

A SZÉLERÓZIO ÉRZÉKENYSÉG KLÍMAVÁLTOZÁSHOZ KÖTHETŐ VÁLTOZÁSÁNAK VIZSGÁLATA MAGYARORSZÁGON

Mezősi Gábor – Blanka Viktória – Ladányi Zsuzsanna – Bata Teodóra

1. Bevezetés

A szélerózió Európában megközelítőleg 42 millió hektárnyi mezőgazdasági művelés alatt álló területet veszélyeztet (EEA 1998). Nagy területeket érint a Mediterrán térségben (López et al., 1998, Moreno Brotons et al. 2009), Észak-Európa mérsékelt éghajlatú területein (Eppink – Spaan 1989, Barring et al. 2003), illetve a Kárpát-medencében is (Mucsi – Szatmári 1998, Lóki 2011). Az elmúlt évtizedekben a változó mezőgazdasági gyakorlat miatt (pl. parcellaméret növekedés, intenzív művelés) egyre jelentősebbé vált a szélerózió veszélyeztetettség (Riksen et al. 2003) és ez a jövőbeli előre jelzett klímaváltozás miatt tovább fokozódhat. Ezért egyre több kutatás fókuszál a problémára mind regionális és parcella szinten is (Gomes et al. 2003).

A szélerózió és az üledék felhalmozódás a Kárpát-medence művelt területen is a jelentős gazdasági károkat okozó természeti veszélyek közé tartozik. A természeti veszélyek együttesen (jég, tűz, tavaszi fagyok, aszály, belvíz, heves esőzések, szélerózió) megközelítőleg 300 millió EUR veszteséget okoztak az elmúlt évtizedben (Kemény et al. 2013, Gaál et al. 2014). A szélerózió okozta károk egyrésztől közvetlen károk (fizikai sérülés áprilisban leginkább zöldségeken és cukorrépán), melyek kb. 15-20.000 ha területet érintenek megközelítőleg 1500-3000 EUR/ha értékben (Kemény 2013). A közvetett hatások ennél sokkal jelentősebbek (termésveszteség, degradálódó talajszerkezet és csökkenő termékenység, termőterület-csökkenés), viszont számszerűsítésük nehezebb. A potenciális szélerózió-veszélyeztetettség térkép szerint Magyarország területének 26,5%-a közepesen és erősen szélerózió-veszélyeztetett (Lóczy et al. 2012). Az elmúlt évtizedekben tapasztalható csökkenés a tavaszi hónapok csapadékmennyiségében a szélerózió fokozódásához járul hozzá.

Mivel a szélerózió jelenleg is nagy területeken jelent problémát, és a klímaváltozásnak köszönhetően jelentősége a jövőben fokozódhat, fontos a szélerózió változásának vizsgálata a 21. században klímamodellek alapján, valamint, hogy hol várható hosszú távon a szélerózió veszély fokozódása (Jacob et al. 2013). A tervezés szempontjából fontos az érintett területek lehatárolása mellett a veszély kezelése is. Az aktív és passzív beavatkozások (pl. felszínborítás-változás, termelési szerkezet változás, mezővédő erdősávok, agrotechnikai változások) rövid és hosszú távon is eredményesek lehetnek (Pouliotte et al. 2009, Riksen – Graaff 2001), tehát nagyon fontos, hogy regionális léptékű vizsgálatokkal becsülni tudjuk a szélerózió veszélyeztetettség és érzékenység mértékét.

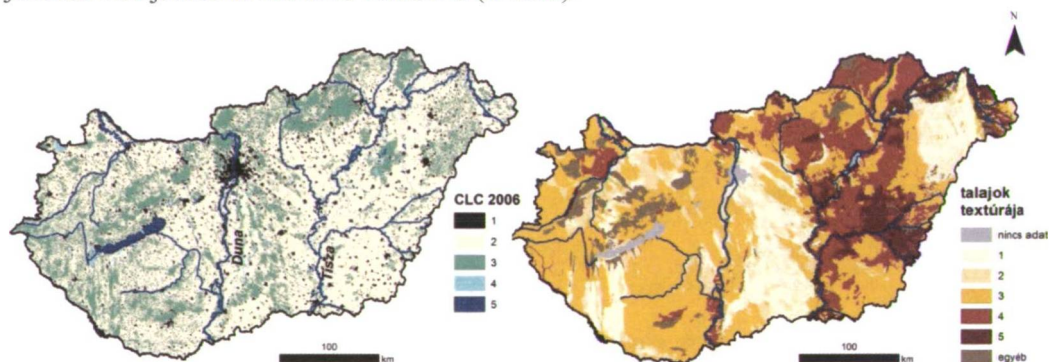
A jelen tanulmányban a szélerózió érzékenységének változását vizsgáltuk a klímaváltozás következtében. A kutatás főbb kérdései: (1) hogyan változik a szélerózió érzékenysége és annak térbeli eloszlása a jövőben Magyarország mezőgazdasági



