



Pannon Egyetem

Vegyésmérnöki- és Anyagtudományok Doktori Iskola

**Vizes élőhelyek madárvonulás hatására bekövetkező
tápanyagáramlás-változásának elemzése**

DOKTORI (Ph.D) ÉRTEKEZÉS TÉZISEI

Készítette:

Tóth Piroska

Témavezetők:

Dr. Domokos Endre Gábor

Egyetemi docens

Dr. Kovács Zsófia

Tudományos munkatárs

Pannon Egyetem

Mérnöki Kar

Fenntarthatósági Megoldások Kutatólaboratórium

2025

Bevezetés

A tiszta víz létfontosságú erőforrás, melyet természeti változások és emberi tevékenységek egyaránt veszélyeztetnek. A vízminőség hatékony védelme érdekében szükség van olyan megoldásokra, amelyek gyors és hosszú távú elemzéseket is lehetővé tesznek. A jelenlegi gyakorlatot követő mintavételi és mérési módszerek korlátai miatt, a jelen kutatás a valós idejű adatokat biztosító monitoring rendszerek és távérzékelési adatok gépi tanulású elemzésére összpontosít.

Az elemzések a vízfolyások és vizes élőhelyek állapotára, a vízimadár-állományok és a vízminőség kapcsolatára, valamint az anomáliák azonosítására terjedtek ki. A valós idejű vízmonitoring adatok alapján kidolgozott módszerek igazolták, hogy a vízimadarak indikátorként szolgálhatnak a tápanyagok változásaira, míg a madárfajok jelenléte és egyedszáma összefüggést mutat a foszfor- és nitrogénkoncentrációval.

A valós idejű vízminőség monitoring rendszerek telepítésével és adaptálásával pontosabb előrejelző modellek jöhettek létre. A létrehozott PCR vízminőség-előrejelző modell pontos előrejelzéseket adott a vizsgált terület vízminőségi indexére, 0,81-es R^2 értéket és 0,17-es átlagos négyzetes előrejelzési hibát elérve az elemzések során.

A vízkémiai paraméterek változásának becslésére egy autoregresszív integrált mozgóátlag (ARIMA) modell lett kifejlesztve, amely idősoros elemzéssel támogatja a felszíni édesvizek állapotának és kémiai paramétereinek előrejelzését.

A disszertációban bemutatott kutatás kiemeli a Víz Keretirányelv által meghatározott vízkémiai paramétereiből számított mutatók adaptálásának jelentőségét, a vízminőség évszakos ingadozásainak figyelembevételét, a vizes élőhelyek közötti ökológiai kapcsolatokat feltárását, valamint olyan beavatkozási stratégiák kidolgozását, amelyek azonnali és megalapozott döntéshozatalt tesznek lehetővé.

Alkalmazott módszerek

Doktori kutatásom során valós idejű vízminőség monitoring rendszereket telepítettem, amelyek adatai lehetővé tették az azonnali problémák azonosítását és a hosszú távú tendenciák nyomon követését. A szenzoros adatok feldolgozásához gépi tanulású elemzéseket alkalmaztam, míg a távérzékelési adatokat az azonosított anomáliák elemzésére és

kiértékelésére, a laboratóriumi méréseket pedig a vízkémiai mutatók pontosabb meghatározására használtam.

Több mint 10 év vízminőségi adatainak elemzése, a vonuló vízimadarak monitorozása és a tápanyag-indikátor madárcsoportosulások kiválasztása is a vizsgálatok részét képezték. Főkomponens-elemzéssel és -regresszióval a vízimadarak és a vízminőségi mutatók közötti kapcsolatokat vizsgáltam.

Prediktív modellezéshez PCR modellt használtam, amely 0,81-es R^2 értéket és 0,17-es átlagos négyzetes hibát mutatott. Az azonosított anomáliák kiértékelése távérzékelési adatok (NDVI, felszíni hőmérséklet) elemzésével valósult meg. Továbbá ARMA és ARIMA modelleket adaptáltam és kidolgoztam, amelyeket a felszíni vizek 30 napos idősoros vízminőség-előrejelzésére alkalmaztam. Az elemzésekhez a Kis-Balaton Vízvédelmi Rendszer és a Szúnyogszéki tavak valósidejű vízmonitoring állomásainak adatait használtam.

A kidolgozott módszerek lehetővé teszik a vízminőség hatékony ellenőrzését földrajzilag távoli, de ökológiailag összefüggő vizes élőhelyeken, elősegítve az ökológiai kapcsolatok megértését.

