

# TARTALOMJEGYZÉK

ELŐZŐ .....	5
1. BEVEZETÉS .....	7
2. IRODALMI ÁTTEKINTÉS .....	9
2.1. A talaj és a vizek nitrátszennyezésének eredete .....	9
2.1.1. Intenzív mezőgazdaság, növekvő műtrágyahasználat .....	9
2.1.2. Mezőgazdasági és kommunális eredetű nitrátszennyezés .....	9
2.2. A nitrátszennyezés kutatásában elért eredmények a világ különböző országaiiban .....	12
2.2.1. Kutatások Szlovéniában .....	12
2.2.2. Kutatások Törökországban Eskisehir város és Trója környezetében .....	13
2.2.3. Mexikóban, a Yukatan félszigeten végzett kutatások eredményei .....	13
2.2.4. A talajvíz nitrátszennyeződése a trópusi zónában .....	14
2.2.5. Iránban végzett kutatások .....	16
2.2.6. Kutatások Kínában .....	17
2.2.7. Felmérések Nepálban .....	18
2.2.8. Felmérések Chilében .....	18
2.3. EUs irányelvek a nitrátszennyezés csökkentése érdekében .....	18
2.4. A Nitrát Irányelv bevezetése és alkalmazásának korlátai .....	21
2.5. Nitrogén mérleg Európában .....	22
2.6. Nitrát mozgása a talajban .....	23
2.7. A talaj tulajdonságai és a hidrológiai adottságok hatása a talajvíz nitráttartalmára .....	26
2.8. A talajvíz nitrátszennyezettségét befolyásoló morfológiai viszonyok egy meghatározott terület esetében .....	28
2.9. A felszíni vizek és a talajvíz nitrátszennyezettsége közötti kapcsolat .....	29
2.10. A folyómeder geológiai összetételének hatása a víz nitrátkoncentrációjára .....	30
2.11. A területhasználat és a talajvíz nitrátszennyezettsége közötti kapcsolat .....	31
2.12. Nitrátszennyezés vizsgálata a folyók vízgyűjtő területén .....	32
2.13. A nitrát kimosódási folyamatok modellezése .....	33
2.14. Ivóvízkutak nitrát szennyezése .....	34
2.15. A nitrátszennyezés közegészségügyi vonatkozásai .....	36
3. ANYAG ÉS MÓDSZER .....	39
3.1. A vizsgálati terület bemutatása .....	39
3.1.1. A vizsgálati terület elhelyezkedése .....	39
3.1.2. A vizsgálati terület földtani története .....	39
3.1.3. Morfológiai és hidrológiai jellemzés .....	42
3.1.4. A terület klímája .....	47
3.1.5. A terület talajtani jellemzése .....	47
3.1.6. Lakosság és területhasználat .....	48
3.1.6.1. A Dorman patak völgyében, a kiválasztott mintaterületen elhelyezkedő települések jellemzése .....	49
3.1.6.2. Gazdálkodás és területhasználat a Dorman patak völgyében .....	50

3.2. A vizsgált települések kiválasztása .....	50
3.3. A mintavételi pontok kiválasztása.....	51
3.4. Vízmintavétel, a vízminták elemzése .....	52
3.5. Talajmintavételezés.....	52
3.6. Piezometrikus szint mérése .....	52
3.7. Alkalmazott geofizikai módszer.....	53
<b>4. EREDMÉNYEK ÉS ÉRTÉKELÉSÜK .....</b>	<b>55</b>
4.1. A nitrátszennyezés eloszlása a Nyárad vízgyűjtő területén, előzetes vizsgálatok .....	55
4.2. Részletes vizsgálatok a vízgyűjtő területen.....	58
4.2.1. Vizsgálatok az Alsó Nyáradmentén .....	58
4.2.2. Vizsgálatok a Közép Nyáradmentén .....	64
4.2.3. Vizsgálatok a Felső Nyáradmentén .....	68
4.3. A földrajzi, hidrológiai és területhasználati tényezők hatásának vizsgálata az ivóvízkutak nitrát-szennyezettségére a Nyomát patak vízgyűjtőjében található kutakban .....	72
4.4. A geomorfológiai, hidromorfológiai, hidrológiai és területhasználati tényezők befolyása a kutak vízének nitrátszennyezettségére Dorman patak vízgyűjtő területén .....	74
4.4.1. Potenciális nitrátszennyező források .....	74
4.4.2. Az ivóvízkutak nitrátszennyezettségének felmérése Nagy és Kisadorjában .....	75
4.4.3. A talajszerkezet és az ivóvízkutak nitrátszennyezettsége közötti kapcsolatok vizsgálata.....	79
4.4.4. Geofizikai-hidrogeológiai vizsgálatok értékelése .....	87
4.4.5. Az ivóvízkutak nitrátszennyeződésének vizsgálata a hidrológiai és klimatikus tényezők függvényében.....	91
4.4.5.1. A csapadék hatása a kutakban található víz mennyiségére.....	91
4.4.5.2. Az ivóvízkutak nitrátszennyeződésének szezonális változásának vizsgálata .....	95
4.4.6. A területhasználat és a geomorfológiai és hidromorfológiai tényezők összevetéséből levonható következtetések .....	100
4.4.7. Következtetések a Dorman patak völgyében végzett vizsgálatok alapján.....	103
4.5. Felszíni vizek nitrátszennyezettsége a mellékpatakok völgyében.....	103
4.6. Új tudományos eredmények.....	104
<b>5. KÖVETKEZTETÉSEK ÉS JAVASLATOK.....</b>	<b>105</b>
5.1. Következtetések .....	105
5.2. Javaslatok.....	105
<b>6. ÖSSZEFOGLALÁS.....</b>	<b>107</b>
<b>SUMMARY .....</b>	<b>110</b>
<b>IRODALOM JEGYZÉK.....</b>	<b>113</b>

