

SZEGEDI TUDOMÁNYEGYETEM  
Természettudományi és Informatikai Kar  
Földtudományok Doktori Iskola  
Ásványtani, Geokémiai és Kőzettani Tanszék

TENGERVÍZ PARTMENTI VÍZADÓBA TÖRTÉNŐ BEHATOLÁSÁNAK  
CSÖKKENTÉSÉRE SZOLGÁLÓ MŰSZAKI BEAVATKOZÁSOK  
ÉRTÉKELÉSE NUMERIKUS MODELLEZÉS SEGÍTSÉGÉVEL

Doktori (PhD) értekezés tézisei

Allow Khomine

Témavezető:

Dr. Szanyi János

Konzulens:

Dr. Kovács Balázs

SZEGED

2012

## I. BEVEZETÉS ÉS CÉLKITŰZÉSEK

Kutatásom során a sósvíz tengerparti vízáradékba való behatolását vizsgáltam szíriai mintaterületen, a probléma lehetséges megoldásainak numerikus szimulációjával. Világszerte számos országban a parti víztartó rétegek szolgálnak az édesvíz ellátás fő forrásául, különösen a száraz és félszáraz övezetekben. A part menti területeken jellemzően nagy a népsűrűség, emiatt az édesvíz szükséglet itt még jelentősebb. A tengerparti víztartó rétegek rendkívül érzékenyek a változásokra. A helytelen vízgazdálkodás esetén a tengervíz behatolása az édesvízforrás megsemmisülését okozhatja.

A témaválasztást indokolja, hogy a világ tengerpart menti régióiban, így Szíriában is, az édesvíz-termelés következtében a sósvíz növekvő mértékben szorítja ki az édesvizet.

Ez a jelenség figyelhető meg a szíriai tengerparton, Latakia északi részén (Damsarkho alföld). Damsarkho part menti síkságán; jelenleg több, különböző típusú és mélységű kútban tapasztalható tengervíz behatolás, az öntözést szolgáló vízkitermelés miatt. Elsőként Abed Rabo tanulmányozta a problémát, 2000-ben, aki a sósvíz behatolás helyét és kiterjedését a behatolás kémiai elemzésével és a felszín alatti szintek mérésével határozta meg. A következő vizsgálatot 2003-ban Abou Zakhem B. és Hafez R. végezték, akik az elektromos vezetőképesség és izotóp elemek mérésével vizsgálták meg a jelenséget. Ez a két tanulmány is alátámasztotta a behatolás jelenlétét. A modern numerikus modelleket (pl. VISUAL

MODFLOW) a legjobb termelési tervek vagy a megoldások alkalmazásának szimulációjára nem használták korábban ezen a területen.

Számos módszerrel lehet védekezni a tengervíz behatolása ellen, a felszín alatti vízkészletek védelme érdekében. Közös alapelvük az édes, felszín alatti víz mennyiségének növelése és a sós tengervíz mennyiségének csökkentése: ilyenek a felszín alatti gátak építése, a mesterséges dúsítás, és a kitermelő kutak áthelyezése.

Kutatásom fő céljai – a fentiek alapján – a következők:

- A szíriai mintaterületen még kevésbé vizsgált sósvíz behatolási jelenség nemzetközi és szíriai szakirodalmi eredményeinek összehasonlítása, értelmezése.
- A sósvíz behatolás szíriai előfordulásának szimulációját lehetővé tevő adatok összegyűjtése, a kutatás módszerének kidolgozása.
- Egy hidrodinamikai modell felépítése, minek segítségével jellemezni lehet a sósvízbehatolás jelenlegi helyzetét, valamint előrejelzést lehet készíteni a jövőre vonatkozóan.
- A nemzetközi szakirodalomban említett lehetséges kezelési eljárások hatásainak vizsgálata a mintaterületen, a leghatékonyabb eljárás kiválasztása.

A fenti célokhoz kapcsolódóan a legfontosabb, megválaszolendő kutatási kérdés:

- A szíriai területen megfigyelt sósvízbehatolás problémát meg lehet-e oldani, és ha igen, melyik megoldás a leghatékonyabb.

