

Doktori (PhD) értekezés tézisei

**A pormegkötődés mennyiségi és térbeli
eloszlásának becslése városi fák levelein
Debrecenben**

Molnár Vanda Éva

Témavezetők:

Prof. Dr. Szabó Szilárd, egyetemi tanár

Dr. Kundrát-Simon Edina, egyetemi docens



DEBRECENI EGYETEM

Földtudományok Doktori Iskola

Debrecen, 2022

Bevezetés

A nagyvárosokban kialakuló környezeti problémákat azok mértéke és bonyolultsága miatt érdemes összetett szemlélettel, több tudományág eszközeinek alkalmazásával vizsgálni. Az értekezésben a porszennyezés megkötésének mértékét vizsgáltam a városi fák levelein Debrecenben. A város területe folyamatosan terhelt a közlekedésből és időszakosan a kertvárosi területeken domináns lakossági tüzelésből származó szilárd szennyezőanyagokkal. Továbbá a szomszédos mezőgazdasági területekről érkező többlet porszennyezés sem elhanyagolható.

A porszennyezés egy részét a falevelek felülete akkumulálni képes. Ennek mértéke fafajonként eltérő, emiatt szükséges volt a fajspecifikus pormegkötés ismerete mellett a Debrecenben leggyakrabban előforduló fafajok térbeli eloszlásának vizsgálatára is. Ehhez a nagy területi kiterjedés miatt térinformatikai alapú fafajosztályozást alkalmaztam egy multispektrális, WorldView-2 műholdfelvétel alapján. Az utcai fasorként leggyakrabban megtalálható fajokat részesítettem előnyben, mivel egyrészt a városi zöldfelület jelentős részét ezek képezik, illetve a közlekedésből eredő porszennyezés ezeket a fasorokat éri a legnagyobb mértékben.

A porszennyezettség térbeli eloszlását a faleveleken egy városi, egy természetközeli és egy ipari parkkal szomszédos területen vizsgáltam. Meghatároztam a korai juhar, (*Acer platanoides* L.) az európai hárs (*Tilia x europaea* L.), a közönséges platán (*Platanus x hybrida* Brot.) és a nyugati ostorfa (*Celtis occidentalis* L.) jellemző pormegkötésének mértékét. Emellett az európai hárs és a nyugati ostorfa légszennyezettséggel szembeni toleranciáját is vizsgáltam (*Air Pollution Tolerance Index*, APTI). A város szintű pormegkötés becsléséhez szükség volt a növényborítás mellett az aktív levélfelület bizonyok fokú ismeretére is. Ennek érdekében a WorldView-2 felvétel alapján meghatároztam fajok levélfelületi indexét (*Leaf Area Index*, LAI). Végül a város egészére nézve megbecsültem a tipikus fafajok pormegkötésének mértékét.

Célkitűzések

Kutatásom során a következő kérdésekre kerestem választ:

1. Tapasztalható-e különbség városi, természetközeli és ipari típusú területeken az európai hárs és a nyugati ostorfa levelein megkötődött por egyes mérettartományainak mennyiségében?
2. Debrecen leggyakoribb fafajai, a korai juhar, az európai hárs, a közönséges platán és a nyugati ostorfa milyen mértékben kötötték meg a port, és van-e a fafajok között különbség a megkötött por mennyiségében?
3. Tapasztalható-e különbség városi, természetközeli és ipari típusú területeken az európai hárs és a nyugati ostorfa APTI értékében? Az APTI alapján mely fajok alkalmasak a légszennyezettség biomonitorozására?
4. WorldView-2 műholdfelvétel alapján, több osztályozó módszert tesztelve milyen a legjobb elérhető általános pontosság a korai juhar, az európai hárs, a közönséges platán és a nyugati ostorfa pixel-szintű osztályozásakor?
5. Mekkora mennyiségű por becsülhető Debrecenben a fák levelein a faj szinten osztályozott kép, a fajspecifikus pormegkötés és a származtatott levélfelületi index alapján?

Anyag és módszer

A pormegkötés és az APTI vizsgálata

2018-ban a falevelek által megkötött por térbeli eloszlását vizsgáltam Debrecen különböző antropogén hatás alatt álló pontjain. Európai hárs és nyugati ostorfa egyedekről gyűjtöttem falevélmintákat a városközpontban (*városi*), a debreceni Nagyerdő déli peremén (*természetközeli*), és a város nyugati szélén található ipari park mellett (*ipari típusú terület*). A területeken a 2 fafaj 3-3 egyedéről háromszoros ismétlésben gyűjtöttem falevélmintát 06.15-én és 09.16-án.

Emellett a fafajspecifikus pormegkötés vizsgálatához Debrecen északi részén jelöltem ki egy parkos területet, ahol 3–3 korai juhar, az

európai hárs, a közönséges platán és a nyugati ostorfa egyederől háromszoros ismétlésben gyűjtöttem falevélmintát 2020.07.16-án.

A levélfelszínen megkötődött port ezután vizes közegben történő rázatással nyertem ki, majd a kapott szuszpenziót először egy $\sim 6,5 \mu\text{m}$, majd egy $\sim 2,5 \mu\text{m}$ retenciójú szűrőpapíron szűrtem át vákuumszivattyú segítségével, így elkülönítve egy durvább és egy finomabb frakciójú portartalmat. A szűrőpapírokról a visszazámolt portömeget egységnyi levélfelszínre vonatkoztatva adtam meg ($\mu\text{g}/\text{cm}^2$).

Az APTI számításához laboratóriumi körülmények között meghatároztam a levélminták aszkorbinsav-tartalmát, klorofilltartalmát, levélkivonat pH-ját és relatív nedvességtartalmát (Singh és Rao 1983).

A fajok, illetve mintavételi területtípusok közötti különbségeket pormennyiség, fémkoncentráció és APTI esetén normál eloszlású adatok esetén egyutas varianciaanalízissel (ANOVA) vizsgáltam. A nem normál eloszlású változók esetében Kruskal-Wallis tesztet alkalmaztam.

