

ЕР ОСТИ СУВЛАРИ МОДЕЛИНИ ЯРАТИШДА ФЙДАЛАНИЛАДИГАН ДАСТУРЛАР

Зокирова А. А.

*“Экология ва сув ресурсларини бошқариш” кафедраси магистранти,
“Тошкент ирригация ва қишлоқ хўжалигини механизациялаш муҳандислари
институтини” Миллий–тадқиқот университети*

Аннотация. Ер ости сувлари модели – компютердаги махсус дастурлар орқали яратилган модел бўлиб, у гидрогеологларга сувли қатлам шароитларини башорат қилиш ва ер ости сувлари табиий муҳитида бўлаётган жараёнлар ҳақида аниқроқ тасаввурлар пайдо қилишга ёрдам беради. Яратилган моделлар нафақат башоратлаш, балки, ер ости сувларининг минерализацияси, ҳаракати тўғрисида ҳам маълумотлар олишда самарали ҳисобланади.

Бугунги кунда ер ости сувларини моделлаштириш бўйича кўплаб дастурлар мавжуд. Масалан, MODFLOW, FEFLOW, Groundwater Modeling System (GMS), MARTHE, HydroGeoSphere, HYDRUS, PORFLOW, MicroFEM LT, OpenGeoSys, Leapfrog Hydro, ECLIPSE simulator кабилар. Ушбу мақолада улардан дунё мамлакатларида кенг қўлланиладиганларининг имкониятлари таҳлилини қиламиз.

Калит сўзлар: ер ости сувлари, модел, минерализация, сувли қатлам, моделлаштириш дастурлари.

Аннотация. Модель подземных вод — это компьютерная модель, которая помогает гидрогеологам прогнозировать состояние водоносного горизонта и формировать более точную картину процессов, происходящих в естественной среде подземных вод. Созданные модели эффективны не только при прогнозировании, но и при получении информации о минерализации и движении подземных вод.

На сегодняшний день существует множество программ моделирования подземных вод. Например, MODFLOW, FEFLOW, Groundwater Modeling System (GMS), MARTHE, HydroGeoSphere, HYDRUS, PORFLOW, MicroFEM LT, OpenGeoSys, Leapfrog Hydro, симулятор ECLIPSE. В этой статье мы разберем возможности тех, которые широко используются в странах мира.

Ключевые слова: подземные воды, модель, минерализация, водоносный горизонт, программы моделирования.

Annotation. A groundwater model is a computer model that helps hydrogeologists predict the state of an aquifer and form a more accurate picture of the processes that occur in the natural environment of groundwater. The created models are effective not only in forecasting, but also in obtaining information about the mineralization and movement of groundwater.

Today, there are many programs for groundwater modeling. For example, MODFLOW, FEFLOW, Groundwater Modeling System (GMS), MARTHE, HydroGeoSphere, HYDRUS, PORFLOW, MicroFEM LT, OpenGeoSys, Leapfrog Hydro, ECLIPSE simulator. In this article, we will analyze the capabilities of those that are widely used in countries around the world.

Key words: groundwater, model, mineralization, aquifer, modeling software.

Ер ости сувлари моделини яратиш қуйидаги саволларга жавоб олишда ёрдам беради:

- Сув таъминоти учун сув етарлими - суғориш ёки истеъмол учун?
- Насоснинг табиий муҳитга (хусусий/давлат кудуклари, дарёлар, кўллар, дарёлар ва сувли яшаш жойлари) потенциал таъсири қандай?
- Ер ости сув кудукларидан сув олиш сув муҳитига қандай таъсир кўрсатади?
- Ер ости сувлари моделлари қуйидагилар учун ишлатилиши мумкин:
- Ер ости сувлари кудук тизимлари ва сув ресурсларини баҳолаш (дебет, интерференция ва б.);
- Сув эгаллаган майдон/ҳимоя зоналарини аниқлаш;
- Суви қуриган конларнинг атроф-муҳитга таъсирини баҳолаш;
- Конлардаги сув миқдори ва сув сифати муаммоларини баҳолаш;
- Ифлосланган майдонларнинг таъсирини баҳолаш;
- Чиқиндихоналардан ифлосланиш таъсирини баҳолаш;
- Ер ости сувларининг ифлосланишини олдини олиш/оптималлаштириш чораларини ишлаб чиқиш;
- Соҳил бўйидаги сувли қатламларга шўр сувнинг кириб келишини баҳолаш ва таъсирини камайтириш;
- Булоқлардаги иссиқлик ҳаракатини ва геотермал энергия салоҳиятини баҳолаш;
- Септик тизимлардан, оқава сувлардан ва қишлоқ хўжалиги амалиётларидан нитратларнинг ташишини моделлаштириш.