Az ehhez kapcsolódó részkérdéseim a következők:

- A modell felépítése során melyek a legfontosabb hidrogeológiai paraméterek, és ezek változása hogyan befolyásolja sósvíz mozgását, a megoldási módozatok hatékonyságát.
- A kémiai adatok értelmezése alapján hogyan változik a klorid mennyisége, milyen kapcsolatban van a talajvízszinttel; a talajvízminőség alapján hova kell át helyezni a kutakat.
- A behatolt sósvíz mennyisége és sótartalom csökkentés igénye érdekében a következő megoldások közül (felszín alatti gát, visszasajtolási kút, kutak áthelyezése) melyik megoldás javasolható és használható.

## **II- A VIZSGÁLAT MÓDSZERÉNEK RÖVID LEÍRÁSA**

Munkámban egy szíriai mintaterületen történt hidrogeológiai felmérés eredményeit felhasználva, egy hidrodinamikai modellt alkottam meg. Ennek a modellezésnek a célja, hogy megvizsgáljam, hogyan lehet a területen csökkenteni sósvíz behatolását, és előre jelezni mi lesz a part menti alföldön levő vízadókkal, hogyan alakul a kitermelhető édesvíz mennyisége és minősége.

A sósvízbehatolás szimulációját a VISUAL MODFLOW (SEAWAT) csomagjával végeztem el. A SEAWAT csomag háromdimenziós, változó sűrűségű, nem permanens, porózus közegben való felszín alatti víz áramlás szimulálására alkalmas. SEAWAT forráskódja a MODFLOW és a MT3DMS kombinációját tartalmazza egy programban, amelynek segítségével megoldhatók az áramlási és a transzport egyenletek.

A MODFLOW mátrix egyenleteiben a folyadék térfogatát átváltották a folyadék tömegre, így megoldhatóvá váltak a változó sűrűségű folyadékok áramlási egyenletei, mivel így már pontosan számítható a sűrűség. Folyadék sűrűségének számításakor feltételezik, hogy az kizárólag az oldott anyagok koncentrációjának függvénye. A sókoncentráció térbeli és időbeli változása a MT3DMS program algoritmusával szimulálható a SEAWAT-ban. SEAWAT használ mind egy explicit, mind egy implicit eljárást a talajvíz áramlási egyenlet és az oldott anyag transzport egyenlet megoldásához. Az explicit eljárás során, először az áramlási egyenletet oldja meg a program minden időlépcsőre, és az így meghatározott advektív sebesség mezőt használják fel az oldott anyag transzport egyenleteinek a megoldásánál. Az implicit eljárás során, az áramlási és a transzport egyenleteket párhuzamosan, egyszerre oldja meg időlépcsőkön belül, egymás után többször addig, amíg a legnagyobb különbség a folyadék sűrűségében az egymást követő iterációkban a felhasználó által megadott tolerancia szint alá nem csökken.

Első lépésként meg kellett határoznom melyek a legfontosabb paraméterek, amelyek befolyásolják a behatolást, és ezek értékeinek különböző változásai hogyan hatnak a behatolás folyamatára. Ezt a következő elv alapján végeztem el: felvettem a vízádókat alkotó, három ismert közet

hidrogeológiai tulajdonságainak ésszerűen lehetséges értékeit, és ezen kombinációk esetén vizsgáltam a paraméterek érzékenységét.

Az elkészült transziens modellt 1997-2010 közötti időszak mért vízszintjeivel kalibráltam. Ezután 2010 és 2020 között vizsgáltam a lehetséges vízgazdálkodási stratégiákat a sósvízbehatolás megállítására, vagy jelentős csökkentésre.

Az első megoldási módszerként egy, a tengerpart és a termelő kutak közé helyezett szivárgáscsökkentő felszínalatti gát hatásait szimuláltam. A felszín alatti gátat (egy méter vastagságú,  $10^{-5}$  m/nap szivárgási tényezőjű) a modell második rétegétől az első rosszul vezető rétegig építettem be.

A második lehetséges védekezési módszerként, visszasajtoló kutakat telepítettem a modellbe, a kitermelő kutak és a tengerpart között,  $250 \text{ m}^3/\text{napos}$  hozammal. A visszasajtolás egy időben történt a kitermeléssel 5 és 20 m közötti mélység intervallumban.

A harmadik vizsgált lehetőség során áthelyeztem a tengerhez közeli kutakat távolabbi, belső területekre, ugyanakkora termeléssel.

