0.5}\tilde{h}_{i,j-1}^2}{\Delta y^2} + \frac{\left(k_{i,j-0.5} + k_{i,j+0.5}\right)\tilde{h}_{i,j}^2}{\Delta y^2} - \frac{k_{i,j+0.5}\tilde{h}_{i,j+1}^2}{\Delta y^2} + 2\xi_1\eta W_{i,j}^{n+1} \right).$$

(1.17) ни уч диагоналли алгебраик тенгламалар системаси кўринишида қуйидагича ифодалаймиз:

$$\bar{a}_{i,j} h_{i,j-1}^{n+1} - \bar{b}_{i,j} h_{i,j}^{n+1} + \bar{c}_{i,j} h_{i,j+1}^{n+1} = -\bar{d}_{i,j}\,, \tag{1.18}$$

бу ерда

$$\bar{a}_{i,j} = \frac{2k_{i,j-0.5}\tilde{h}_{i,j-1}}{\Delta y^2},\quad \bar{b}_{i,j} = \frac{2\left(k_{i,j-0.5}+k_{i,j+0.5}\right)\tilde{h}_{i,j}}{\Delta y^2} - \frac{4}{\Delta\tau},\quad \bar{c}_{i,j} = \frac{2k_{i,j+0.5}\tilde{h}_{i,j+1}}{\Delta y^2},$$

$$\bar{d}_{i,j} = \left(\frac{4}{\Delta\tau} - \frac{2\left(k_{i-0.5,j} + k_{i+0.5,j}\right)\tilde{h}_{i,j}}{\Delta x^2} \right) h_{i,j}^{n+\frac{1}{2}} + \frac{2k_{i-0.5,j}\tilde{h}_{i-1,j}}{\Delta x^2} h_{i-1,j}^{n+\frac{1}{2}} +$$

$$+ \frac{2k_{i+0.5,j}\tilde{h}_{i+1,j}}{\Delta x^2} h_{i+1,j}^{n+\frac{1}{2}} - \frac{k_{i-0.5,j}\tilde{h}_{i-1,j}^2}{\Delta x^2} + \frac{\left(k_{i-0.5,j}+k_{i+0.5,j}\right)\tilde{h}_{i,j}^2}{\Delta x^2} - \frac{k_{i+0.5,j}\tilde{h}_{i+1,j}^2}{\Delta x^2} -$$

$$- \frac{k_{i,j-0.5}\tilde{h}_{i,j-1}^2}{\Delta y^2} + \frac{\left(k_{i,j-0.5} + k_{i,j+0.5}\right)\tilde{h}_{i,j}^2}{\Delta y^2} - \frac{k_{i,j+0.5}\tilde{h}_{i,j+1}^2}{\Delta y^2} + 2\xi_1\eta W_{i,j}^{n+1},$$

(1.15) ва (1.18) тенгламалар системасини прогонка методидан фойдаланиб ҳисоблаймиз:

Ox йўналишда

$$h_{i,j}^{n+\frac{1}{2}} = \alpha_{i+1,j} h_{i+1,j}^{n+\frac{1}{2}} + \beta_{i+1,j}, \qquad (1.19)$$

Oy йўналишда

$$h_{i,j}^{n+1} = \bar{\alpha}_{i,j+1} h_{i,j+1}^{n+1} + \bar{\beta}_{i,j+1}, \qquad (1.20)$$

каби рекуррент формулалардан фойдаланамиз.

(1.19) ва (1.20) ларда $\alpha_{i,j}$, $\beta_{i,j}$, $\bar{\alpha}_{i,j}$, $\bar{\beta}_{i,j}$ ларни топиш учун *i* ни *i-1* га, *j* ни *j-1* га алмаштирамиз:

$$h_{i-1,j}^{n+\frac{1}{2}} = \alpha_{i,j} h_{i,j}^{n+\frac{1}{2}} + \beta_{i,j},$$

$$h_{i,j-1}^{n+1} = \bar{\alpha}_{i,j} h_{i,j}^{n+1} + \bar{\beta}_{i,j}$$

бу ерда $\alpha_{i,j}$, $\beta_{i,j}$, $\bar{\alpha}_{i,j}$, $\bar{\beta}_{i,j}$ лар прогонка коэффициентлари