Képosztályozás és a levélfelületi index becslése

A képosztályozáshoz Debrecen területéről a WorldView-2 műhold által 2016. július 24-én készített multispektrális felvételt használtam. A felvételen képélesítést hajtottam végre a Gram-Schmidt-féle pansharpening módszerrel, amely során a 2 m-es multispektrális csatornák felbontását a pankromatikus csatorna 0,5 m-es felbontására javítottam fel. Terepi adatgyűjtés során 943 faegyedet azonosítottam a vizsgált fafajok közül, amelyeket véletlenszerűen 70%-ban tanító és 30%-ban ellenőrző csoportokba osztottam. A képosztályozás során a *Maximum Likelihood* (ML), a *Support Vector Machine* (SVM) és a *Random Forest* (RF) algoritmusokat használtam. Az osztályozott felvétel képpontjait a terepi referenciaadatok közül kijelölt ellenőrző pixelekkel, mint ismert valós adatokkal összehasonlítva pontosságellenőrzést végeztem. Az osztályozás pontosságát összességében az általános pontosság (*Overall Accuracy*, OA) jellemzi, ez a jól osztályozott pixelek számának, illetve a referencia pixelek számának arányát adja meg.

A vizsgálati terület lehatárolásához a 2018-as CORINE felszínborítás (CLC) adatbázis mesterséges felszínek kategóriáját

vettem alapul. Ebből mellőztem a Nagyerdei park területét, a repülőteret, a lerakóhelyeket és az építési munkahelyeket, továbbá kimaszkoltam a felvételtől a kutatás szempontjából irrelevánsabb külső, távoli városrészeket is. Az egészséges fás szárú növényzetre a műholdfelvétel adataiból számított normalizált vegetációs index alapján (NDVI, Rouse et al. 1974), illetve egy normalizált digitális felszínmodell alapján szűrtem a NDVI <0,55 és 2 m-nél nagyobb értékű képpontokra, így fákkal borított terület végeredményben 6,22 km² lett. A LAI-t a műholdfelvételből számított NDVI alapján becsültem meg (Kokubu et al. 2020).

A város fásszárú zöldfelületén összesen megkötött pormennyiség számításához az alábbi módszert dolgoztam ki. Elsőként a három osztályozott képet egyenként felhasználva a fafajokra kategóriánként külön maszkokat készítettem. Ezekkel a képekkel maszkolva a LAI képét, kiszámítottam az egyes fafajok területe által lehatárolt pixelek értékeinek átlagát. Ezt a fajra jellemző átlagos LAI-t megszoroztam a korábban meghatározott fajspecifikus pormegkötéssel és a három osztályozási módszerrel nyert, adott faj által borított alapterülettel. Így megkaptam az adott fajra a mintaterületen belül megkötött összes pormennyiséget:

$$PM = LAI * pm * A * 10$$

ahol *PM* az adott faj pormegkötése (kg) a mintaterületen,
LAI az átlagos LAI,
pm a fajspecifikus pormegkötés (µg/cm²),
A a faj alapterülete (km²).

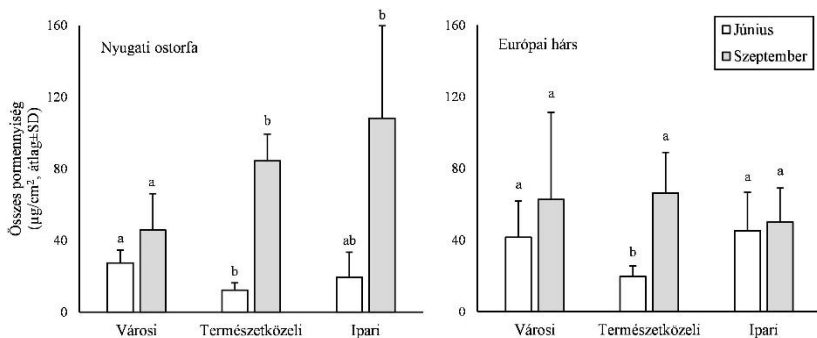
A négy vizsgált fajra kapott pormennyiségeket összeadva adtam egy közelítő becslést a növényzet által pillanatnyilag megkötött pormennyiségről. Ez a három osztályozás alapján három különböző becslést jelentett.

Kutatási eredmények

1. Az európai hárs és a nyugati ostorfa faleveleken megkötődött por alapján kimutattam, hogy a júniusi időszakban nagyobb mennyiségben volt jelen porszennyezés a városi területen a természetközelihez képest. A szeptemberi időszakra a levélfelszínen megkötődött por átlagos mennyiségében növekedést mutattam ki júniushoz képest.

Az európai hárs és a nyugati ostorfa eltérő képet mutatott a pormegkötés mértékéről a vizsgált területeken (1. ábra). Megállapítottam, hogy júniusban a nyugati ostorfa a városi területen kötött meg mindkét porfrakcióból többet, míg az európai hársnál a városi mellett az ipari területen ugyanúgy nagyobb mennyiség kötődött meg a természetközeli területhez képest (1. táblázat).

A vizsgált esetek többségében szeptemberre a pormegkötés átlaga a levélfelszínen nagyobb volt a júniusnál, ami elsősorban a falevelek akkumuláló képességével magyarázható. Szeptemberben másrészt mindkét fajtánál kiegyenlítődött bizonyos frakciók mennyisége a mintaterületek között.



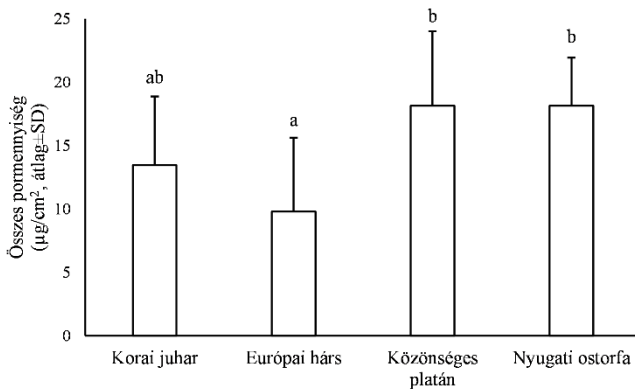
1. ábra. Az összes pormennyiség (2,5–100 µm) a fajok levelein (a különböző betűjelek a szignifikáns ($p < 0,05$) különbségeket jelzik az adott hónapra vonatkoztatva).

1. táblázat. A városi („V”), a természetközeli („T”) és az ipari („I”) mintaterületek közötti különbségek összefoglalása a fajok pormegkötése alapján. A feltüntetett területeken volt jelen a faleveleken szignifikánsan a legnagyobb mennyiség az adott frakcióból.