Az így kapott összefüggések alkotják dolgozatom téziseit.

### III. AZ EREDMÉNYEK TÉZISSZERŰ ÖSSZEFOGLALÁSA

**1- Az elérési idő elsősorban a szivárgási tényező és a porozitás függvényében változik, a porozitással egyenes, míg a szivárgási tényezővel fordított arányban. Az anizotrópiának kis szivárgási tényező és 30 %-ot meghaladó porozitás esetén van szerepe, ilyen esetben az anizotrópia növekedésével az elérési idők nőnek.**

A szivárgási tényező értékei szerint három intervallumot lehet megkülönböztetni a sósvíz behatolás észlelésében.

- 1-  $K < 0.1$  m/nap esetén a sósvízbehatolás mértéke jelentéktelen.
- 2-  $0.1 < K < 1$  m/nap intervallumban a sósvízbehatolás már lehetséges különösen, ha nagy mértékű és hosszán tartó a vízkitermelés.
- 3-  $K > 1$  m/nap esetén biztosan van sósvízbehatolás.

A vizsgált terület vízáradójának (mészkő) szivárgási tényezőjét a korábbi kutatások 10-15 m/napnak értékelték, a nemzetközi irodalom szerint pedig értéke 0.8 - 800 m/nap közé esik, emiatt nagy pontossággal kell mérni és beállítani a tervezett modellbe. A figyelembe vehető szivárgási tényezők és a feltételezhető porozitás értékek kombinációjából számított elérési idők az alábbiak szerint alakulnak:

- 1- ( $K > 1$  m/nap) itt az elérési idő 200-500 nap arányosan a legkisebb, illetve legnagyobb porozitás értékeknek megfelelően.
- 2- ( $K < 1$  m/nap) itt az elérési idő 800-3600 nap arányosan a legkisebb, illetve legnagyobb porozitás értékeknek megfelelően.

**2- Azokon a helyeken, ahol az édesvíz utánpótlódása vagy a víztermelés időszakos, megállapítottam, hogy az elérési idő számításánál a fajlagos tárolási tényezőnek, illetve a fajlagos vízleadásnak akkor van szerepe, ha a szivárgási tényező 0,1 m/napnál kisebb.**

Nagy szivárgási tényezőnél, és zárt réteg esetén nem számít a fajlagos tárolási tényező értéke, a szivárgási tényező csökkenésével a különbség 0,01 1/m érték után látható, és az elérési idő kezd exponenciálisan növekedni.

A modell futtatása után megállapítottam, hogy a fajlagos vízleadás hatása a legkisebb a behatolási sebességre, így nem számít, milyen a fajlagos hozam értéke, ha a szivárgási tényező nagyobb, mint 1 m/nap, azonban ez alatt az elérési idő exponenciálisan növekszik.

**3- Bizonyítottam, hogy a klorid eloszlása a területen két paramétertől függ, a tengertől való távolságtól és az uralkodó széliránytól. Ezt módosítja a víztermelés miatti sósvíz behatolás. A legnagyobb mennyiségű klorid a déli és nyugati részeken figyelhető meg ahol a talajvízszint a legalacsonyabb, míg a legkisebb az északkeleti részen ahol a talajvízszint a legmagasabb.**

A Cl<sup>-</sup> ion időbeli változása kétféle mintát követett a vizsgált kutakban. Néhány kútban nagymértékben változott a klorid koncentrációja, más kutakban viszont közel állandó értékek alakultak ki. A partvonalthoz legközelebb eső kutakban volt a legnagyobb változás, míg a partvontól legtávolabbi kutakban a klorid koncentrációja közel állandó értékű maradt. A legnagyobb koncentrációk kialakulását az uralkodó szélirány is befolyásolta.

A klorid koncentráció és a talajvízszint közötti kapcsolatról, megállapítottam, hogy a terület déli részén, ahol a talajvíz szintje alacsony a



klorid mennyisége nagyobb, míg az északi részén, ahol a talajvíz magasabban áll, alacsonyabb a klorid koncentráció.