Tézisek

I. A vízimadarak szezonális tápanyaghozzájárulása és szerepe a vizes élőhelyek trofitásában

1. Alátámasztottam, hogy a madárvonulás összefügg a Homoród-patak Szúnyogszék (Dumbrăvița) szakaszának tápanyagellátottságával a vízimadarak foszfor- és nitrogénforgalomban betöltött szerepük révén. Kimutattam, hogy a vízimadarak foszforhozzájárulása a tórendszer patakba való kifolyásánál elérheti az évi teljes foszforterhelés 6,6%-át. A növényevő lúdfajok nitrogénhozzájárulása a Szúnyogszéki tavaknál ugyan legfeljebb 0,7%, de a madárterhelés és a tápanyagok közötti szoros összefüggés olyan időszakban volt tapasztalható, amikor az oligotróf patak táplálta tó vízminősége még a jó kategóriába tartozott. A vízimadarak tápanyaghozzájárulását ezért figyelembe kell venni a fenntartható vízgazdálkodási intézkedések megtervezésekor különösen a sekély vizes élőhelyek esetében. (4.2, 4.2.1 fejezet)

Kapcsolódó publikációk: 2, 9, 14.

II. A madárvonulás hatása a vízminőségre: főkomponens-elemzés és regressziós modellezés

2. Főkomponens-analízis (PCA) segítségével is bizonyítottam a vízminőségi paraméterek és a madarak tápanyagtranszportja közötti összefüggéseket. A PCA eredményei alapján végzett **regressziós elemzés igazolta**, hogy a vonuló madarak jelenléte kapcsolatban áll a Vízminőségi Index (WQI) szezonális változásaival. A kidolgozott PCR modell **0,81-es R^2** értéket és **0,17-es átlagos négyzetes előrejelzési hibát (MSPE)** mutatott, amely **pontos előrejelzést** biztosított a WQI szezonális és időszakos változásaira vonatkozóan, tehát a vízimadaraknak jól kimutatható szerepe van a vizsgált vizes élőhely rendszer tápanyag transzportjában. A módszer alapján kifejlesztettem egy döntéstámogató algoritmust, amely képes becsülni a madarak kétirányú (pl. ürülékbevitel, táplálékfelvétel) komplex tápanyagtranszportjának vízminőségre gyakorolt hatását, ezáltal segítve a változó tápanyagterhelés hatékony kezelését. (2.6.3 és 4.2, 4.2.1 fejezet)

Kapcsolódó publikációk: 2, 4, 9, 14.

III. A vízimadárfaajok szerepe a Szúnyogszéki (Dumbăvița) tavak anyagforgalmában és vízminőségében

3. Bizonyítottam, hogy a PCA-módszer alkalmas a vízimadárfaajok és a vízminőségi paraméterek, valamint a nitrogén- és foszforterhelés időbeli kapcsolatának összehasonlítására is. A főkomponens-analízissel (PCA) azt is **kimutattam**, hogy a 12 leggyakrabban és legnagyobb egyedszámban jelenlévő vízimadárfaaj közül a dankasirály (*Chroicocephalus ridibundus*), a kárókatona (*Phalacrocorax carbo*), a csörgő réce (*Anas crecca*), a szürke gém (*Ardea cinerea*), a nagy kócsag (*Ardea alba*), a sztyeppi sirály és sárgalábú sirály (*Larus cachinnans/Larus michahellis*) jelenléte magasabb foszforkoncentrációkkal párosul. Ezzel szemben a nagy lilik (*Anser albifrons*), a szárcsa (*Fulica atra*), a barátréce (*Aythya ferina*) és a kanalas réce (*Anas clypeata*) jelenléte a magasabb nitrogénkoncentrációval jellemezhető

víztestekben figyelhető meg, amely összefügg ezeknek a fajoknak a fogyasztói trofikus szintjükből adódó táplálkozási szokásaival és a táplálékkínálattal. Az elemzések alapján kapcsolat mutatható ki a vízimadarak jelenléte, valamint a lebegőanyag, az összes oldott anyag és a biológiai oxigénigény magasabb értékei között is. Tehát ezek a fajok komplex módon járulnak hozzá a tavak tápanyagtranszportjához, ezen keresztül pedig a foszfor- és nitrogénkoncentráció változásához. Ezt támasztja alá az is, hogy a legjelentősebb (60%) a kétirányú anyagforgalmi funkcióval bíró importőr-exportőr guild részese volt a madárközösség létszámából. (4.2 és 4.2.1 fejezet)

Kapcsolódó publikációk: 2, 4, 5, 7, 8, 14.