Porfrakció	Nyugati ostorfa		Európai hárs	
	jún.	szept.	jún.	szept.
Nagyobb (6,5–100 μm)	V	T, I	V, I	-
Kisebb (2,5–6,5 μm)	V	-	V, I	V
Összes (2,5–100 μm)	V	T, I	V, I	-

2. Kimutattam, hogy a nyugati ostorfa és a közönséges platán levelei nagyobb mennyiségben képesek megkötni a port az európai hárshez és a korai juharhoz képest.

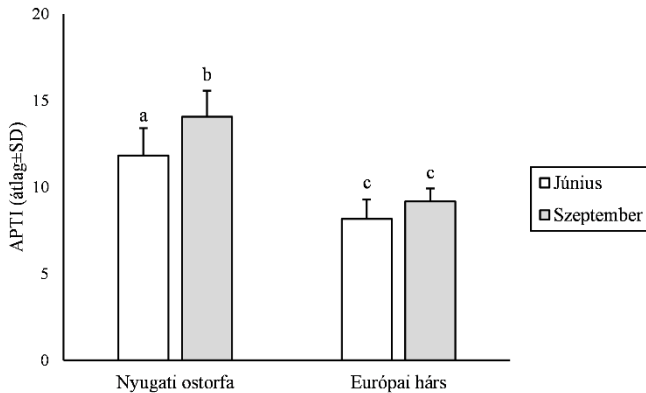
A nagyobb szemcseméretű por (6,5–100 μm) megkötése az európai hárs esetén volt a legkisebb, és a közönséges platán esetén a legnagyobb, míg a korai juhar és a nyugati ostorfa pormegkötése a többi esettől nem különbözött. A kis szemcseméretű por (2,5–6,5 μm) megkötése az európai hárs esetén volt a legkisebb, míg a többi faj pormegkötése egymástól nem különbözött. A teljes vizsgált mérettartományban legkisebb mennyiségben az európai hárs, míg a legnagyobb mennyiségben a nyugati ostorfa és a közönséges platán levelein határoztam meg a porlerakódást (2. ábra). A korai juhar összes pormegkötése a többi fajtól nem különbözött.



2. ábra. Az összes pormennyiség (2,5–100 µm) a faleveleken az egyes fajok esetében (a különböző betűjelek a szignifikáns ($p < 0,05$) különbségeket jelzik).

3. Megállapítottam, hogy az APTI alapján Debrecenben az európai hárs és a nyugati ostorfa légszennyezésre érzékeny fajok és bioindikátorként alkalmazhatók.

A fajok APTI értékében többnyire nem tapasztaltam eltérést a városi, természetközeli és ipari területek között. A nyugati ostorfa esetén növekedést tapasztaltam a szeptemberben meghatározott APTI-ban a júniuséhoz képest. Továbbá, a nyugati ostorfa APTI-ja júniusban és szeptemberben is jelentősen nagyobb volt az európai hárséhoz képest (3. ábra). Mindkét faj az érzékeny kategóriába volt sorolható, habár a nyugati ostorfa esetén a szeptemberben tapasztalt APTI értéktartománya kis mértékben átnyúlik a közepesen toleráns kategóriába. Az APTI alapján mindkét faj alkalmas bioindikátornak tekinthető, és a levegőminőség romlását várhatóan jelezni képesek a levelük aszkorbinsav-, klorofill- és relatív nedvességtartalmának, illetve pH-jának változásának formájában.



3. ábra. A vizsgált fajok átlagos APTI értéke a két időpontban (a különböző betűjelek a szignifikáns ($p < 0,05$) különbségeket jelzik a teljes adatsorra).

4. Megállapítottam, hogy az európai hárs, a közönséges platán és a nyugati ostorfa WorldView–2 műholdfelvétel alapján >75% pontossággal osztályozhatók város szinten.

Az ML osztályozó esetén tapasztaltam a legnagyobb OA-t (81,27%), amelyet rendre az SVM (74,91%) és az RF (74,56%) követett. Az ML osztályozó esetén az európai hárs, a közönséges platán és a nyugati ostorfa >75% pontossággal volt osztályozható (előállítói és felhasználói pontosság tekintetében) (2. táblázat). A legnagyobb előállítói pontosságot a közönséges platán esetén, a legnagyobb felhasználói pontosságot a nyugati ostorfa esetén értem el az ML alkalmazásával. Mindhárom osztályozó esetén a leggyengébben osztályozott faj a korai juhar volt. Az osztályozott képet értékelve a nagyobb kiterjedésű lombkoronák többségükben egyértelműen a megfelelő osztályba lettek sorolva, és az osztályozás során a hibák főként a kisebb lombkoronáknál jelentkeztek. Az osztályozások alapján minden esetben az európai hársnak és a nyugati ostorfának volt a legnagyobb területi részesedése.

2. táblázat. Az ML osztályozás hibamátrixa (*PA* = elállítói pontosság, *UA* = felhasználói pontosság, *OA* = általános pontosság; osztályok: 1 – korai juhar, 2 – európai hárs, 3 – közönséges platán, 4 – nyugati ostorfa).

Referencia Osztály	1	2	3	4	Össz.	UA
1	44	8	12	1	65	67,69
2	4	60	2	3	69	86,96
3	2	4	66	1	73	90,41
4	3	8	5	60	76	78,95
Referencia össz.	53	80	85	65	283	
PA	83,02	75,00	77,65	92,31	<i>OA</i>	81,27

5. Megállapítottam, hogy Debrecenben a fás vegetáció által megkötött por mennyisége átlagosan 6,78 kg/ha-ra becsülhető.

A LAI értékét a WorldView-2 felvétel adataiból számított NDVI alapján becsültem, majd az egyes osztályozások során kapott képek felhasználásával meghatároztam a fajokhoz tartozó átlagos LAI értékét. Az eredmények tekintetében az osztályozó algoritmusok között nem tapasztaltam jelentős eltérést. A fajok átlagos LAI értékei (4,19–5,93) a lombhullató fajokra elfogadható értéktartományon belül voltak. A fajspecifikus pormegkötés, az osztályozott felvételek, illetve a LAI alapján a három osztályozó módszer esetén külön-külön kiszámítottam a teljes, fás szárú növényzet által megkötött por mennyiségét a területen (3. táblázat). Az egyes fajokra meghatározott, területegységre vetített pormegkötés a közönséges platánál volt legnagyobb, amelyet rendre a nyugati ostorfa, a korai juhar és az európai hárs követett. A vizsgált fás zöldfelületre vonatkoztatva a pormegkötés végeredménye a három osztályozási módszer esetében 6,75–6,83 kg/ha között volt (átlagosan 6,78 kg/ha) (4. táblázat).