## 2. IRODALMI ÁTTEKINTÉS

### 2.1. A talaj és a vizek nitrátszennyezésének eredete

#### 2.1.1. Intenzív mezőgazdaság, növekvő műtrágyahasználat

A jelenleg élő kb. 6 milliárd ember évente kb. 25 millió t proteint fogyaszt, amelynek előállítására nagy mennyiségű nitrogént igényel. Ezért jelenleg, az emberiség évente 160 millió t nitrogént rögzít a légkörből, ennek legnagyobb részét, 98 millió tonnát a Haber-Bosch folyamat révén. Ennek a nagy mennyiségű rögzített nitrogénnek egy része, bekerülve a folyókba, tavakba, talajvízbe jelentősen megnövelte a vízi ökológiai rendszerek terhelését. A nitrogén műtrágyák használata jelentős gazdasági előnyt jelent a modern mezőgazdasági rendszereknek, de a nitrogénvesztés egyetlen mezőgazdasági rendszerben sem lehet elkerülni. A nitrogénvesztés mellett, hogy gazdasági veszteséget okoz, eutrofizációhoz vezet és egészségügyi kockázatot jelent (Jenkinson D. S., 2001).

Az utóbbi 20 év kutatásai kimutatták, hogy a megfelelő időben és mennyiségben alkalmazott műtrágya esetében (legalábbis a nyugat-európai körülmények között) alig marad hasznosítatlan nitrogén a talajban. A <sup>15</sup>N-el jelzett műtrágyával végzett kísérletek kimutatták, hogy ilyen esetben az adagolt műtrágya csupán 1-2%-a marad a talajban nitrát és ammónium formájában a betakarításkor. (Macdonald et al., 1997; Recous and Machet, 1999; Recous et al., 1988a, b). Azonban, ha több nitrogént adagolnak mint amennyit a növények fel tudnak venni, akkor a nitrogénfölség a talajban marad. (Chaney, 1990). Egyes növények, pl. a zöldségek, jelentős mennyiségű nitrátot igényelnek a termesztési ciklus elején, amikor a gyökérzetük még nincs kifejlődve. Ilyen esetben jelentős szervesetlen nitrogén mennyiség marad a talajban a betakarításkor (Macdonald et al., 1997). Az <sup>15</sup>N-el jelölt műtrágyákkal folytatott kísérletek során azt is kimutatták, hogy az ősszel alkalmazott trágyázás sokkal kevésbé hatékony, mint a tavasszal alkalmazott, az előbbi esetben a nitrogén nagy része elvesztődik kimosódás vagy denitrifikáció révén. A jelenlegi helyzetben nagyon nehéz az erősen műtrágyázott szántók, illetve legelők alatt található talajvízben biztosítani az előírt maximum 50 mg/l nitrát (11.3 mg/ l NO<sub>3</sub>-N) koncentrációt (Addiscott et al., 1992; Follett, 1989), ezért jelentős erőforrásokat és pénzüsszegeket fordítottak a kutatásokra ezen a területen. (Canter, 1997)