Амалиётда ер ости сувларига нисбатан 2 хил ёндашув мавжуд:

Улар бебаҳо табиий ресурс бўлиб, ичимлик ва суғоришда фойдаланилиши мумкин. Шу сабабли ҳам уларни муҳофаза қилиш, доимий таркиб ва жойлашиш қатламлари маълумотларини таҳлил қилиб бориш зарур.

Ер юзасига яқин жойлашган ҳудудларда ер усти сувлари ва ҳудуднинг тупроқ ҳолатига салбий таъсирини ҳисобга олган ҳолда тўғри чоралар ишлаб чиқиш керак.

Юқоридаги ҳолатларни ечими сифатида ер ости сувларини моделлаштириш энг мақбул ечим дейиш мумкин. Ҳозирда бу вазифани бажариш учун бир қанча дастурлардан фойдаланилмоқда. Улар орасида энг кенг тарқалган **MODFLOW** дастури бўлиб, қуйида ушбу дастур функцияларини кўриб чиқамиз.

MODFLOW дастурлар тўплами ўз ичига MODPATH, PEST каби дастурларни олади. MODFLOW дастурининг илк талқини 1983-йил АҚШ Геология хизмати томонидан ишлаб чиқилган. Ушбу дастур Фортан тилида ишлайди. Дастурнинг кейинги талқинлари 1996 ва 2000-йилларда чиқарилган. Бугунги кунда MODFLOW бошқа моделлаш дастурлариги караганда, кўпроқ ишончли ва таҳлиллардан ўтказилган ҳисобланади.

1988-йилдан бошлаб дастур кодлари ва унинг тавсифлари очиқ ҳолатда ва бепул. MODFLOW модулли тузилишга эга бўлиб, бунинг қулай томони дастур имкониятларини кенгайтириш учун унга қўшимча модул қўшишнинг ўзи кифоя. Фарқли тенгламалар тизимини ечишнинг замонавий юқори тезликдаги усулларини қўллаш орқали MODFLOW дастурида ишлашда юқори тезликка эришилди. Ҳисоблагични танлашда ҳам тўғридан-тўғри, ҳам итератив усуллардан (градиентлар усули, тўлиқ бўлмаган факторизация ёки юқори аниқлик) фойдаланиш мумкин. Дастурнинг 2000-йилдаги талқинига мултигрид усули ҳам киритилган. MODFLOW ёрдамида тугун нуқталарида ер ости сувлари босими, шунингдек, тугунлар орасидаги оқим тезлиги маълумотларини олиш мумкин. Олинган маълумотларни оқим тезлиги балансини ҳисоблаш, конвектив-дисперсив ташувчанликни моделлаштириш ва траекторияни ҳисоблаш учун ишлатилиши мумкин.

MODPATH – зарралар траекториясини ҳисоблаш дастури. MODPATH учун кирувчи маълумот бўлиб, MODFLOW даги ҳисоблар орқали олинган ер ости сувларининг филтрацияси ва бошланғич нуқталар координатлари маълумотлари ҳисобланади. Муаллифлар MODPATH билан ишлаш тажрибаси орқали шундай фикр билдиришди, бу фойдали дастур бўлиб, у сув қудуқларининг камраб олган майдонлари, ер ости сувлари оқимининг фазовий тузилишини ва бошқа кўп нарсаларни баҳолаш имконини беради.

PEST – бу моделни калибрлашни автоматлаштириш дастури. Кўпгина ҳолларда калибрлаш синов ва хатолик йўли билан амалга оширилади ва олинган натижаларнинг ҳақиқатга мослигига тўла ишонч ҳосил қилиш имкони йўқ. PEST дастури чизиқли бўлмаган оптималлаштириш усулига асосланган бўлиб, у сифат функциясининг минималига (модел ва ҳақиқий маълумотлар ўртасидаги квадрат оғишлар йиғиндиси) мос келадиган параметрлар тўпламини топишга имкон беради. Муаллифларнинг PEST дан фойдаланишдаги шахсий тажрибаси бизга ушбу дастурни амалий муаммоларни ҳал қилиш учун тавсия қилиш имконини беради.