3. táblázat. A megkötött por becslése fajonként, illetve az összes pormegkötés az egyes osztályozási módszerek esetében (fajok: 1 – korai juhar, 2 – európai hárs, 3 – közönséges platán, 4 – nyugati ostorfa).

Osztályozó	Faj	Részterület (km ²)	LAI	Pormegkötés (µg/cm ²)	Megkötött por (kg)	Összes megkötött por (kg)
ML	1	0,883	5,34	13,46	635	
	2	3,641	4,31	9,79	1534	
	3	0,638	5,89	18,14	681	
	4	2,743	5,57	18,15	2774	5624
SVM	1	0,887	5,66	13,46	675	
	2	3,649	4,16	9,79	1487	
	3	0,695	5,95	18,14	751	
	4	2,674	5,64	18,15	2738	5650
RF	1	0,849	5,73	13,46	656	
	2	3,597	4,11	9,79	1447	
	3	0,848	5,95	18,14	915	
	4	2,610	5,64	18,15	2673	5691
<i>Átlag:</i>						5655

4. táblázat. A pormegkötés becslése egységnyi területre vetítve az egyes osztályozási módszerek esetén.

Zöldfelületre vetített pormegkötés (kg/ha)	
ML	7,11
SVM	7,14
RF	7,19
<i>Átlag:</i>	<i>7,15</i>

Irodalomjegyzék

- Kokubu, Y., Hara, S., Tani, A. (2020): Mapping Seasonal Tree Canopy Cover and Leaf Area Using WorldView-2/3 Satellite Imagery: A Megacity-Scale Case Study in Tokyo Urban Area. *Remote Sens.*, 12, 1505. doi:10.3390/rs12091505
- Rouse, J.W., Haas, R.H., Schell, J.A., Deering, D.W. (1974): Monitoring vegetation systems in the Great Plains with ERTS. In: S.C. Freden, E.P. Mercanti, M. Becker (szerk.): *Third Earth Resources Technology Satellite-1 Symposium. Volume I: Technical Presentations*, NASA SP-351, NASA, Washington, D.C., pp. 309-317.
- Singh, S.K., Rao, D.N. (1983): Evaluation of plants for their tolerance to air pollution, in: *Proceedings Symposium on Air Pollution Control*, vol. 1. Indian Association for Air Pollution Control, New Delhi, India, 1, 218-224.



Nyilvántartási szám: DEENK/72/2022.PL
Tárgy: PhD Publikációs Lista

Jelölt: Molnár Vanda Éva
Doktori Iskola: Földtudományok Doktori Iskola
MTMT azonosító: 10064438

A PhD értekezés alapjául szolgáló közlemények

Idegen nyelvű tudományos közlemények külföldi folyóiratban (5)

1. Simon, E., **Molnár, V. É.**, Lajtos, D., Bibi, D., Tóthmérész, B., Szabó, S.: Usefulness of Tree Species as Urban Health Indicators.
Plants-Basel. 10 (12), 1-12, 2021. ISSN: 2223-7747.
DOI: <http://dx.doi.org/10.3390/plants10122797>
IF: 3.935 (2020)
2. **Molnár, V. É.**, Simon, E., Tóthmérész, B., Ninsawat, S., Szabó, S.: Air pollution induced vegetation stress: The Air Pollution Tolerance Index as a quick tool for city health evaluation.
Ecol. Indic. 113, 1-8, 2020. ISSN: 1470-160X.
DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.ecolind.2020.106234>
IF: 4.958
3. Simon, E., **Molnár, V. É.**, Tóthmérész, B., Szabó, S.: Ecological Assessment of Particulate Material (PM5 and PM10) in Urban Habitats.
Atmosphere. 11 (6), 1-11, 2020. EISSN: 2073-4433.
DOI: <http://dx.doi.org/10.3390/atmos11060559>
IF: 2.686
4. **Molnár, V. É.**, Simon, E., Szabó, S.: Species-level classification of urban trees from worldview-2 imagery in Debrecen, Hungary: an effective tool for planning a comprehensive green network to reduce dust pollution.
European Journal of Geography. 11 (2), 33-46, 2020. ISSN: 1792-1341.
DOI: <http://dx.doi.org/10.48088/10.48088/ejg.v.mol.11.1.33.46>
5. **Molnár, V. É.**, Tózsér, D., Szabó, S., Tóthmérész, B., Simon, E.: Use of Leaves as Bioindicator to Assess Air Pollution Based on Composite Proxy Measure (APTI), Dust Amount and Elemental Concentration of Metals.
Plants-Basel. 9 (12), 1-11, 2020. ISSN: 2223-7747.
DOI: <http://dx.doi.org/10.3390/plants9121743>
IF: 3.935





További közlemények

Magyar nyelvű tudományos közlemények hazai folyóiratban (1)

6. Simon, E., **Molnár, V. É.**, Tóthmérész, B.: Falevelek, mint a légszennyezés-becslés eszközei.
Ökotoxikol. 3 (1), 9-16, 2021. EISSN: 2732-2556.

Idegen nyelvű tudományos közlemények külföldi folyóiratban (2)

7. **Molnár, V. É.**, Simon, E., Ninsawat, S., Tóthmérész, B., Szabó, S.: Pollution Assessment Based on Element Concentration of Tree Leaves and Topsoil in Ayutthaya Province, Thailand.
Int. J. Environ. Res. Public Health. 17 (4), 1-13, 2020. ISSN: 1661-7827.
DOI: <http://dx.doi.org/10.3390/ijerph17145165>
IF: 3.39
8. **Molnár, V. É.**, Tóthmérész, B., Szabó, S., Simon, E.: Urban tree leaves' chlorophyll-a content as a proxy of urbanization.
Air Qual. Atmos. Health. 11 (6), 665-671, 2018. ISSN: 1873-9318.
DOI: <http://dx.doi.org/10.1007/s11869-018-0573-5>
IF: 2.297

Magyar nyelvű konferencia közlemények (1)

9. **Molnár, V. É.**, Simon, E., Szabó, S.: Fafajok osztályozása multispektrális felvételek alapján debreceni mintaterületen.
In: Az elmélet és a gyakorlat találkozása a térinformatikában X.: Theory meets practice in GIS. Szerk.: Molnár Vanda Éva, Debreceni Egyetemi Kiadó, Debrecen, 201-204, 2019. ISBN: 9789633180549