#### 2.1.2 Mezőgazdasági és kommunális eredetű nitrátszennyezés

A mezőgazdaság és a kommunális szennyvíz hatását a talajvíz minőségére behatóan tanulmányozták az Egyesült Államokban (California, Solano County). A vizsgálatok alapján kimutatták, hogy a magas TDS (total dissolved solids) és nitrát

koncentráció értékek az öntözés a vízminőségre gyakorolt hatását jelzik. A talajvíz izotóp összetétele a csapadékból, szivárgásokból, az öntözésből valamint a Sacramento folyóból származó víz jelenlétét bizonyítja. A Sacramento folyó kitűnő minőségű vize (TDS és nitrát -koncentráció 140 mg/l illetve 0.7 mg/l N-re vonatkoztatva) főleg a hegyvidékről származik (DWR, 2006). A vizsgálatok során megvizsgálták a különböző tényezők hatását a talajvízre, a területhasználat és a geokémiai indikátorok függvényében. A kommunális szennyvízforrásból származó stabil nitrogén izotópok (ezenkívül a gyógyszernyomok vagy ritka elemek) addicionális információt nyújtanak a szivárgások talajvízre gyakorolt hatásáról. (Buzek et al., 2006; Seiler, 2005; Verstraeten et al., 2005; Verplanck et al., 2005; Benotti and Brownawell, 2005; Woodhouse, 2003).

A talajvíz sub-regionális változásait a sokrétű geokémiai indikátorok segítségével vizsgálták, beleértve a térbeli változásait a főbb kationoknak és anionoknak, geokémiai modellezés és a vízben lévő stabil izotópok vizsgálata által. A tanulmány bizonyítékokkal szolgál a talajvíz és a benne levő szennyező anyagok mozgásáról a Dixon várostól (Solano County, California) délre elhelyezkedő területeken (Butler II T. W, 2007).

A kommunális szennyvíz hatását a talajvízre és az innen származó ivóvízkutak minőségére behatóan tanulmányozták például a La Pine település (Deschutes County déli része és Klamath County északi része, Oregon állam) körüli vidéki típusú lakott területen. Ezen terület legnagyobb része a Deschutes és a Little Deschutes folyók vízgyűjtő területén helyezkedik el kb. 25 mérföldre délre a Sunriver folyótól. A vizsgált terület lakossága gyorsan növekedett a '60-as évektől kezdődően. A területen található kb. 9300 háztartás a vízellátását egyéni ivóvízkutakból biztosítja, és a szennyvizet szikkasztó aknás vagy szikkasztó alagsóves megoldással kezelik. Az ivóvízkutak legalább 50%-ban a 15 m-nél magasabban elhelyezkedő talajvízből nyerik az ivóvizet (Morgan and others, 2007). A kis mélységben elhelyezkedő talajvíz nagymértékben veszélyeztetett, ha a településszerkezet fejlődése a jelenlegihez hasonló tendenciákat mutat. Másik lehetséges probléma a felszíni vizek minőségének a leromlása (Hinkle, Morgan, and others, 2007). Jelenleg a területen átfolyó két folyóban az átlagosnál nagyobb alga mennyiséget találunk, valószínűleg a talajvízből beszivárgó tápanyagoknak köszönhetően (Anderson, 2000; Jones, 2003).

A La Pine területen a talajvízben található nitrát fő forrása a szikkasztásos módszerrel kezelt kommunális szennyvíz (Oregon Department of Environmental Quality, 1994; Hinkle, et al., 2007), és a talajvízben található nitrát koncentrációja növekszik a területen található háztartások számának növekedésével, mivel a hagyományos szikkasztáson alapuló szennyvízkezelés nem alkalmas a nitrát szennyvízből való eltávolítására. Az első háztartások a területen 1910-ben jelentek meg és a település fejlődése során 2006-ban La Pine néven lett admiminsztratív szempontból város. A környezetvédelmi hatóság (Oregon Department of Environmental Quality (ODEQ)) által végzett tanulmányok 1979 és 1982-ben kimutatták az ivóvízkutak nitrátszennyezését (Cole, 2006). Az ODEQ által 1993 és 1995 között végzett vizsgálatok kimutatták, hogy a talajvízben a lakott területen