művelés alatt álló területein?; (2) hogyan változik az érintett területek kiterjedése két jövőbeli időszakban (2021-2050, 2071-2100) az 1961-1990-es referencia időszakhoz képest két regionális klímamodell (REMO, ALADIN) alapján? Ezek alapján, ha a szélerózió veszélyeztetettségének változása azonosítható a mezőgazdasági területeken, aktív és passzív agro-ökonómiai beavatkozások válhatnak szükségessé.

2. Mintaterület

A vizsgált terület Magyarország teljes területe, ahol az éves átlag szélsébség 2–4 m/s, valamint a havi átlag szélsébség tavasszal (március és április) a legnagyobb (Péczely 1998). Szintén áprilisban a legnagyobb azon napok száma, ahol a maximális szélsébség 10 m/s feletti. Az 5 m/s erősségű szelek (melyek a szélerózió kialakításában már szerepet játszanak) fő iránya észak-nyugati (Lyles – Krauss 1971). A vizsgált területek felszínét főleg folyóvízi, tavi illetve szél által szállított üledék alkotja, melyeknek köszönhetően változatos talajtakaró alakult ki. A terület jelentős részét vályogos és agyagos üledék fedi, viszont jelentős kiterjedésben található homok is (1. ábra).



1. ábra. A főbb felszínborítási típusok (CORINE 2006) valamint a talajok textúrája (AGRO 1991) a mintaterületen

Jelmagyarázat: a) felszínborítás: 1: mesterséges felszín, 2: mezőgazdasági művelés alatt álló területek, 3: erdők és természet-közeli területek, 4: vizes élőhelyek, 5: víztestek; b) talaj textúra: 1: homok, 2: homokos vályog, 3: vályog, 4: agyagos vályog, 5: agyag

3. Adatok és módszerek

A szélerózióval szembeni érzékenység regionális léptékű elemzésénél a legfontosabb környezeti paraméterek a talajtulajdonságok, a vegetáció borítottság és a klíma paraméterek. A talaj és a vegetáció paraméterek számítása a Mezősi et al. (2013) által a regionális szélerózió érzékenység térkép készítésénél alkalmazott módszerek alapján történt. A Mezősi et al. (2013) alkalmazott módszer a talaj érzékenységét az Agrotopográfiai térkép fizikai talajféleség kategóriája alapján számított talaj erodálhatósági index (NAM 2002) alapján értékeli. A vegetációborítottság megállapítása NDVI értékek alapján történik (Huete et al. 2002) MODIS távérzékelte adatok alapján a legfontosabb tavaszi időszakra (március-április), hiszen ebben a periódusban a vegetációborításnak a talajok szélerózió elleni védelmében nagy szerepe van.

A referencia időszak (1961-1990) klímametéereinek kiszámításához a megfigyelt márciusi és áprilisi havi csapadékösszeg, havi átlag hőmérséklet és havi átlag szélesség adatokat használtuk fel (forrás: OMSZ). A klímametéerek várható jövőbeli változásainak értékeléséhez két regionális klímamodell (REMO és ALADIN) adatait alkalmaztuk, melyek térbeli felbontása 0,22° (kb. 25 km). Mindkét modell az A1B éghajlati forgatókönyvet alkalmazza, mely átlagos üvegházgáz növekedéssel számol (Nakicenovic – Swart 2000). Az előrejelzett klíma adatokat az OMSZ Numerikus Modellező és Éghajlat-dinamikai Osztálya állította elő. Ezen modell szimulációk napi hőmérséklet és csapadék, valamint havi szélesség változás adatokat állítanak elő két jövőbeli periódusra (2021-2050 és 2071-2100) a referenciaidőszakhoz képest (1961-1990). Ezekből az adatokból havi átlagokat számltunk és a változásokat értékeltük.