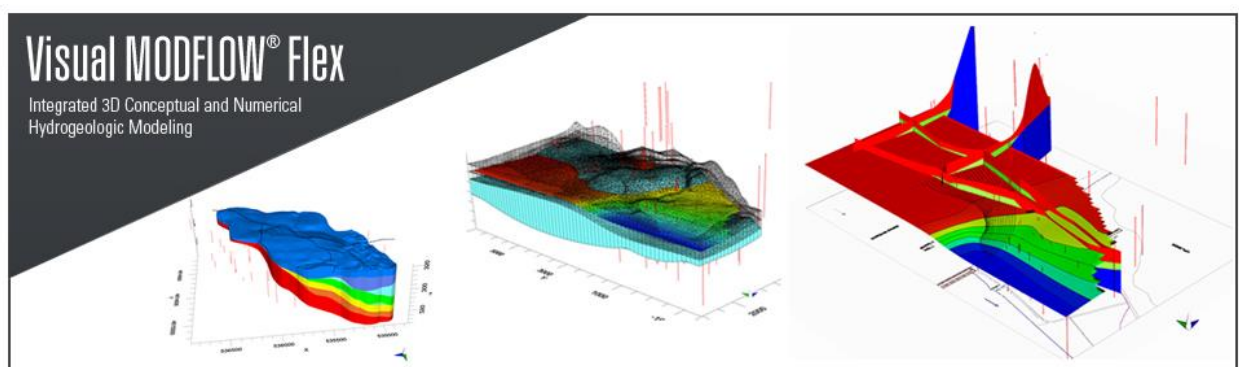
Юқорида тавсифланган барча дастурлар Фортран дастурлаш тилида ёзилган. Улар учун маълумотлар матнли файллар кўринишида тайёрланади, ҳисоблаш натижалари матнли файлларга ҳам чиқарилади. Албатта бунда моделлар учун маълумотларни матн мухаррирлари ёрдамида "кўлда" тайёрланади ва график тўпламлар ёки географик ахборот тизимлари (ГИС) ёрдамида ҳисоб-китоблар натижалари тақдим этилади.

Бироқ, кўп сонли фазовий тақсимланган параметрларга эга бўлган амалий масалаларни ҳал қилишда махсус дастурий таъминот тўпламлари -

пост-процессорлардан фойдаланиш кулай. Постпроцессорлар кириш маълумотларини кулай тайёрлаш ва ҳисоблаш натижаларини визуаллаштиришни таъминлайди.

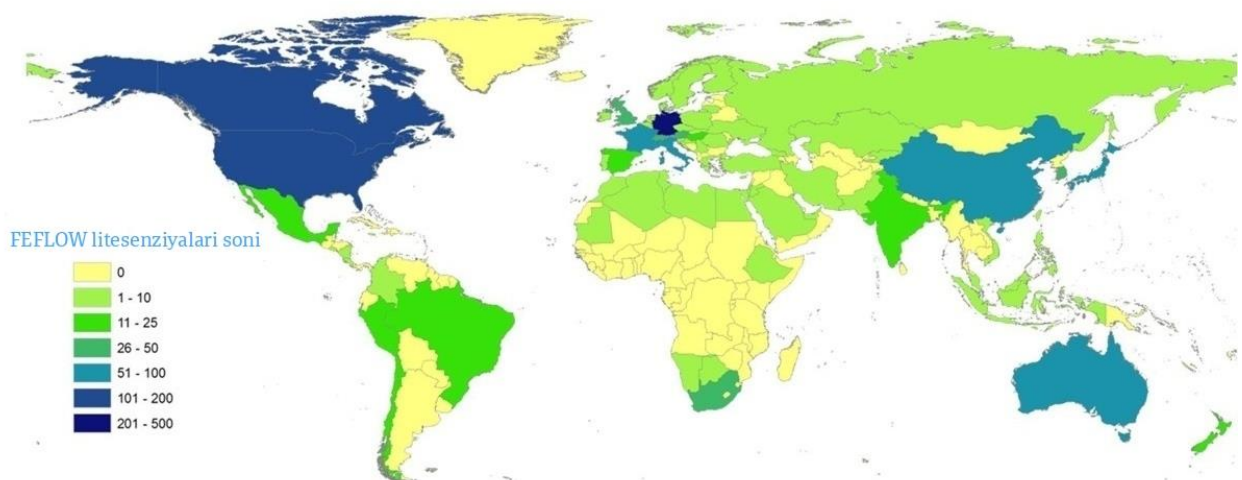
MODFLOW дастурлар тўпламига келсак, қобилятлари билан таққосланадиган бир нечта постпроцессорлар ишлаб чиқилган GMS, Groundwater Vistas, PMWIN, Visual MODFLOW. Ушбу дастурий воситаларнинг барчаси симуляция натижаларини 3D визуализация қилиш имкониятига эга.