Idegen nyelvű konferencia közlemények (2)

10. **Molnár, V. É.**, Simon, E., Szabó, S.: Classification of tree species and estimation of Leaf Area Index based on satellite imagery.
In: Az elmélet és a gyakorlat találkozása a térinformatikában XII.: Theory meets practice in GIS. Szerk.: Molnár Vanda Éva, Debreceni Egyetemi Kiadó, Debrecen, 215-218, 2021. ISBN: 9789633189771
11. **Molnár, V. É.**, Simon, E., Szabó, S.: Species level classification using images from WorldView-2 and WorldView-3 satellites, in a study area in Debrecen.
In: Az elmélet és a gyakorlat találkozása a térinformatikában XII.: Theory meets practice in GIS. Szerk.: Molnár Vanda Éva, Debreceni Egyetemi Kiadó, Debrecen, 211-214, 2021. ISBN: 9789633189771





Magyar nyelvű absztrakt kiadványok (3)

12. **Molnár, V. É.**, Szabó, S., Tózsér, D., Tóthmész, B., Simon, E.: Légszennyezettség-becslés falevelek biokémiai és elemanalitikai paraméterein alapján.
Ökotoxikol. 2 (2), 18-19, 2020. EISSN: 2732-2556.
13. **Molnár, V. É.**, Tóthmész, B., Szabó, S., Simon, E.: Fafajok pormegkötésének és légszennyezettségi tolerancia indexének meghatározása.
In: Abs. VIII. Ökotoxikológiai Konferencia / főszerk. Darvas Béla, Magyar Ökotoxikológiai Társaság, Budapest, 22-23, 2018. ISBN: 9789638945297
14. **Molnár, V. É.**, Szabó, S., Simon, E.: Fajmeghatározás távérzékelte adatokkal egy debreceni park példáján.
In: Az elmélet és a gyakorlat találkozása a térinformatikában IX.: Theory meets practice in GIS. Szerk.: Molnár Vanda Éva, Debreceni Egyetemi Kiadó, Debrecen, 241, 2018. ISBN: 9789633187234

Idegen nyelvű absztrakt kiadványok (1)

15. **Molnár, V. É.**, Simon, E., Szabó, L., Szabó, S.: Species level classification of urban trees from multispectral imagery.
In: Hidden Geographies : Collection of Abstracts, University of Ljubljana, Ljubljana, 13-14, 2019.

A közlő folyóiratok összesített impakt faktora: 21,201

A közlő folyóiratok összesített impakt faktora (az értekezés alapjául szolgáló közleményekre): 15,514

A DEENK a Jelölt által az iDEa Tudóstérbe feltöltött adatok bibliográfiai és tudománytermetriai ellenőrzését a tudományos adatbázisok és a Journal Citation Reports Impact Factor lista alapján elvégezte.

Debrecen, 2022.02.04.



Short thesis for the degree of doctor of philosophy (PhD)

**Estimation and spatial distribution of dust
deposition on leaves of urban trees in Debrecen**

by Vanda Éva Molnár

Supervisors:

Dr. Szilárd Szabó, professor

Dr. Edina Kundrát-Simon, associate professor



UNIVERSITY OF DEBRECEN

Doctoral School of Earth Sciences

Debrecen, 2022

Introduction

The scale and complexity of environmental problems in large cities makes it worth taking a complex approach and using multidisciplinary methods. In this dissertation I investigated the extent of dust deposition on leaves of urban trees in Debrecen. The city is exposed to dust from traffic, residential combustion and dust from neighboring agricultural areas.

Particulate pollution can be accumulated on the surface of the leaves. The magnitude of this accumulation differs between tree species, therefore, it was necessary to study the distribution of the most common tree species in Debrecen, in addition to the species-specific dust capturing. For this purpose, due to the large spatial extent, I used geoinformatics-based tree species classification based on multispectral imagery from the WorldView-2 satellite. The species most commonly found as street trees were prioritized, as they account for a large part of the urban green space and are the most affected by dust pollution from vehicular traffic.

To study the spatial distribution of dust pollution using tree leaves in an urban area, a rural area and an industrial area adjacent to an industrial park. I determined the extent of dust deposition characteristic of the Norway maple (*Acer platanoides* L.), the common linden (*Tilia x europaea* L.), the London planetree (*Platanus x hybrida* Brot.) and the common hackberry (*Celtis occidentalis* L.). I also investigated the Air Pollution Tolerance Index (APTI) of common linden and common hackberry leaves that could be used as bioindicators and predictors of air pollution. The spatial distribution of the four species and the leaf area index were determined based on the WorldView-2 image. Finally, for Debrecen, I gave an overall estimation of the dust amount captured by typical tree species.

Aims of the research

In my research I was aiming to answer the following questions:

1. Is there a difference between urban, rural and industrial areas in the amount of dust deposited on the leaves of common linden and common hackberry?
2. To what extent did the common species in Debrecen i.e., the Norway maple, the common linden, the London planetree and the common hackberry capture dust, and are there differences in the amount of captured dust between the species?
3. Is there a difference between urban, rural and industrial sites in the APTI of common linden and common hackberry? Which species are suitable for biomonitoring air pollution based on APTI?
4. Using WorldView-2 satellite imagery and testing multiple classification methods, what is the best overall accuracy available for pixel-level classification of Norway maple, common linden, London planetree and common hackberry?
5. What is the estimated amount of dust on tree leaves in Debrecen based on the species level classified image, the dust captured by specific species and the leaf area index?

Materials and methods

Analysis of dust deposition, APTI and elemental concentration

In 2018, I investigated the spatial distribution of dust captured by tree leaves at different anthropogenic sites in Debrecen. I collected leaf samples of common linden and common hackberry in the city centre (urban), on the southern edge of the Debrecen Nagyerdő (rural) and next to an industrial park on the western edge of the city (industrial type area). In these areas, 3-3 individuals of the species were sampled in three replicates on 15 June and 16 September.

In addition, for the study of species-specific dust deposition, I selected an urban park in the northern part of Debrecen, where I collected 3-3 samples of Norway maple, the common linden, the

London planetree and the common hackberry in three replicates on 16 July 2020.