kívüli területeken is a természetesnél magasabb a nitrátkoncentráció. (Cole, 2006). Ennek ellenére a La Pine területén található talajvíz szennyezettségének a súlyossága csupán 1979-ben vált nyilvánvalóvá, vagyis kb 70 évvel azután, hogy az első háztartások megjelentek a területen. A területen jelenleg a legtöbb ivóvízkútban az a víz található, amely több évtizeddel ezelőtt szivárgott a víztartó rétegbe. Abban az időben nagyon kevés háztartás és szikkasztós szennyvízkezelő rendszer létezett. Jelenleg a nitrátszennyeződés egyre több ivóvízkutat érint, az ODEQ által 2000-ben végzett felmérés szerint, a vizsgált 200 ivóvízkút több mint 10%-ban a nitrát-koncentráció meghaladta a 4 ppm értéket, jelezve a kommunális szennyvíz okozta szennyeződést. Jelenleg a nitrátszennyeződés nagyrésze kb 10m-el a víztartó réteg felett található, így nem minden kút nyeri a vizet az érintett területről. A háztartások számának növekedésével a nitráttal szennyezett rétegek aránya növekedni fog. A speciális figyelőkutakban meghatározták a különböző rétegekben található víz korát a klorofluorokarbon nyomok segítségével. A vizsgálatok azt mutatják, hogy a nitrátfront lefele halad a víztartó réteg fele, így várható, hogy egyre több ivóvízkutat fog érinteni a jövőben. (Hinkle et al. 2007; Morgan et al., 2007). A nitrát kommunális eredetét bizonyítja, hogy a vizsgált területen a mezőgazdasági terület aránya nagyon alacsony (kb. 4% legelő), az egyéb tevékenységek (pl. a terület 0,4%-a golfpálya) nem jelentenek komoly nitrátszennyező forrást. Ezenkívül a  $^{15}\text{N}$  izotóp vizsgálata is azt bizonyítja, hogy a La Pine területén a talajvízben található nitrát a háztartási szennyvízből származik. A nitrát elhelyezkedése is a kommunális eredetét bizonyítja mivel a nitrátszennyeződés foltokban helyezkedik el (a lebegő talajvízben), ami pontszerű szennyezőforrásra utal, és nem egyenletesen, ahogy az a diffúz szennyezőforrások esetében történik. A klór ion (amely a háztartási szennyvíz jellemző összetevője) jelenléte a talajvízben is azt bizonyítja, hogy a talajvízbe kommunális szennyvíz szivárog be (Hinkle et al., 2007)

A számítógépes modell segítségével megállapított scenárió szerint, ha a településfejlesztés a jelenlegi tervek szerint halad, és nem változik a kommunális szennyvízkezelési módszer, a nitrátkoncentráció tíz év alatt 52%-al emelkedik a 2005-ös szint felé. A nitrátkoncentráció a talajvízben nagy területeken meg fogja haladni a megengedett 10 ppm szintet és átlagban az ivóvíz 22%-a fog a szikkasztás révén kezelt szennyvízből származni. A nitrát koncentrációjának növekedésével, amely az egyre nagyobb mennyiségű szennyvíz szikkasztása során következik be, a talajvíz a nitrátot a Deschutes és Little Deschutes folyókba is eljuttatja. (John S. W. et al, 2007)

A talajvízből, a kőzetekből és a talajból vett minták elemzése a száraz, mediterrán klímájú Sierra Pelona völgyben, Dél Karolinában jelentős antropogén eredetű nitrátszennyeződést mutat ki. A különböző forrásból származó nitrát eredetét megkülönböztethetjük vegyi és izotóp összetétele alapján. Azon minták, amelyekben megvizsgálták az oldott vagy kimosódó ionok koncentrációját, illetve a delta  $^{15}\text{N}$  nitrogént, megadják úgy a vegyi, mint az izotóp jellemzőket, amelyek alapján különbséget lehet tenni a különböző szennyezőforrások között. Az adatok azt bizonyítják, hogy a nitrátszennyeződés döntő többsége antropogén eredetű

forrásból származik. Az antropogén eredetű nitrát domináns forrása a kutak szennyezésének, és a vizsgálatok szerint a kutak kb. 40%-ában rendszeresen, vagy időszakosan a nitrátkoncentráció meghaladja az EPA által előírt értéket (Williams A.E., et al., 1998)

Magyarországon, egyes szerzők véleménye szerint a felszíni és felszínalatti vizek minőségében a hatvanas-hetvenes évek intenzív mezőgazdaság-fejlesztésének érdekében ugrásszerűen növekvő műtrágyafelhasználás időszakában következett be jelentős romlás. Ez az időbeni egybeesés azonban még nem bizonyít oksági összefüggést. Hisz ugyanezen időszakban növekedett ugrászerűen a többi potenciális szennyezőforrás is: a koncentrált állattartótelepek megoldatlan elhelyezésű hígtrágyája; a kiskertek ellenőriz(het)etlen szennyvízelhelyezése és műtrágyahasználata; az ipari fejlődés és turizmus a maga gyakran megoldatlan hulladék- és szennyvízelhelyezésével; valamint a nyíló “közmű-ollo”: vezetékes vízellátás bevezetése a szennyvízelvezető rendszer egyidejű kiépítése nélkül. Ezért nem megalapozott és főképp nem általánosítható az az állítás, hogy a bekövetkező vízminőség romlásnak a műtrágyázás volt a fő oka (Várallyay György, Csathó Péter, Németh Tamás, 2005)