USGS MODFLOW томонидан ер ости сувлари оқимини симуляция қилиш учун талаб қилинадиган кириш файллари барча домен атрибутларини, жумладан ўлчовлар, хусусиятлар ва хужайра чегараларини тавсифловчи бир қатор матнли файллардир. MODFLOW ушбу матн файлларини ўқийди ва улардан ҳар бир фаол тармоқ катакчасидаги гидравлик бошни чекланган фарқлар билан ҳисоблаш учун фойдаланади. Ушбу кириш файллари матнли файллар эканлиги ер ости сувлари моделини яратиш учун бевосита USGS MODFLOW дан фойдаланишни қийинлаштиради ва вақт талаб этади. Бу Excel ва маълумотлар базалари, Surfer җридлари, AutoCAD маълумотлари каби гидрогеологлар учун умумий бўлган файллар/маълумотлар тўпламидан фойдаланган ҳолда ер ости сувлари моделларини экранда график тарзда ишлаб чиқиш имконини берувчи Visual MODFLOW (VMOD), шу жумладан график фойдаланувчи интерфейсларини ривожланишига олиб келди. Visual MODFLOW дан фойдаланиб, маълумотлар тўпламларини импорт қилиш ва хужайра ўлчамлари, хусусият қийматлари ва чегара шартларини сатрлар, устунлар ва қатламлар сифатида график тарзда тайинлаш мумкин, сўнгра ушбу маълумотларни ер ости сувлари оқими ечимларини ишлаб чиқариш учун Visual MODFLOW орқали USGS MODFLOW да бажариладиган MODFLOW матн киритиш файллари тўпламига таржима қилинади. MODFLOW нинг визуал график интерфейси шунингдек, хом матн ва MODFLOW томонидан яратилган икки ўлчамли чиқиш файлларини талқин қилиш ва модел натижаларини таҳлил қилиш ва шарҳлаш учун тушунарли ранг/контур хариталари ва диаграммаларини яратишда кейинги ишлов беришда ёрдам беради.



Кейинги кўриб чиқадиган дастуримиз FEFLOW. FEFLOW (Finite Element subsurface FLOW system) - гидрогеологик моделлаштириш дастури бўлиб, унда ер ости сувларининг ҳаракати, ер ости сувларидаги аралашмалар ва иссиқликнинг ўтказилиши кабилар моделлаштирилади. Дастурий таъминот тўйинган ва тўйинмаган шароитларда ер ости сувлари оқими тенгламасини, шунингдек, масса ва иссиқлик узатишни, шу жумладан суюқлик зичлиги эффектларини ва кўп компонентли реакция тизимлари учун кимёвий кинетикани ечиш учун чекли элементлар таҳлилидан фойдаланади. FEFLOW дан бутун дунё бўйлаб етакчи консалтинг фирмалари, тадқиқот институтлари, университетлар ва давлат ташкилотлари фойдаланади. Қўлланилиш доираси оддий маҳаллийдан мураккаб кенг кўламли симуляцияларгача. Аммо Ўзбекистон ушбу дастур фойдаланувчилари йўқ мамлакатлар қаторига киритилган.

Dunyo mamlakatlarida FEFLOW dasturidan foydalanuvchilar



Дастурий таъминот биринчи марта 1979-йилда Ханс-Йорг Г. Дирш томонидан тақдим этилган. У 1990-йилгача Берлиндаги Германия Фанлар Академиясининг Механика институтида дастурий таъминотни ишлаб чиқди. 1990-йилда Ханс-Йорг Г. Дирш Германиянинг Берлин шаҳридаги “Сув ресурсларини режалаштириш ва тизимлари тадқиқотлар институти” асосчиларидан бири бўлиб, айнан шу институтда FEFLOW кейинги ривожланишига эришди ва ҳозиргача тижорат тўплами сифатида кенгайтириб келинмоқда. 2007 йилда “Сув ресурсларини режалаштириш ва тизимлари тадқиқотлар институти” акциялари DHI томонидан сотиб олинди. Институт DHI билан бирлаштирилди ва FEFLOW DHI Group дастурий таъминот портфелининг бир қисмига айланди. 40 йилдан ортиқ вақт давомида FEFLOW ўзининг қулайлиги ва функционаллиги туфайли ер ости сувларини энг юқори даражада моделлаштириш учун стандарт бўлиб келган.