The dust deposited on the leaf surface was then extracted by shaking in water, and the obtained suspension was filtered first through a $\sim 6.5 \mu\text{m}$ and then through a $\sim 2.5 \mu\text{m}$ retention filter paper using a vacuum pump to separate the dust fractions. From the filter papers, the retrieved dust mass was expressed in units of leaf surface area ($\mu\text{g}/\text{cm}^2$).

To calculate the APTI, I determined the ascorbic acid content, chlorophyll content, pH and relative humidity of leaf extracts (Singh and Rao 1983).

Differences between species and study areas were tested by one-way analysis of variance (ANOVA) for dust, metal concentration and APTI for normally distributed data. For variables with non-normal distribution, Kruskal-Wallis test was used.

Image classification and estimation of leaf area index

For image classification I used a multispectral image of Debrecen taken by the WorldView-2 satellite on 24 July 2016. Gram-Schmidt pansharpening was performed on the image, where the resolution of the 2 m multispectral channels was enhanced to the resolution of the panchromatic channel of 0.5 m. Field data were collected to locate 943 tree individuals of the studied tree species, which were randomly divided into 70% training and 30% testing groups. Image classification was performed using Maximum Likelihood (ML), Support Vector Machine (SVM) and Random Forest (RF) algorithms.

In the analysis I excluded airports, landfills and construction sites based on the CORINE land cover database 2018, as well as outlying, remote urban areas that are irrelevant for the analysis. I screened for healthy woody vegetation based on a normalized vegetation cover index (NDVI, Rouse et al. 1974) calculated from satellite imagery data and a normalized digital surface model. I have kept pixels with NDVI < 0.55 and greater than 2 m, resulting in a final tree-covered area of 7.91 km^2 .

In order to establish a realistic connection between the results of dust deposition and the classified image, it was necessary to measure the leaf surface area involved in dust capturing. For this purpose, I estimated the leaf area index (LAI) based on the NDVI calculated from

satellite imagery (Kokubu et al. 2020). Using the classified images, I calculated the average LAI by species. I then multiplied this by the species-specific dust deposition and the area covered by a given species obtained from the classifications. This resulted in the total amount of dust captured within the sample area for the given species:

$$PM = LAI * pm * A * 10$$

where PM is the total amount of dust (kg),
 LAI is the average LAI,
 pm is the species-specific dust deposition ($\mu\text{g}/\text{cm}^2$),
 A is the base area of the given species (km^2).

I have summed the dust amounts obtained for the four species to give an approximate estimate of the amount of dust currently bound by all the vegetation. This gave three different estimates based on the three classifications.

Scientific results

Thesis statement 1.

Based on the dust deposited on the leaves of common linden and common hackberry, I have found that in June, dust pollution was more prevalent in the *urban* area compared to the *rural* are. For September, I showed an increase in the average amount of dust deposited on leaf surfaces compared to June.

Common linden and common hackberry showed a different pattern of dust deposition in the study areas (*Figure 1*). I found that in June, the common hackberry in the urban area captured more of both dust fractions, while the common linden had high dust amounts both in the urban and industrial areas (*Table 1*).

In most of the cases studied, the average dust deposition on the leaf surface in September was higher than in June, which can be explained mainly by the accumulation capacity of the leaves. In September, on the other hand, the amount of certain fractions was balanced between the sample plots for both species. The amount of dust measured on the leaves of common linden showed a much larger

variation within each area, which made it difficult to compare the results. In most cases, the magnitude of dust deposition was similar to that of common hackberry, but in industrial areas, I usually detected higher amounts on linden leaves.

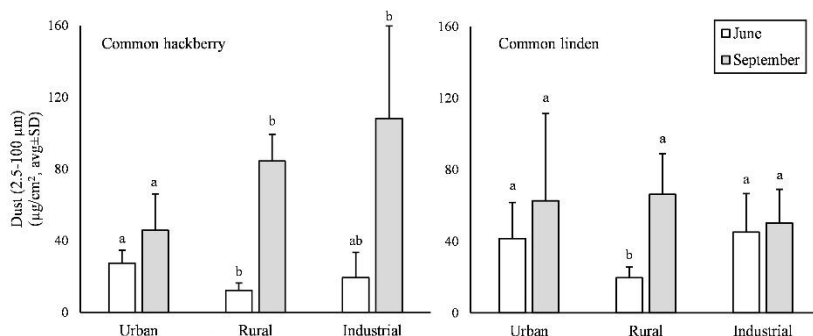


Figure 1. Total dust amount (2.5-100 µm) on tree leaves (different letters indicate significant ($p < 0.05$) differences for a given month).

Table 1. Summary of the differences between urban ("U"), rural ("R") and industrial ("I") study areas based on captured dust. The indicated areas had significantly the highest amount of the respective fraction on the leaves.

Dust	Common hackberry		Common linden	
	June	September	June	September
Coarse (6,5–100 µm)	U	R, I	U, I	-
Fine (2,5–6,5 µm)	U	-	U, I	U
Total (2,5–100 µm)	U	R, I	U, I	-

Thesis statement 2.

I have found that the leaves of common hackberry and London planetree are able to bind a greater amount of dust compared to common linden and Norway maple.

The deposition of the coarser dust (6.5–100 µm) was lowest in common linden and highest in London planetree, while the dust deposition in Norway maple and common hackberry did not differ

from the other species. The deposition of fine dust (2.5 to 6.5 μm) was lowest in common linden, whereas the deposition in the other species did not differ. In the whole range studied, the lowest amount of dust deposition was determined on leaves of common linden, while the highest amount was determined on leaves of common hackberry and London planetree (Figure 2). The total dust accumulation on Norway maple did not differ from the other species.

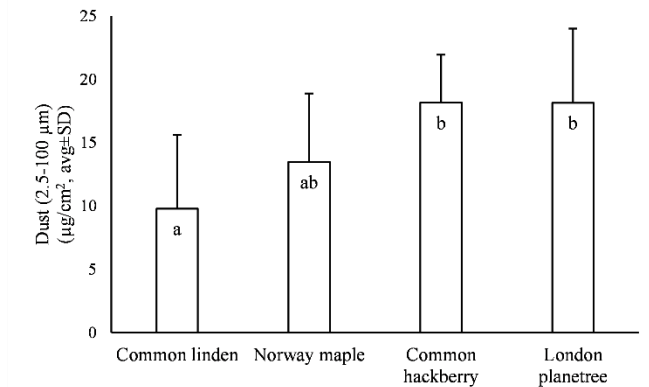


Figure 2. Total dust amount (2.5-100 μm) by tree species (different letters indicate significant ($p < 0.05$) differences for a given month).