## **2.2 A nitrátszennyezés kutatásában elért eredmények a világ különböző országaiban**

A talajvizek és a rétegvizek nitráttal történő szennyeződése világméretű jelenség, amelyet a világ számos országában tanulmányoztak. A talajvíz és a felszíni vizek nitráttal történő szennyezését tanulmányozni egy adott vízgyűjtő területén igen komplex feladat, mivel nagyon sok szempontot kell figyelembe vennünk. Elsősorban szükséges tanulmányozni a nitrátszennyezés eredetét. A talajvíz és a felszíni vizek nitráttal történő szennyeződését jelenleg egyrészt a mezőgazdaság (főleg állattartás illetve a mezőgazdasági területek trágyázása, műtrágyázása), másrészt a háztartásokból származó tisztítatlan szennyvíz okozza. A különböző országokban és kontinenseken végzett kutatások feltárják a nitrátszennyezés mechanizmusát különböző geológiai, topográfiai, hidrológiai és klimatikus viszonyok között.

### **2.2.1. Kutatások Szlovéniában**

Szlovéniában rendszeresen figyelik az ivásra használt kutak vizének nitrátkoncentrációját. Az egyik monitoring program keretében 5 ivóvízkutat, 3 ipari víz nyelésére használt kutat és 2 talajvíz figyelő kutat vizsgáltak. A 2003-2004-es időszakban 240 mintát elemeztek a fent említett kutakból, és 13 fizikai és kémiai paramétert követtek rendszeresen, amelyek között a nitrátkoncentrációt, és vizsgálták a különböző paraméterek közötti összefüggéseket. A leglényegesebb korrelációt ( $r = 0.92$ ) a nitrátkoncentráció és a konduktivitás között találták (Voncina E., et al., 2007).

## **2.2.2. Kutatások Törökországban Eskisehir város és Trója környezetében**

Törökországban behatóan tanulmányozták a nitrátszennyezést Eskisehir város környezetében a Porsuk folyó vízgyűjtő területén. Az Eskisehir síkon található hordalékos eredetű talaj, és az alatta elhelyezkedő talajvíz, valamint a Porsuk folyó nitráttal történő szennyezése a kommunális valamint az ipari szennyvíz a Porsuk folyóba történő vezetése, az öntözőcsatornák, a szennyvíztartályok, valamint a mezőgazdasági tevékenység által történik. A talajvíz pótlása a Eskisehir síkon a csapadékból, a felszíni vízhálózatból (Porsuk folyó és mellékfolyói) és az öntöző csatornákból származik. Mivel Eskisehir városnak nincs egységes szennyvíztisztító rendszere, ezért a kommunális szennyvíz szivárgása jelentős szerepet játszik a talajvíz pótlásában és ugyanakkor a szennyezésében is. Az évi talajvíz utánpótlást  $120 \times 10^6$  m<sup>3</sup>/év-re a vízkivételt (a város vízellátása a talajvízből történik)  $50 \times 10^6$  m<sup>3</sup>/év-re becsülik, az 1986-1988 periódusra vonatkoztatva (Kaçaroglu, 1991). A mezőgazdasági területekre 30–120 kg/ha nitrogén tartalmú tápanyagot szórtak ki. (DSI, 1980). A két éven át tartó vizsgálatok során 51 kútból és a Porsuk folyón 9 mintavételi pontból vettek vízmintát. Az 1986 július és 1988 augusztus időszakban a Porsuk folyóból vett minták nitrát koncentrációja a 1.5 - 63.3 mg/l, skálán változott. Az ugyanebben a periódusban a talajvízből vett minták nitrát koncentrációja a 2.2–257.0 mg/l skálán változott. A talajvízből vett minták átlag nitrát koncentrációja 40.0 mg/l volt, a minták 34.2%-ban meghaladták a 45 mg/l, értéket. A legtöbb magas értéket a városban található kutakban mértek, a lakott zónán kívüli kutakban alacsonyabb nitrát értéket mértek. A kutakból vett minták esetében jelentős szezonális fluktuációt (10–200 mg/l) figyeltek meg, általában alacsony koncentrációt találtak a nedves időszakokban, és magas értékeket mértek a száraz időszak alatt (Kaçaroglu F, et al, 1997)