Ҳисоб китоблардан сўнг *Ox*, *Oy* йўналишлари учун прогонка коэффициентларини топиш учун қуйидаги рекурентлардан фойдаланамиз:

$$\alpha_i = \frac{c_{i-1,j}}{b_{i-1,j} - a_{i-1,j}\alpha_{i-1,j}}, \quad \beta_i = \frac{d_{i-1,j} + a_{i-1,j}\beta_{i-1,j}}{b_{i-1,j} - a_{i-1,j}\alpha_{i-1,j}}, \qquad (1.21)$$

$$\bar{\alpha}_j = \frac{\bar{c}_{i,j-1}}{\bar{b}_{i,j-1} - \bar{a}_{i,j-1}\bar{\alpha}_{i,j-1}}, \quad \bar{\beta}_j = \frac{\bar{d}_{i,j-1} + \bar{a}_{i,j-1}\bar{\beta}_{i,j-1}}{\bar{b}_{i,j-1} - \bar{a}_{i,j-1}\bar{\alpha}_{i,j-1}}, \qquad (1.22)$$

$-kh\frac{\partial h}{\partial n}\Big|_{\Gamma}=\gamma(h_0-h)$ каби чегаравий шартни фиктив бўлган фильтрация ҳудуди учун ҳар бир йўналишлар учун чегаравий шартларни қуйидагича қилиб оламиз ва ошкормас схемани қўллаб аппроксимация қиламиз:

Ox йуналиши бўйлаб:

$$\frac{\partial h}{\partial x_i}\Big|_{x_i=0}=-\frac{k_0h_0}{2L}k_{1,j}\frac{2\tilde{h}_{1,j}h_{1,j}^{n+\frac{1}{2}}-\tilde{h}_{1,j}^2-2\tilde{h}_{0,j}h_{0,j}^{n+\frac{1}{2}}+\tilde{h}_{0,j}^2}{\Delta x}=\gamma(h_0h_{1,j}^{n+\frac{1}{2}}-h_0), \tag{1.23}$$

$$\frac{\partial h}{\partial x_i}\Big|_{x_i=1}=\frac{k_0h_0}{2L}k_{I,j}\frac{2\tilde{h}_{I,j}h_{I,j}^{n+\frac{1}{2}}-\tilde{h}_{I,j}^2-2\tilde{h}_{I-1,j}h_{I-1,j}^{n+\frac{1}{2}}+\tilde{h}_{I-1,j}^2}{\Delta x}=\gamma(h_0h_{I,j}^{n+\frac{1}{2}}-h_0), \tag{1.24}$$

Oy йуналиши бўйлаб:

$$\frac{\partial h}{\partial y_i}\Big|_{y_i=0}=-\frac{k_0h_0}{2L}k_{i,1}\frac{2\tilde{h}_{i,1}h_{i,1}^{n+1}-\tilde{h}_{i,1}^2-2\tilde{h}_{i,0}h_{i,0}^{n+1}+\tilde{h}_{i,0}^2}{\Delta y}=\gamma(h_0h_{i,1}^{n+1}-h_0), \tag{1.25}$$

$$\frac{\partial h}{\partial y_i}\Big|_{y_i=1}=\frac{k_0h_0}{2L}k_{i,J}\frac{2\tilde{h}_{i,J}h_{i,J}^{n+1}-\tilde{h}_{i,J}^2-2\tilde{h}_{i,J-1}h_{i,J-1}^{n+1}+\tilde{h}_{i,J-1}^2}{\Delta y}=\gamma(h_0h_{i,J}^{n+1}-h_0), \tag{1.26}$$

Юқорида таъкидланганидек, муаммо чизиқли бўлмаган қисман дифференсиал тенгламалар ёрдамида тасвирланган, уни итерацион усул ёрдамида ечиш мумкин. Такрорланувчи жараённинг яқинлашув шартлари қуйидагилардан иборат:

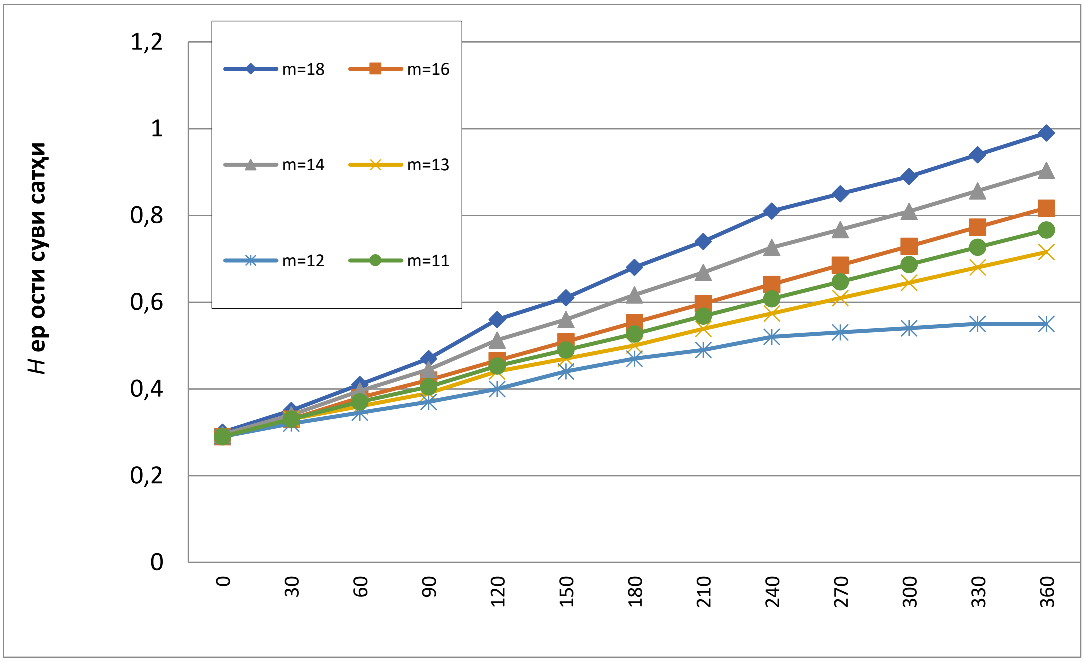
$$\left|\left(h_{i,j}^{\mathrm{n}}\right)^{(\mathrm{s}+1)}-\left(h_{i,j}^{\mathrm{n}}\right)^{(\mathrm{s})}\right|\le\varepsilon\cdot$$

бу ерда s – итерациялар сони, ε – итерацион жараённинг аниқлиги.

III. Муҳокама. Тадқиқотлар давомида олинган натижалар асосида масалани ечиш сув олиш иншоотининг эксплуатацияси шароитида амалга оширилди. Сув қатламининг параметрларини аниқлаштириш ва ер усти ва ер ости сувлари ўртасидаги миқдорий муносабатларни аниқлаш учун бир қатор гидрогеологик қирқим ёки кесмада бундай вазифалар ҳал қилинди. Қирқимда тоғ жинслари тафсилотларини аниқлашни ҳал қилишнинг асосий мақсади фильтрациянинг ер усти сув оқимлари билан ўзаро боғлиқлигини аниқлаш, улардан сизилиб йўқотишларини аниқлаш, шунингдек оқимнинг коэффициенти хусусиятларининг баъзи тафсилотларини аниқлаштириш, яъни сизилиш коэффициенти ва суюқликни йўқотиш коэффициенти ва мувозанат элементларини аниқлаштиришдир.