Thesis statement 3.

I found that, based on APTI, the common linden and the common hackberry are sensitive species to air pollution in Debrecen and can be used as bioindicators.

For the majority of cases, there was no difference in APTI values of species between urban, rural and industrial areas. In the case of the common hackberry, I found an increase in the APTI for September compared to June. Furthermore, the APTI for common hackberry was significantly higher in both June and September compared to that of the common linden (*Figure 3*). Both species were classified in the sensitive category, although the range of APTI values for common hackberry in September overlapped slightly into the moderately tolerant category. Based on APTI, both species are considered suitable bioindicators, as they are expected to indicate the presence of air pollutants in the form of altered ascorbic acid, chlorophyll, water content and pH.

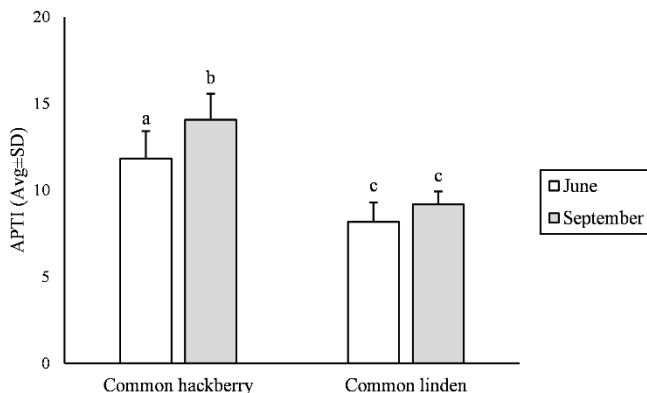


Figure 3. Average APTI of the tree species (different letters indicate significant ($p < 0.05$) differences).

Thesis statement 4.

I found that common linden, London planetree and common hackberry can be classified at city level with >75% accuracy based on WorldView-2 satellite imagery.

The ML classifier had the highest OA (81.27%), followed by SVM (74.91%) and RF (74.56%). For the ML classifier, common linden, London planetree and common hackberry were classified with >75% accuracy (in terms of producer's and user's accuracy) (Table 2). The highest producer's accuracy was obtained for London planetree and the highest user's accuracy for common hackberry using ML. With all three classifiers, the least successfully classified species was the Norway maple. When evaluating the classified image, the larger canopies were clearly classified in the correct class in the majority of cases, and errors in classification were mainly found in the smaller canopies. In all cases, common linden and common hackberry had the largest area shares based on the classifications.

Table 2. Error matrix of ML classification (PA = producer's accuracy, UA = user's accuracy, OA = overall accuracy; classes: 1 - Norway maple, 2 - common linden, 3 - London planetree, 4 - common hackberry).

Reference Class	1	2	3	4	Total.	UA
1	44	8	12	1	65	67,69
2	4	60	2	3	69	86,96
3	2	4	66	1	73	90,41
4	3	8	5	60	76	78,95
Total reference	53	80	85	65	283	
PA	83,02	75,00	77,65	92,31	OA	81,27

Thesis statement 5.**I found that the average amount of dust captured by urban trees in Debrecen is estimated to be 6.78 kg/ha.**

The LAI was estimated from the NDVI calculated from the WorldView-2 image data, and then the average LAI for each species was determined using the respective images from each classification. I observed no significant differences in the results of LAI between the classification algorithms. The mean LAI values for species (4.19-5.93) were within an acceptable range for deciduous tree species. Based on species-specific dust binding, classified records and LAI, I calculated the total amount of dust captured by trees in the area for each of the three classification methods (*Table 3*). Dust binding per unit area for each species was highest for London planetree, followed by common hackberry, Norway maple and common linden. The final result of captured dust based on the three methods ranged from 6.75 to 6.83 kg/ha (average 6.78 kg/ha) (*Table 4*). This result can be considered a realistic estimate of dust deposition on trees based on literature data and local conditions.

Table 3. Estimation of dust captured by species and total dust captured for each classification method (Species: 1 - Norway maple, 2 - common linden, 3 - London planetree, 4 - common hackberry).

Classifier	Species	Area (km²)	LAI	Dust on leaves (µg/cm²)	Dust deposition by species (kg)	Total dust deposition (kg)
ML	1	0,883	5,34	13,46	635	
	2	3,641	4,31	9,79	1534	
	3	0,638	5,89	18,14	681	
	4	2,743	5,57	18,15	2774	5624
SVM	1	0,887	5,66	13,46	675	
	2	3,649	4,16	9,79	1487	
	3	0,695	5,95	18,14	751	
	4	2,674	5,64	18,15	2738	5650
RF	1	0,849	5,73	13,46	656	
	2	3,597	4,11	9,79	1447	
	3	0,848	5,95	18,14	915	
	4	2,610	5,64	18,15	2673	5691
<i>Avg:</i>						5655

Table 4. Estimation of dust deposition per unit area by classification method.

Dust deposition on the vegetation area (kg/ha)	
ML	7,11
SVM	7,14
RF	7,19
<i>Atlag:</i>	7,15

References

- Kokubu, Y., Hara, S., Tani, A. (2020): Mapping Seasonal Tree Canopy Cover and Leaf Area Using WorldView-2/3 Satellite Imagery: A Megacity-Scale Case Study in Tokyo Urban Area. *Remote Sens.*, 12, 1505. doi:10.3390/rs12091505
- Rouse, J.W., Haas, R.H., Schell, J.A., Deering, D.W. (1974): Monitoring vegetation systems in the Great Plains with ERTS. In: S.C. Freden, E.P. Mercanti, M. Becker (eds.): *Third Earth Resources Technology Satellite-1 Symposium. Volume I: Technical Presentations*, NASA SP-351, NASA, Washington, D.C., pp. 309-317.
- Singh, S.K., Rao, D.N. (1983): Evaluation of plants for their tolerance to air pollution, in: *Proceedings Symposium on Air Pollution Control*, vol. 1. Indian Association for Air Pollution Control, New Delhi, India, 1, 218-224.