Az archeológiai szempontból igen fontos Trójában is végeztek kutatásokat a vizek nitrát szennyezésével kapcsolatban 2002 december és 2003 szeptember hónapok között. A kutatás során 25 mintavételi pontot jelöltek ki, és a mintákat kolorimetriás módszerrel elemezték, a mintavételi pontok koordinátáit GPS-el határozták meg. A nitráteloszlási térképek, valamint a statisztikai elemzések azt mutatták, hogy a nitrát koncentráció növekedni kezdett minden vízforrásban május hónaptól kezdődően. A nitrát koncentráció értéke 0-45 mg/l között változott. Egy kútból, két öntözőcsatornából és két folyóvízből vett mintában magas nitrát koncentrációt mértek anélkül, hogy a klorid koncentráció magas lett volna, ami a nitrátszennyezés mezőgazdasági eredetére utal. Két kútban pozitív és jelentős lineáris összefüggés mutatható ki nitrát és a klorid koncentráció között, ami arra utal, hogy ebben az esetben a nitrátszennyeződés kommunális eredetű (Ozcan, et al, 2005).

## **2.2.3. Mexikóban, a Yukatan félszigeten végzett kutatások eredményei.**

A Mexikóban, a Yukatan félszigeten végzett vizsgálatok is a talajvíz nitrátszennyezését jelentős problémaként azonosították. A vizsgálatokat 1992

áprilistól 1993 májusáig terjedő időszakban végezték, és 12 ivóvízkutat vizsgáltak havi rendszerességgel. A mérések során a nitrát koncentrációja a 7-156 mg/l skálán mozgott. Két kútban (Chacsinkin és Peto) mértek olyan nitrát koncentrációt, amely háromszor meghaladta a 45 mg/l értéket, míg egy harmadik kútban (Akil) az év 12 hónapjából 7-ben haladta meg a nitrátkoncentráció a 45 mg/l értéket (Pacheco J., et al., 2001). A Yucatan félsziget lapályos, e területen főleg mészkővel és mészkőből származó vékony és nagy áteresztőképességű talajokkal találkozunk (Lopez-Ramos, 1973). A tanulmányozott terület a Yucatan félsziget déli részén helyezkedik el, főleg vidéki típusú településszerkezettel rendelkezik. A területen intenzív mezőgazdaságot folytatnak, gabonát, kukoricát, citromot és földimogyorót természetnek, karbamidot, ammoniumnitrátot, káliumkloridot és szulfátot használnak műtrágyaként (Pacheco et al., 1997). A műtrágyázást május-júniusban végzik, mielőtt beáll az esős szezon. A területen a természetett növények felvevőképességénél nagyobb mennyiségű műtrágyát szórtak ki, ami a talajvíz nitrát koncentrációjának növekedéséhez vezethet (Cobos, 1996). A talaj nagy vízáteresztőképessége miatt a területen az esővíz hamar elszivárog, és a felszíni vízfolyások hamar víz nélkül maradnak. Az évi csapadék átlag 1200 mm, aminek 50%-a az esős időszakban hull le, júniustól októberig. A talajvizet főleg a száraz szezonban a mezőgazdaság szükségletei szerint pumpálják ki. Ugyanakkor ez a talajvíz az egyetlen rendelkezésre álló ivóvízforrás a területen (Marin 1990; Steinich et al, 1996). A nitrát koncentráció időszakos változása is jelentős és nagy mértékben függ a csapadék mennyiségétől. A száraz időszakban (november-június) magasabb a nitrát koncentráció, míg a csapadékban gazdag időszakban (június-október) alacsonyabb koncentrációkat mértek, a szerzők (Pacheco J., et al., 2001) véleménye szerint a hígítási tényező következtében. A Yukatan félszigeten két potenciális nitrátforrás található, a kezeletlen kommunális szennyvíz, és a mezőgazdaságban használt nitráttartalmú tápanyagok. A szennyeződés eredetére a talajvízben található  $\text{NO}_3/\text{Cl}$  és  $\text{K}/\text{Cl}$  arányból lehet következtetni. A tanulmányozott területen a Cl és a K vagy a tengervízből származik vagy antropogén eredetű. Az átlagnál nagyobb mennyiségű Cl a talajvízben a kommunális szennyvíz beszivárgására, míg az átlagosnál magasabb K tartalom a mezőgazdasági eredetű szennyeződésre utal (Piskin 1973; Back et al., 1974; Ritter et al., 1984). Az eredmények lineáris regressziós analízisével kimutatták, hogy a vizsgált területen a nitrát mezőgazdasági forrásból származik (Pacheco J., et al., 2001).