Кўлланиш соҳалари:

- FEFLOW гидрогеологик шароитлар ҳисобини юритиш, башорат қилиш ва назорат қилиш имконини беради;
- турли ҳудудларда, шунингдек, бинолар ва иншоотларни (туннелларни) қуришда ер ости сувларининг хатти-ҳаракатини кузатишда;
- сув конлари моделини яратишда;
- шўр сувларнинг ер ости сувлари қатламига кирмаслигини назорат қилишда;
- тўғонлардан сизилишни кузатишда;
- ердан фойдаланишнинг турли кўринишлари ва иқлим ўзгаришининг мумкин бўлган сценарийлари;
- рекультивация ва ер ости сувларининг табиий қуриши;
- геотермал энергия;
- ер ости ва ер усти сувларининг ўзаро алоқасини кузатиш учун моделлар яратишда фойдаланилади.

Дастурнинг қулайликлари:

- чекланган элементлар усулидан фойдаланиш ўзига хос фазовий дискретизацияга эга бўлган ҳолда ўрганилаётган ҳудудни батафсил кўриб чиқиш, диққатни ўрганилаётган объектга қаратиш ва шу билан гидрогеологик моделлаштириш жараёнини тезлаштириш ва енгиллаштириш, шунингдек, аниқроқ натижага эришиш имконини беради;
- турли процессорларда маълумотларни параллел қайта ишлаш имконияти туфайли моделлаштириш вақтини сезиларли даражада тежалиши;
- GIS ва CAD маълумотларни узатиш ва қайта ишлаш форматларининг мавжудлиги;
- жараён ва моделлаштириш натижаларининг 2 ва 3 ўлчамли визуаллаштириш имконияти;
- фойдаланувчи ишининг мақсадлари, вазифалари ва хусусиятларига қараб турли хил, шу жумладан иқтисодий FEFLOW модуллари;
- дастур ўрнатилгандан кейин бир йил давомида бепул янгилаш имконияти.

Грунт сувларини моделлаштириш

- FEFLOW стационар ва стационар бўлмаган ҳолатларни тавсифлайди, кенг кўламли жисмоний жараёнларни кўллаб-қувватлайди;
- ғовакли муҳитда Дарси оқими;
- ўзгарувчан тўйинган оқим;
- босимсиз оқим;
- турли зичликка эга оқим;
- ёриқлар ва бузилишларда оқим.

Ер усти ва грунт сувларининг ўзаро таъсирлашуви

FEFLOW ер усти ва ер ости сувлари оқимини боғлаш орқали ер ости сувлари ҳаракати ва тошқин шароитларини ҳисоблаш учун MIKE HYDRO River дастури билан боғланган.

GROUNDWATER MODELING SYSTEM (GMS) – ер ости сувлари моделларини куриш ва симуляция қилиш учун сувни моделлаштириш дастури. Унда 2 ва 3 ўлчамли геостатистика, стратиграфик моделлаштириш ва ноёб концептуал модел ёндашуви мавжуд. Ҳозирда қўллаб-қувватланадиган моделлар орасида **MODFLOW**, **MODPATH**, **MT3DMS**, **RT3D**, **FEMWATER**, **SEEP2D** ва **UTEXAS** мавжуд.

GMS дастлаб 1980-йилларнинг охири ва 1990-йилларнинг бошида Unix иш станцияларида Brigham Young университетининг муҳандислик компьютер графикаси лабораторияси томонидан ишлаб чиқилган. GMS ни ишлаб чиқиш биринчи навбатда Америка Қўшма Штатлари Армияси Муҳандислар Корпуси томонидан молиялаштирилди ва 1999 йил охирида чиқарилган 4.0 версиясига қадар - Мудофаа Департаменти ер ости сувларини моделлаштириш тизими ёки ДоД ГМС сифатида танилган. У 1990-йилларнинг ўрталарида Microsoft Windows га кўчирилди. 3.1 версияси HP-UX , IRIX, OSF/1 ва Solaris платформаларини қўллаб-қувватловчи охириги версия эди. GMS ни ишлаб чиқиш, WMS ва SMS билан бир қаторда, 2007 йил апрел ойида ташкил этилганида Aquaveo га ўтказилди.