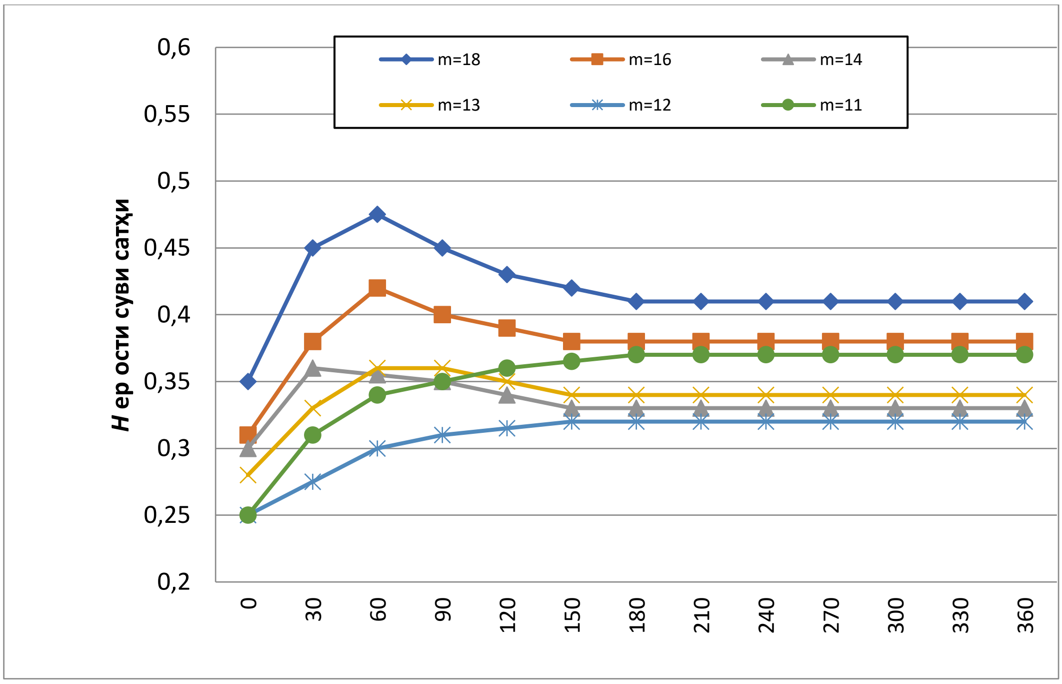
Бу ҳолда дастлабки маълумотлар 2018 йил учун тузилган сув таъминоти ва гидроизогипс баланси сифатида олинади, сув бериш коэффициенти μ= 0,15. Бир қатор ностационар вазифаларни ҳал қилиш натижасида сув бериш коэффициенти ва сув баланси модел бўйича танланади. Дала тадқиқотларига кўра, сув бериш коэффициенти 0,10 дан 0,20 гача.

Ушбу интервалда энг мақбул параметр қийматлари танланади. Координаталари (x, y) бўлган бешта танланган характерли нуқталарда ҳисоблаш тажрибалари; (28, 32); (56, 32); (43, 24); (28, 16); (56,32) қиймати μ= 0.10-0.19 даражаларнинг минимал оғишларини ва вақт фарқи бўйича H нинг барқарор тебранишини кўрсатди.



1-расм. Сув сатҳининг стабиллашуви графиги (μ= 0,12 -0,13)

Сув сатҳининг стабиллашуви 120 кунга тўғри келади. μ<0.20 қийматида даражалар фарқи катта ва μ= 0,12 -0,13 қийматида у деярли барқарорлашади, яъни, ўзгармайди (4.9-расм). Шундай қилиб, ҳудуд модели учун суюқликни йўқотишнинг оптимал қиймати 0,12 га тенг. Фильтрланиш коэффициентларининг қийматларини аниқлаштиришда 2019 йил июл-август ойларида гидроизогипс ва ер юзининг мутлақ баландликлари асос қилиб олинди (4.10-расм). Баланс моддалари: участканинг шимолий-шарқий қисмида $Q = const$ ер ости сувлари оқими, моделнинг юқори чегараси; соҳанинг жанубий қисмида, моделнинг пастки чегарасида чиқиш; участканинг ичкарисида инфильтрация ва мавжуд сув олиш жойлари билан тортиб олинадиган жой, шарқий ва ғарбий қисмларда, ер усти сув оқимлари билан боғланиш $Q_к$ ёки $Q_р$ ўтказувчан чегарадир.



2. расм. Сув сатҳининг барқарорлик графиги (μ= 0,12 -0,13)

Хулоса. Ҳудудда инфильтрация характерли ва ер ости суви фильтрланиши йўқотишлари ва дренажнинг ҳар бир чизиқли км учун 50-100 л/с оралиғида қийматини аниқлашга асос берди. Моделнинг етарлилиги бир йил давомида эпигноз муаммони ечиш оркали текширилди, дастлабки ҳолат 2018 йилги гидрогеологик шароит бўлиб қабул қилинди ва 2019 йилда кузатув пунктларида дала ўлчовлари натижалари билан таққослаш амалга оширилди.