#### **2.2.4. A talajvíz nitrátszennyeződése a trópusi zónában**

A nitrátszennyezés jelentő problémának számít a trópusi zónában is. Beható vizsgálatokat végeztek a Costa Rica-i Central Valley területén annak érdekében, hogy megvizsgálják a talajvíz nitrát szennyezettségét, amelyből a lakosság az ivóvizet nyeri. A vizsgált vízgyűjtő a Virilla folyó vízgyűjtője, amelynek területe 913 km<sup>2</sup> és a Central Valley északi felén helyezkedik el. Az átlag csapadékmennyiség a vízgyűjtő területén 1400 és 5200 mm között változik (IMN, 1990), és e csapadék nagy része a májustól novemberig terjedő időszakra



koncentrálódik. Az évi csapadék kb. 50%-a a vízgyűjtő középső és alsó szakaszának víztározó rétegeit tölti újra (Reynolds, 1991). A terület vulkánikus eredetű és a quaternar periódusban alakult ki. (Fernandez M., 1969; Losilla, 1973). A terület kb. 40%-án andoszol talaj található, és a víztározó réteg nagy hidrológiai vezetőképességgel rendelkezik (Herrera J.A., Rodriguez H.V., 1982; Gomez, 1987). A talajvíz korát 10-15 évre becsülték a Colima víztározó rétegében (Darling W.G. et al., 1989), de a magasabb területeken valószínűleg sokkal fiatalabb. A vízgyűjtő területén, amely a talajvíz pótlását biztosítja, mezőgazdasági tevékenység folyik, és települések találhatóak, így a nitrátszennyezés lehet mezőgazdasági eredetű, (átlagban 272 kg/ha nitrogéntartalmú tápanyagot alkalmaznak évente a kávéültetvényeken, vagy kommunális eredetű. A vizsgálatok alatt végeztek egy egyszeri méréssorozatot, amely során 56 ivóvízkutat, illetve forrást vizsgáltak meg (22 forrást és 34 kutat) 1988 júniusa és augusztusa között. Minden mintavételi helyről egy mintát vettek, és a mintákban csupán a nitrát koncentrációt vizsgálták. A mintavételi helyeken a talajvíz szintje 784 m és 2440 m tengervíz feletti magasság között változott. Ezen első méréssorozatra alapozva kiválasztottak 14 mintavételi helyet (10 forrást és 4 ivóvízkutat), amelyeket egy 25 hónapot kitevő időszak (1988 június-1990 július) során vizsgáltak. Ebben az esetben négy paramétert határoztak meg: nitrát koncentráció, hőmérséklet, kondukivitás és pH. Ebben az esetben a mintavételi helyek a közép magasságú szakaszon voltak, és három típusú területhasználatú zónát vettek figyelembe: 1) legelő és erdő, 2) főleg mezőgazdasági területek, 3) urbanizált és szemi-urbanizált területek. Az első méréssorozat eredményei azt mutatják, hogy a források és az ivóvízkutak nitrát koncentrációja között nem lehet jelentős különbséget kimutatni, a nitrát- N koncentráció a 0,13-5,5 mg/l tartományban mozgott. A nitrát koncentráció fordított arányban változott a mintavételi hely tengerszint feletti magasságával. Az 1400 m tengerszint feletti magasságnál magasabban elhelyezkedő mintavételi pontok esetében nitrát-N koncentráció a 0,5 mg/l érték alatt, míg az 1400 m alatt található mintavételi pontok esetében a nitrát-N koncentráció a 0,13-5,5 mg/l tartományban mozgott. Az 1500-2900 m tszf. közötti zónában erdők és legelők találhatóak, és csupán extenzív állattartással találkozunk, így a nitrát természetes forrásból származik, és a talajvíz nitrát koncentrációja jelentősen növekszik a csapadékmennyiség növekedésének függvényében, mivel a hirtelen jövő nagy csapadékmennyiség hamar kimossa a talajból a nitrátot. A közép zónában (1000-1500 m tszf.) a talajvíz nitrát koncentrációja átlagban négyszer nagyobb, mint a magasabban fekvő zónában. Ebben az esetben is, a talajvíz nitrát koncentrációja növekszik az esős időszakban, de nem olyan jelentős mértékben mint a felső zónában. Az alacsonyan elhelyezkedő zónában (900-1000m tszf), ahol a terület felét települések és egy harmadát kávéültetvények foglalják el, a talajvíz nitrát szennyezettsége sokkal jelentősebb. Az átlag nitrát-N koncentráció a 2,9-6,6 mg/l tartományban mozgott, míg a minimum-maximum értékek 1,1-18,9 mg/l skálán mozogtak, a 25 hónapon át tartó vizsgálati periódusban. Ebben a zónában az összefüggés a csapadékmennyiség és a talajvíz nitrát koncentrációja között nem volt annyira jelentős, kétségekívül a hidrológiai ciklus és az egyéb tényezők közötti