“Journal of Agricultural and Applied Economics” журналида 2000 йил август ойида чоп этилган тадқиқотда айтилишича, “GMS ер ости сувлари оқими модели **MODFLOW** ва ифлослантирувчи моддаларни ташиш модели **MT3D** учун интерфейсни таъминлайди. **MODFLOW** уч ўлчовли, хужайра марказли, чекли фарқ, тўйинган оқим модели ҳам барқарор ҳолатни, ҳам вақтинчалик таҳлилларни амалга оширишга қодир. Бу икки модел бирлаштирилганда, ер ости сувлари оқимини ва нитрат ташиш ва тўпланишини текшириш учун кенг қамровли воситани тақдим этади. Тадқиқот сув ҳавзаларида қишлоқ хўжалиги ишлаб чиқаришига тўсқинлик қилмасдан, қишлоқ жойларидаги жамоалар учун эр ости сувларининг нитрат билан ифлосланишини самарали бошқариш учун рухсат бериш схемасини” ишлаб чиқишга ёрдам бериш учун мўлжалланган.”

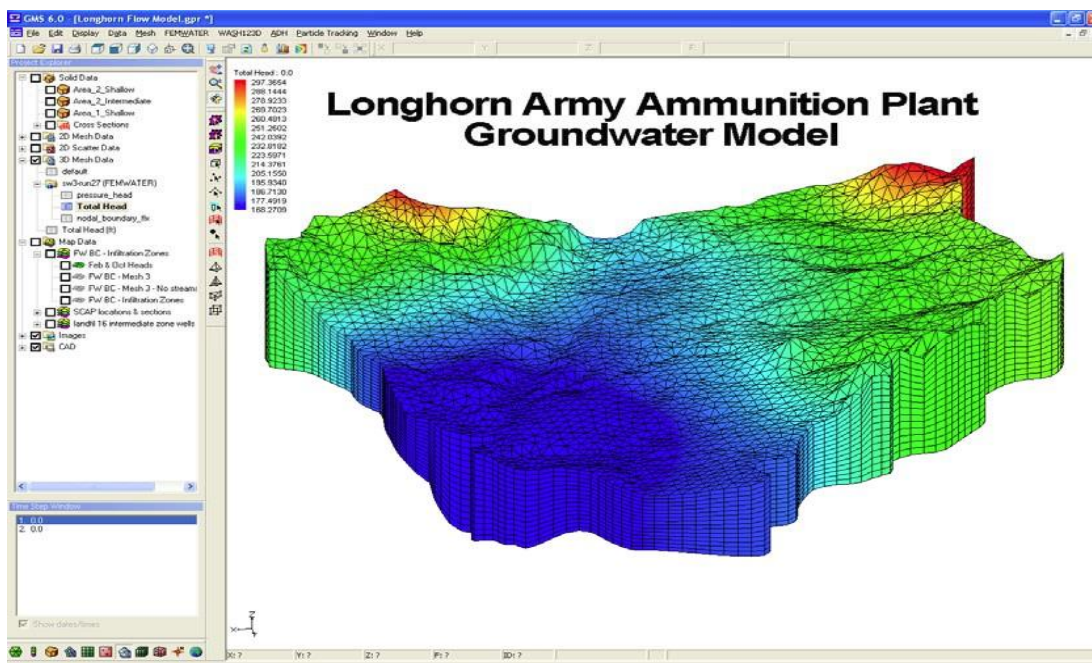
GMS дизайни фойдаланувчига мослаштирилган комбинацияларда "модулларни" танлаш имконини беради. Ушбу модуллар олдинги ва кейинги ишлов бериш, модел танлаш ва калибрлаш тартиблари билан боғлиқ. Янги фойдаланувчилар ушбу дастурдан фойдаланиш учун махсус модулларни танлашлари ва дастур имкониятларини кенгайтириши ёки ўзгариши билан модулларни қўшишлари мумкин. GMS дан фойдаланиш турли дастурлар учун бир хил бўлган моделлаштириш "пакети" га эга бўлганлиги учун вақтни тежайди. GMS муқобил моделлаштириш дастурлари (масалан, **MODFLOW** ва **FEMWATER**) учун бир хил "концептуал модел" ёндашуvidан фойдаланади.