IV. Térinformatikai és távérzékelési módszerek alkalmazása a Szúnyogszéki tavak vízminőségi terheléseinek felderítésére

4. **Bemutattam**, hogy a Szúnyogszéki tavak állapotának felméréséhez a GIS és távérzékelési módszerek (LANDSAT 7 és 8) alkalmazása hatékony eszközt nyújt a felszíni hőmérséklet és a Normalizált Vegetációs Index (NDVI) értékek alapján történő környezeti és antropogén anomáliák azonosításához. Az elemzések kimutatták, hogy a vízfelületi minimum NDVI értékek csökkenése a vegetációs aktivitás visszaesésére utal, ami száraz időszakokban kedvezőtlen hatást gyakorol a vízminőségre. A 0,2-es NDVI értékek sekély, sáros vagy iszapos víz jelenlétét jelzik, amely gyakran a felszíni hőmérséklet emelkedésével társul, elsősorban a halgazdaság által üzemeltetett medencék leeresztése következtében. A hosszabb meleg időszakok és a csapadékhiány szintén hozzájárulnak a vízszint és a DO csökkenéséhez.

Bemutattam, hogy a lineáris regresszió és az ARIMA modellek megbízható eszközök az NDVI változásainak előrejelzésére, lehetővé téve a jövőbeli vízminőségi problémák időben történő felismerését. (4.8, 4.8.1, 4.9, 4.9.2 fejezetek)

Kapcsolódó publikációk: 1, 4.

V. Idősoros regressziós modellek kidolgozása a Kis-Balaton Vízvédelmi Rendszer vízminőségi paramétereinek előrejelzésére

5. **Kimutattam**, hogy a Kis-Balaton Vízvédelmi Rendszer vízminőségi paramétereinek előrejelzésére kidolgozott idősoros regressziós modellek, mint az ARMA (Autoregressive Moving Average) modellek, hatékonyan alkalmazhatók az oldott oxigén, pH, redox potenciál, elektromos vezetőképesség és zavarosság időbeli változásainak becslésére.

Az eredmények **alátámasztották**, hogy a modellek online fizikai-kémiai szenzorok adatainak felhasználásával történő optimalizálása jelentősen javította az előrejelzések pontosságát a 30 napos intervallumokban. Az eredmények megerősítették, hogy a modellek pontos trendelőrejelzéseket biztosítanak, bár a zavarosság esetében csak az átlagértékek voltak megfelelően becsülhetők. Az ilyen jelenségek kezelésére javaslom a nemlineáris módszerek (SVM, neurális hálózatok, SARIMA - Seasonal ARIMA) alkalmazását. Az ARIMA modellek hatékony eszközök a vízminőség előrejelzésére és az anomáliák észlelésére, amelyek a jövőben fontos szerepet tölthetnek be az ökoszisztéma-szolgáltatások fenntartásában. (4.5, 4.5.1, 4.5.2 fejezetek)

Kapcsolódó publikáció: 1.

Publikációk

Külföldi folyóiratban megjelent publikációk:

1. Kovács Zs, Tarcsay BL, **Tóth Piroska**, Juhász Cs J, Németh S, Shahrokhi A. (2024): Prediction of Physico-Chemical Parameters of Surface Waters Using Autoregressive Moving Average Models: A Case Study of Kis-Balaton Water Protection System, Hungary. *Water*. 2024; 16(16):2314. <https://doi.org/10.3390/w16162314>, Q1, Impact factor: 0.72
2. **Tóth Piroska**, Tarcsay Bálint Levente, Kovács Zsófia, Ionescu Dan Traian, Németh Sándor, Domokos Endre (2023): Assessment of the correlation between the nutrient load from migratory bird excrement and water quality by principal component analysis in a freshwater habitat: *Environ Sci Pollut Research* **30**, 66033–66049 (2023). <https://doi.org/10.1007/s11356-023-27065-3>, Q1, Impact factor: 5.8

Külföldi folyóiratban megjelent publikáció:

3. Zsófia Kovács, Mónika Meiczinger, Tatjana Yuzsakova, Gwendolin Kulcsár, **Piroska Tóth**, Igor Cretescu (2024): The future perspectives of receiving rivers under the revised urban wastewater treatment directive journal of international scientific publications: *ECOLOGY AND SAFETY* (1314-7234 1313-7999): 18 (1) pp 54-62 (2024)
DOI: 10.62991/ES1996527016

Konferencia részvétel, teljes szövegű (legalább 4 oldal) megjelenéssel:

4. **Tóth Piroska**; Kovács Zsófia; Domokos Endre (2023): Online távvezérelhető mobil vízparaméter mérő rendszer alkalmazása a Homoród patak Szúnyogszék-i szakaszán *Magyar Hidrológiai Társaság (2023) p. 7. XL. Országos Vándorgyűlés*
ISBN: 9789638172457

5. **Tóth Piroska**, Tarcsay Bálint Levente; Kovács Zsófia; Ionescu, Dan Traian; Németh Sándor; Domokos Endre (2022): Főkomponens-elemzés alkalmazása a vizimadarak ürülékéből származó tápanyagterhelés édesvizekre gyakorolt hatásának értékelésére *VIII. Soós Ernő Nemzetközi Tudományos Konferencia Viz- és szennyvízkezelés az iparban - 8th Soós Ernő International Scientific Conference Water and wastewater treatment in the industry* (2022), pp. 23-29, 7 p.
ISBN: 9786158138420