2.1. A klíma-faktor számítása

A szélerózió veszély változásának becsléséhez a klíma paraméterekeket a WEQ (Wind Erosion Equation) modellben alkalmazott klíma faktor (C faktor) (Lyles 1983, Klik 2004) segítségével vizsgáltuk a szélerózió-veszély jövőbeli változását a leginkább szélerózió veszélyes tavaszi időszakban, márciusban és áprilisban. Ezekben a hónapokban még alacsony a növényborítottság és az átlagos havi szélesség ebben az időszakban a legnagyobb (MET 2012).

A klíma faktor (C faktor) számítása:

$$C = 386 * u^3 / (PE)^2$$

ahol u: havi átlagos szélesség; PE: Thornthwaite csapadék hatékonyság index

$$PE = 3.16 * Pi / (1.8 Ti + 22) 10/9$$

ahol Pi: havi csapadék (mm); Ti: havi átlaghőmérséklet

A vizsgált időszakokra (1961-1990, 2021-2050 és 2071-2100) a klíma faktort átlagos értékeit számítottuk ki. Az 1961-1990-es időszakra mért meteorológiai adatokat használtunk, míg a két jövőbeli időszakra a C faktor becslése a REMO és ALADIN regionális klímamodellek adatainak segítségével történt.

2.2. Az érzékenységi-térkép számítása

A szélerózió érzékenység számításához fontos meghatározni az alapvető kapcsolatot a szélerózió mértéke és a vonatkozó hatótényezők között (talaj fizikai félesége, vegetáció borítás és klíma faktor). Az érzékenységet minden hatótényezőre kiszámoltuk és egy összesített érzékenység-térképet állítottunk elő. A tényezők érzékenységét fuzzy elemzés segítségével számoltuk (Klir – Yuan 1995, Shi et al. 2010, Borelli et al. 2014). Az érzékenység kiszámításához IDRISI szoftvert használtuk, mely a tényezők közötti kapcsolatok fuzzy tagsági függvényekkel írja le. A fuzzy tagsági függvény lehet lineáris, exponenciális, logaritmikus vagy polinomiális (Eastman 2006).



A talajtulajdonságok esetében a talaj növekvő tapasztalati t/ha/év eróziós értéke azt jelenti, hogy az érzékenység is növekszik (Li et al. 2005, Skidmore 1988). Ezért az alkalmazott fuzzy tagsági függvény, mely a talaj fizikai félesége és a szélerózió mértéke közötti kapcsolatot írja le, exponenciális és monoton növekvő. A vegetáció esetében a növekvő vegetáció borítással csökken a szélerózió érzékenység. Az alkalmazott függvény exponenciális és monoton csökkenő volt a lineáris kapcsolat helyett (Armbrust – Bilbro 1997). A C faktor és a szélerózió mértékek közötti kapcsolat lineáris, tehát az alkalmazott fuzzy tagsági függvény is lineáris és monoton növekvő (Woodruff – Armbrust 1968, Skidmore 1986; Panebianco – Buschiazzo 2008). Ez azt jelenti, hogy a C faktor növekedése a szélerózió érzékenység növekedését eredményezi a területen.

Az összesített érzékenységet az egyes tényezők érzékenységi térképeinek átlagolásával számoltuk, elkerülve a súlyozásból adódó problémákat. Mezösi et al. (2013) módszerét használva, a szélerózió érzékenységet fuzzy analízissel számoltuk, ahol az értékek 0-1 tartományba esnek; 0 nem érzékeny, 1 pedig a maximális érzékenységet jelenti. Például 0,25 azt jelenti, hogy az érzékenység 25%-os, így a terület inkább nem érzékeny, mint érzékeny, elkerülve a skálázást vagy a kategorizálást.

A részletes összesített érzékenységi térképen az érzékenységet kategorizáltuk nagy, közepes és kis érzékenységre, hogy összehasonlíthatóvá tegyük a területi kitettséget. Mivel nincs jól definiált határérték a kategóriák között, nehéz meghatározni az egyes kategóriák tartományát. Jelen tanulmányban a következő szélerózió érzékenység határértékeket használtuk: nagy érzékenység 0,35 felett, közepes érzékenység 0,2 és 0,35 között, valamint kis érzékenység 0,2 alatt. Ezen határértékek megválasztása habár önkényes volt, azok a tapasztalt szélerózió értékekhez, a terpi mérési eredményekhez, továbbá a megfigyelt gazdasági károk értékeihez igazodnak (Mezösi et al. 2013).