ФОЙДАЛАНИЛГАН АДАБИЁТЛАР РЎЙХАТИ

1. *Джуманов Ж.Х., Юсупов Р.А., Ахралов Ш.С., Эгамбердиев Х.С., Исроилов У.Б. Сув хўжалик фаолияти ўзгарган шароитларда ер ости сувлари ҳаракатини математик моделлаш (Зарафшон воҳасининг Дамхўжа сув олиш иншоати мисолида)/ Муҳаммад Ал-Хоразмий Авлодлари илмий-амалий ва ахборот-таҳлилий журнали. –Тошкент. 2019.«Fan va texnologiya» нашриёти 4(10). 132-137 стр. (05.00.00; 10)*

2. *Джуманов Ж.Х., Юсупов Р.А., Эгамбердиев Х.С. Математическое моделирование процессов геофильтрации подземных вод в многослойных средах (на примере Китабо-шахрисабзского месторождения подземных вод)/ ВЕСТНИК ТУИТ. -Ташкент. ТАТУ. 3(51) 2019, -С.87-98 (05.00.00; 31)*

3. *Джуманов Ж.Х., Юсупов Р.А., Эгамбердиев Х.С. ва б. Многомерный подход к моделированию фильтрационных процессов гидрогеологических систем. //«O'zbekiston zamini («Земля Узбекистана»)» илмий-амалий ва инновацион журнал. 2019 йил 2-сон. O'ZDAVYERLOYIHA institute. Тошкент-2019.*

4. *Джуманов Ж.Х., Юсупов Р.А., Эгамбердиев Х.С. ва б. К вопросу практического применения «Big DATA» в гидрогеологических исследованиях// Пятая Международная научно-практическая конференция «Big DATA and Advanced Analytics. Big DATA и анализ высокого уровня» Минск. Республика Беларусь. 13-14 марта 2019 года. – Б.100*

5. *Джуманов Ж.Х.,Бегимкулов Д.К.,Хушвактов С.Х., Эгамбердиев Х.С. Разработка типовых компьютерных моделей формирования запасов месторождений подземных вод в маловодных период. // "Ахборот ва телекоммуникация технологиялари ривожланиш истиқболлари" Республика илмий-техник конференция материаллари. Қарши 2018*

6. *Джуманов Ж.Х., Эгамбердиев Х.С. Разработка и внедрение устройств автоматизированных измерений параметров подземной гидросферы. //*

Математик моделлаштириш, алгоритмлаш ва дастурлашнинг долзарб муаммолари. Республика конференцияси. Тошкент 2018 йил 17-18 сентябр

7. *Джуманов Ж.Х.,Узаков У.З.,Эгамбердиев Х.С. Уч ўлчамли фазовий маълумотлар моделлари ва тузилмалари. “Ахборот ва телекоммуникация технологиялари ривожланиш истиқболлари” Республика илмий-техник конференция материаллари. Қарши 2018*

8. *Джуманов Ж.Х., Юсупов Р.А., Эгамбердиев Х.С., Ахралов Ш.С. Программа прогнозирование движения подземных вод. Агентство по интеллектуальной собственности Республики Узбекистан Свидетельство об официальной регистрации программы для электронно-вычислительных машин. –Ташкент. 2019. №DGU 2019 0843.*

9. *Самарский А.А., Николаев Е.С. Методы решения сеточных уравнений. М.:Наука,1978.-590с.*

10. *Умаров У.У., Хабибуллаев И.Х., Грачева И.Н., Усманов Р.Н., Джуманов Ж.Х. Перспективы развития методологии моделирования гидрогеологических систем на базе современных информационных технологий: Геология и минеральные ресурсы/ -Т., 2006. №2. -С. 52-55 .*

11. *Шестаков В.М., Невечеря И. Фильтрационные расчеты несовершенной скважины в безнапорном потоке // Вестник Московского университета. Серия 4. Геология. - 2009. - № 6. - С. 55–59.*