Konferencia részvétel, csak kivonatos megjelenéssel:

6. **Tóth Piroska**; Kovács Zsófia; Tarcsay Bálint Levente; Ionescu Dan Traian; Németh Sándor, Domokos Endre (2023):
Geospatial analysis of the environmental pressures of natural factors affecting nutrient pollution of fresh surface waters: Analysis of the environmental pressures of natural factors affecting nutrient pollution of the fresh surface waters
Bucuresti, Románia: University of Bucharest. 2023:
EcoSMART23 Environment at crossroads: smart approaches for sustainable future
2023-11-17 [Bucharest, Románia]
7. **Tóth Piroska**; Kovács Zsófia; Domokos Endre (2023):
Water quality index assessment by remote sensing and application of IoT (Internet of things) technology for the mobile monitoring of mountain streams and reservoirs
EcoSMART23 Environment at crossroads: smart approaches for sustainable future
2023-11-18 [Bucharest, Románia] Bucuresti, Románia: University of Bucharest, 2023
8. **Tóth Piroska**; Kovács Zsófia; Domokos Endre (2021):
A vizes élőhelyek vízminőség monitoringjának kihívásai Dumbrăvița példáján madárvonulási időszakban, *7th Soós Ernő International Scientific Conference Water and wastewater treatment in the industry 2021 VII. Soós Ernő Nemzetközi Tudományos Konferencia Viz-és szennyvízkezelés az iparban 2021*
Nagykanizsa, Magyarország: Soós Ernő Víztechnológiai Kutató-Fejlesztő Központ, 2021. Book of abstracts; 62 p.

9. **Tóth Piroska** Környezetterhelések térinformatikai alapú elemzése (2019): Green Solutions 2019 Conference: Zsirka, Balázs; Domokos, Endre (szerk.)
Veszprém, Magyarország: Pannon Egyetem, Környezetmérnöki Intézet (2019) 16 p.
ISBN: 9789633961414

Egyéb publikációk:

10. **Tóth Piroska**; Fazakas József (2020): Investigation of the fingerprint of climate changes in the Tinovul Apa Roşie peat bog (central Romania) by using ^{210}Pb dating method, *Global Journal of Ecology* ISSN: 2641-3094 pp. 018-023, 6 p. (2020)
doi: 10.17352/gje.000014
11. G. Tóth, M., Hegedűs; **Piroska, Tóth**; A., Shahrokhi; A., Csordás; T., Kovács
Comparison of different spatial evaluation techniques in Geogenic Radon Potential mapping
Book of Abstracts (VIII. Terrestrial Radioisotopes in Environment International Conference on Environmental Protection)
(2022) p. 81
12. Gergely, Tóth; Miklós, Hegedűs; **Piroska, Tóth**; Amin, Shahrokhi; Anita, Csordás; Tibor, Kovács (2022): Comparing various spatial evaluation techniques in Geogenic Radon visualization on the example of the Northern Trans-Danubian region
In: Book of Abstracts *The 9th Educational Symposium on RADIATION AND HEALTH by young scientists* (ESRAH2022)
(2022) p. 25
13. Gergely, Tóth; Miklós, Hegedűs; **Piroska, Tóth**; Amin, Shahrokhi; Anita, Csordás; Tibor, Kovács;
Relative merits of various spatial evaluation techniques in Geogenic Radon visualization
In: Book of Abstracts: *PhD hallgatók anyagtudományi napja XXII.*
(2022) pp. 15-15., 1 p.

14. **Tóth Piroska**; Kovács Zsófia; Domokos Endre (2021):

A vizes élőhelyek vízminőség monitoringjának kihívásai Dumbrăvița példáján
madárvonulási időszakban, *7th Soós Ernő International Scientific Conference Water
and wastewater treatment in the industry 2021 VII. Soós Ernő Nemzetközi
Tudományos Konferencia Víz-és szennyvízkezelés az iparban 2021*
Nagykanizsa, Magyarország: Soós Ernő Víztechnológiai Kutató-Fejlesztő
Központ (2021) Book of abstracts; 62 p.

Könyv, könyv fejezet

15. **Tóth Piroska** (2021): Investigation of the fingerprint of climate changes in Tinovul
Apa Roșie peat bog (central Romania) by using ^{210}Pb dating method, *Radiation
Environment and Medicine* 2021. Vol.10, No.1 48–54
5th Educational Symposium on RADIATION AND HEALTH (ESRAH) by young
scientists; HIROSAKI, Japan