Харита/GIS модулига “концептуал модел” ёндашуви киритилган. Бу ерда фойдаланувчи GIS интерфейсида симуляция кодларидан мустақил бўлган модел хусусиятларини (яъни, чегара шартлари, гидравлик ўтказувчанлик қийматлари, 2 ва 3 ўлчамли модел доменлари ва бошқалар)

белгилайди. Бир тугмани босиш билан модел хусусиятлари GIS интерфейсидан тегишли каталоглар ёки тўр элементларига ўтказилади. Ушбу ёндашувнинг афзаллиги концептуал моделни тезда ўзгартириш, бу шартларни янги симуляцияга ўтказиш ва натижаларни баҳолаш қобилиятидир. Бундан ташқари, GMS илғор фойдаланувчиларга яқин матн файлига ўтмасдан (гарчи матнли файлларни тез текшириш ҳар доим яхши фикр бўлсада) панжара қийматлари бўйича панжарани осонгина кўриш ва таҳрирлаш имконини беради.

Бундан ташқари дастур ArcGIS билан интеграцияланган бўлиб, агар фойдаланувчи ArcGIS лицензиясига эга бўлса, концептуал моделларни яратиш ва моделлаштириш натижаларининг яқин рақамларини ишлаб чиқаришда узлуксиз узатиш имконига эга бўлади.

Хулоса қилиб айтганда, GMS модулли харидлар, бир нечта моделларни қўллаб-қувватлаш, ArcGIS билан боғланиш, концептуал моделни ишлаб чиқиш ва интеграциялашган инверсия тартибларининг афзалликларини тақлиф қилувчи ер ости сувларини моделлаштириш тўпламидир. Кўпгина дастурий таъминот дастурларида бўлгани каби, GMS нинг янги версияларидан ҳам эҳтиёткорлик билан фойдаланиш керак, чунки баъзи сўнгги хусусиятлар тўлиқ имкониятлар ишга тушгунга қадар қайта кўриб чиқишни талаб қилиши мумкин.



Groundwater Modeling System дастурининг 6.0 талқинида яратилган модел,
дастур интерфейси

Адабиётлар рўйхати

1. Введение в моделирование подземных вод с помощью Visual MODFLOW Flex! <https://www.delphitech.kz/>
2. Программы и модели для решения задач, связанных с подземными водами. <http://www.swsys.ru/index.php?page=article&id=626>
3. Doherty J., Brebber L., Whyte P. "PEST - Model-independent parameter estimation." User's manual. Watermark Computing. Australia, 1994.
4. Visual MODFLOW. Waterloo Hydrogeologic Inc., Waterloo, 1998.
5. <https://image.jimcdn.com/app/cms/image/transf/none/path/s1c4b22ff111451f0/image/i996b7c825cdc03a9/version/1550506894/image.jpg>
6. <https://en.wikipedia.org/wiki/FEFLOW>
7. Feflow – моделирование грунтовых вод. <https://echyden.ru/programmy/podzemnye-vody/feflow/>
8. [https://en.wikipedia.org/wiki/GMS_\(software\)](https://en.wikipedia.org/wiki/GMS_(software))
9. Morgan, Cynthia L.; Coggins, Jay S.; Eidman, Vernon R. "[Tradable Permits for Controlling Nitrates in Groundwater at the Farm Level: A Conceptual Model](#)" (PDF). *Journal of Agricultural and Applied Economics*. **32** (2): 249–258. doi:10.1017/S1074070800020332, (August 2000).
10. https://www.google.com/search?q=interface+of+Groundwater+modeling+system&tbm=isch&ved=2ahUKewiliqS_rfb9AhUKsSoKHfu6BHUQ2-cCegQIABAA&oq=interface+of+Groundwater+modeling+system&gs_lcp=CgNpbWcQAzoECCMQJ1CPGljaPmCPR2gAcAB4AIABjAGIAfEKkgEEMC4xMpgBAKABAaoBC2d3cy13aXotaW1nwAEB&sclient=img&ei=joczeZiILCorigH79ZKoBw&bih=754&biw=1536#imgcr=kRv8RA0wYIkB5M