bonyolult összefüggés következtében. A magasabban fekvő területekhez képest, ebben a zónában több szennyező tényező létezik, és nagyobb mértékű a hidrológiai keveredés, valamint a víz hosszabb ideig tartozkodik a víztartó rétegben. Mindezen tényezők jelentősen befolyásolják a talajvíz nitrátszennyezettségének szezonális jellegét. (Reynolds-Vargas J., S., 1995).

### **2.2.5. Iránban végzett kutatások**

Az Iránban végzett kutatások kimutatták, hogy a szemiárid zónában is jelentős problémának számít a talajvíz nitrátszennyezettsége. Az öntözött területen az arid és szemiárid zónában, ha az evapotranszpirációt meghaladja az öntözésre használt víz mennyisége, felléphet a nitrátkimosódás jelensége (Jalali M., Rowell D.L., 2003). A vizsgált terület, Hamadan, Nyugat Iránban, 400 km-re Teherántól található, az évi átlagos csapadékmennyiség a területen 300 mm. Hamadánban a fő tevékenység a mezőgazdaság, a 4118 km<sup>2</sup> terület 32,5%-a művelt terület, főleg búzát, burgonyát és fokhagymát termesztnek. Az állattartás is jelentős helyet foglal el Hamadan gazdasági szerkezetében. A talajvíz biztosítja az ösvízszükséglet 60-70%-át, az ivóvíz és az öntözésre használt víz nagyrészt a talajvízből nyerik. A terület alapköze mészke és gránit. A 2000 nyarán végzett vizsgálatok során 311 ivóvízkútból vettek mintát. Mivel a vizsgálatokat egy nyár alatt végezték, a talajvíz nitráttartalmának szezonális változásait nem vizsgálták. A mintavételi helyek úgy voltak kiválasztva, hogy különböző talajtípusokat és mezőgazdasági tevékenységeket fedjenek le. A vizsgált mintákat három kategóriába sorolták: alacsony (<20 mg/l), közepes (20–50 mg/l) és magas (>50 mg/l) nitráttartalmú mintára. A magas nitráttartalmú minták meghaladják az ivóvízre vonatkozó nemzetközi normákat (WHO, 1993) így az ebbe a kategóriába sorolt talajvizekben a nitrát koncentráció elég magas ahhoz, hogy az emberi tevékenység hatására lehessen következtetni. (Spalding R.F., Exner M.E, 1993). A vizsgált területen lehetséges szennyezőforrásként számításba vehető tevékenységek (intenzív mezőgazdaság, műtrágyahasználat, beleértve a szárnyasbaromfi tenyésztést is) 35 éve folynak. A vizsgált mintákban a nitrát koncentráció 3 és 252 mg/l között változott, a koncentrációk átlaga 49 mg/l. A vizsgált kutak 16%-ban (50) alacsony nitrátkoncentráció volt (<20 mg /l), és 47%-ban (146) volt a nitrát koncentráció a 20–50 mg/l tartományban. A 311 mintából 115 esetben (37%) a nitrát koncentráció meghaladta az 50 mg/l értéket. A minták 8%-ban a nitrát koncentráció magasabb volt a 100 mg/l értéknél. Ugyancsak figyelemreméltó, hogy a minták 23%-ban (46) a nitrát koncentráció a 40–50 mg/l tartományban mozgott, ami megközelítette a WHO által meghatározott határértéket. Mivel a felhalmozódott nitrát a talajban lefele mozog, ezért várható, hogy azon kutak száma amelyekben a nitrát koncentráció meghaladja a megengedett értéket, tovább fog növekedni. Az eredmények kimutatták, hogy a nitrát koncentráció átlaga a mély kutakban (>70 m) 41 mg/l, a sekély kutakban (40–70 m) 65 mg/l és a kézi pumpálású kutakban (<40 m) 51 mg/l volt. Következésképpen a sekély kutakban magasabb nitrát koncentrációt mértek mint a mély kutakban. A 75 burgonyaföld illetve 26 zöldséges alatti területről vett vízmintából 35 illetve 13 mintában haladta meg a