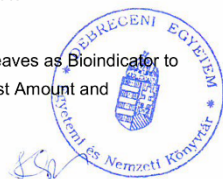
Registry number: DEENK/72/2022.PL
Subject: PhD Publication List

Candidate: Vanda Éva Molnár
Doctoral School: Doctoral School of Earth Sciences
MTMT ID: 10064438

List of publications related to the dissertation

Foreign language scientific articles in international journals (5)

1. Simon, E., **Molnár, V. É.**, Lajtos, D., Bibi, D., Tóthmérész, B., Szabó, S.: Usefulness of Tree Species as Urban Health Indicators.
Plants-Basel. 10 (12), 1-12, 2021. ISSN: 2223-7747.
DOI: <http://dx.doi.org/10.3390/plants10122797>
IF: 3.935 (2020)
2. **Molnár, V. É.**, Simon, E., Tóthmérész, B., Ninsawat, S., Szabó, S.: Air pollution induced vegetation stress: The Air Pollution Tolerance Index as a quick tool for city health evaluation.
Ecol. Indic. 113, 1-8, 2020. ISSN: 1470-160X.
DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.ecolind.2020.106234>
IF: 4.958
3. Simon, E., **Molnár, V. É.**, Tóthmérész, B., Szabó, S.: Ecological Assessment of Particulate Material (PM5 and PM10) in Urban Habitats.
Atmosphere. 11 (6), 1-11, 2020. EISSN: 2073-4433.
DOI: <http://dx.doi.org/10.3390/atmos11060559>
IF: 2.686
4. **Molnár, V. É.**, Simon, E., Szabó, S.: Species-level classification of urban trees from worldview-2 imagery in Debrecen, Hungary: an effective tool for planning a comprehensive green network to reduce dust pollution.
European Journal of Geography. 11 (2), 33-46, 2020. ISSN: 1792-1341.
DOI: <http://dx.doi.org/10.48088/10.48088/ejg.v.mol.11.1.33.46>
5. **Molnár, V. É.**, Tózsér, D., Szabó, S., Tóthmérész, B., Simon, E.: Use of Leaves as Bioindicator to Assess Air Pollution Based on Composite Proxy Measure (APTI), Dust Amount and Elemental Concentration of Metals.
Plants-Basel. 9 (12), 1-11, 2020. ISSN: 2223-7747.
DOI: <http://dx.doi.org/10.3390/plants9121743>
IF: 3.935





List of other publications

Hungarian scientific articles in Hungarian journals (1)

6. Simon, E., **Molnár, V. É.**, Tóthmérész, B.: Falevelek, mint a légszennyezés-becslés eszközei. *Ökotoxikol.* 3 (1), 9-16, 2021. EISSN: 2732-2556.

Foreign language scientific articles in international journals (2)

7. **Molnár, V. É.**, Simon, E., Ninsawat, S., Tóthmérész, B., Szabó, S.: Pollution Assessment Based on Element Concentration of Tree Leaves and Topsoil in Ayutthaya Province, Thailand. *Int. J. Environ. Res. Public Health.* 17 (4), 1-13, 2020. ISSN: 1661-7827.
DOI: <http://dx.doi.org/10.3390/ijerph17145165>
IF: 3.39
8. **Molnár, V. É.**, Tóthmérész, B., Szabó, S., Simon, E.: Urban tree leaves' chlorophyll-a content as a proxy of urbanization. *Air Qual. Atmos. Health.* 11 (6), 665-671, 2018. ISSN: 1873-9318.
DOI: <http://dx.doi.org/10.1007/s11869-018-0573-5>
IF: 2.297

Hungarian conference proceedings (1)

9. **Molnár, V. É.**, Simon, E., Szabó, S.: Fafajok osztályozása multispektrális felvételek alapján debreceni mintaterületen.
In: Az elmélet és a gyakorlat találkozása a térinformatikában X.: Theory meets practice in GIS. Szerk.: Molnár Vanda Éva, Debreceni Egyetemi Kiadó, Debrecen, 201-204, 2019. ISBN: 9789633180549

Foreign language conference proceedings (2)

10. **Molnár, V. É.**, Simon, E., Szabó, S.: Classification of tree species and estimation of Leaf Area Index based on satellite imagery.
In: Az elmélet és a gyakorlat találkozása a térinformatikában XII.: Theory meets practice in GIS. Szerk.: Molnár Vanda Éva, Debreceni Egyetemi Kiadó, Debrecen, 215-218, 2021. ISBN: 9789633189771
11. **Molnár, V. É.**, Simon, E., Szabó, S.: Species level classification using images from WorldView-2 and WorldView-3 satellites, in a study area in Debrecen.
In: Az elmélet és a gyakorlat találkozása a térinformatikában XII.: Theory meets practice in GIS. Szerk.: Molnár Vanda Éva, Debreceni Egyetemi Kiadó, Debrecen, 211-214, 2021. ISBN: 9789633189771





Hungarian abstracts (3)

12. **Molnár, V. É.**, Szabó, S., Tózsér, D., Tóthmérés, B., Simon, E.: Légszennyezettség-becslés falevek biokémiai és elemanalitikai paraméterein alapján.
Ökotoxikol. 2 (2), 18-19, 2020. EISSN: 2732-2556.
13. **Molnár, V. É.**, Tóthmérés, B., Szabó, S., Simon, E.: Fafajok pormegkötésének és légszennyezettségi tolerancia indexének meghatározása.
In: Abs. VIII. Ökotoxikológiai Konferencia / főszerk. Darvas Béla, Magyar Ökotoxikológiai Társaság, Budapest, 22-23, 2018. ISBN: 9789638945297
14. **Molnár, V. É.**, Szabó, S., Simon, E.: Fajmeghatározás távérzékelt adatokkal egy debreceni park példáján.
In: Az elmélet és a gyakorlat találkozása a térinformatikában IX.: Theory meets practice in GIS. Szerk.: Molnár Vanda Éva, Debreceni Egyetemi Kiadó, Debrecen, 241, 2018. ISBN: 9789633187234

Foreign language abstracts (1)

15. **Molnár, V. É.**, Simon, E., Szabó, L., Szabó, S.: Species level classification of urban trees from multispectral imagery.
In: Hidden Geographies : Collection of Abstracts, University of Ljubljana, Ljubljana, 13-14, 2019.

Total IF of journals (all publications): 21,201

Total IF of journals (publications related to the dissertation): 15,514

The Candidate's publication data submitted to the iDEa Tudóstér have been validated by DEENK on the basis of the Journal Citation Report (Impact Factor) database.

04 February, 2022