**4- A felszín alatti vizek kémiai összetételének vizsgálatával vízkémiai provinciákat különítettem el. Továbbá kiszámítottam a SAR kritérium értékeit. Ezen paraméterek felhasználásával meghatároztam az ideális vízkivételi területeket, melyek az alföld középső részén valamint a keleti és északkeleti részekén helyezkednek el.**

A sósvíz behatolás megakadályozására megoldás a kitermelő kutak áthelyezése. A kémiai adatok értékelése alapján az alföld közepe valamint a keleti és északkeleti részén a víz SAR értéke 1-4 intervallumba esik, ami öntözési szempontból nagyon jó minőségű  $\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2^+$  típusú vízre utal.

**5- Ugyanolyan volumenű vízkivételek esetén elvégeztem a különböző műszaki beavatkozások összehasonlító értékelését a felszínalatti víz sótartalom változására tekintettel. Ezek alapján a következő megállapításokat tettem:**

- a. *A felszín alatti gát használatával a bejövő sósvíz 95%-kal csökkenne a kezelés nélküli helyzethez viszonyítva. (A felszín alatti gát 1 m vastagságú  $10^{-5}$  m/s szivárgási tényezőjű falként volt beállítva, hatására a bejövő sósvíz a tenger felől csökkent. Ez minden kútban észlelhető volt, a vízmérleg szerint 95%-os sótartalom csökkenéssel.)*
- b. *A visszasajtoló kutak használata esetén a bejövő sósvíz a fővízadóban (mészkö) 80%-kal csökkenne, de ennek a megoldásnak hátránya a visszasajtolandó édesvíz beszerzésének nehézsége. (A visszasajtoló kutak a termelő kutak és a tenger közé,*

egymástól 500 m távolságra lettek telepítve és a kitermelő kutakkal egyszerre működtek. A bejövő sósvíz csökkenése gyorsan észlelhető a kitermelő kútban. A visszasajtoló kút kikapcsolása után megint emelkedik a sótartalom, de nem éri el a visszasajtolás előtti helyzetet.)

- c. *A kutak áthelyezése esetén a sósvíz mennyisége a figyelő pontokon jelentősen lecsökkent az első években, utána emelkedni kezdett, de a végállapotban így is 76 %-kal alacsonyabb volt, mint a kiindulási időszakban.* (Ez a megoldás főként a déli részen hatékony, ahol a vízminőség nem jó az öntözésre. Itt több kutat fel kell hagyni és helyettük újakat fúrni, de ezáltal mindenképpen jobb minőségű vizet kapnánk a bejövő sósvíz mennyiségének csökkenése miatt).
- d. A kombinált megoldás *használata után a bejövő sósvíz a fővízadóban (mésző) 96%-kal csökkenne*, a kombinált megoldás esetén több víz érkezett a területre a keleti határon keresztül (édesvíz), mint a tengerből származó utánpótlódás. Ez a megoldás a legköltségesebb, ugyanakkor a leghatékonyabb az összes alkalmazott módszer közül.

## **6- Hatékonysági, gazdaságossági szempontok alapján a felszín alatti gát használatát javaslom.**

A sótartalom csökkenése, a vizsgált megoldások közül, a felszín alatti gát beépítése után a legnagyobb. Másik előnye, hogy a gát beépítése után nem igényel állandó felügyeletet, sem plusz energiát. Fenntartása a legolcsóbb a vizsgált esetek közül, továbbá nem kell új csatornát vagy vezetékeket sem építeni.

#### **IV. A DOLGOZAT TÉMAKÖRÉBEN MEGJELENT PUBLIKÁCIÓK LISTÁJA**

**Allow K** – Szanyi J. – Kovács B.: Potential solutions in prevention of saltwater intrusion: a modelling approach, *Advances in the Research of aquatic Enviromental Earth Sciences*, 2011, Part 4, 251-257, DOI: 10.1007/978-3-642-19902-8\_29

**Allow K.:** Seawater intrusion in Syrian coastal aquifers, past, present and future, case study, *Arabian Journal of Geosciences*, 2011, Volume 4, Numbers 3-4, pages 645-653.

**Allow K.:** The use of injection wells and a subsurface barrier in the prevention of seawater intrusion, a modeling approach, *Arabian Journal of Geosciences*, 2011, Volume 5, Number 5, Pages 1151-1161.

**Allow K.:** Hypothetical thermohaline transportation study of pumping-reinjection wells in the geothermal field, *Arabian Journal of Geosciences*, Online First™, 30 May 2011