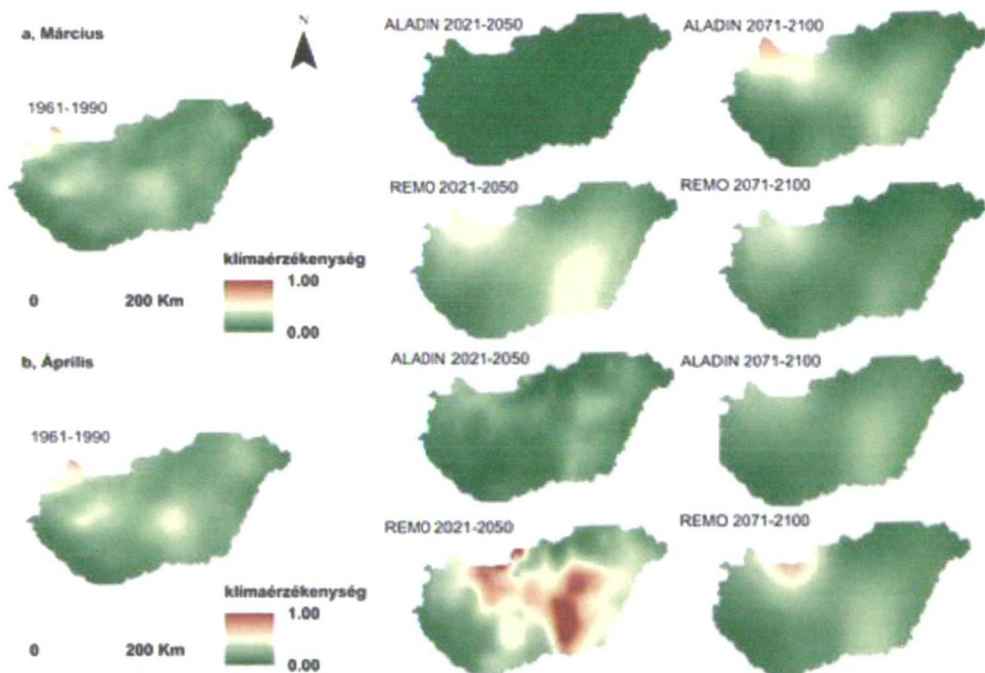
Az időbeli elemzéshez elsőként a referencia időszak (1961-1990) érzékenységi térképét készítettük el, a megfigyelt meteorológiai adatok alapján. Ugyanezt a módszert használtuk a jövőbeli szélerózió érzékenység becsléséhez is, és a jövőbeli klíma faktor értékeket a regionális klíma modell adatok segítségével becsültük. A szélerózió jövőbeli változásának elemzése során a talaj és vegetációs tényezőt rögzítettük, mivel a talaj ilyen időtávlatban nem változik, és a vegetáció változásai előre nem jelezhetőek. Így, a két jövőbeli periódus modellezése során a változások befolyásoló tényezője a klíma tényező. Hogy elemezzük a jövőbeli változást, a REMO és ALADIN klímamodellek szimulációjának eredményeit használtuk a klíma faktor értékeiként, míg a talaj és vegetációs tényezőket nem változtattuk.

A fuzzy elemzés eredményei alapján lehatároltuk mindazon szélerózió érzékenység szempontjából kiemelt jelentőségű (hot spot) területeket március és április hónapokra is, ahol mind a talaj, vegetáció, jelen és jövőbeli klímaérzékenység is nagyobb, mint 0,35. Ezen eredményül kapott területek a legkitettebbek a vizsgált természeti veszélynek jelenleg és a jövőben is.

3. Eredmények

3.1. Klíma érzékenység a regionális klímamodel szimulációk adatai alapján

Az 1961-1990-es évek adatai alapján a legjelentősebb klímaérzékenység az ország északnyugati és a középső részén tapasztalható márciusban (2. ábra). Áprilisban kissé magasabb értékek tapasztalhatóak az egész mintaterületen, mint márciusban. Az ALADIN model becslései alapján a 2021-2050-es periódusban a klíma faktor értéke csökken a terület legnagyobb részén mind márciusban és áprilisban is, mely a klímaérzékenység csökkenését is jelzi, valamint a csökkenés kisebb mértékű áprilisban. A REMO model ellentétes eredményeket mutat, mivel a mintaterület északnyugati és délkeleti részén növekedést jelez, valamint a növekedés áprilisban jelentősebb mértékű. Az eredményekben jelentkező jelentős különbséget többnyire a modellek különböző csapadék-előrejelzései okozzák márciusban és áprilisban is.



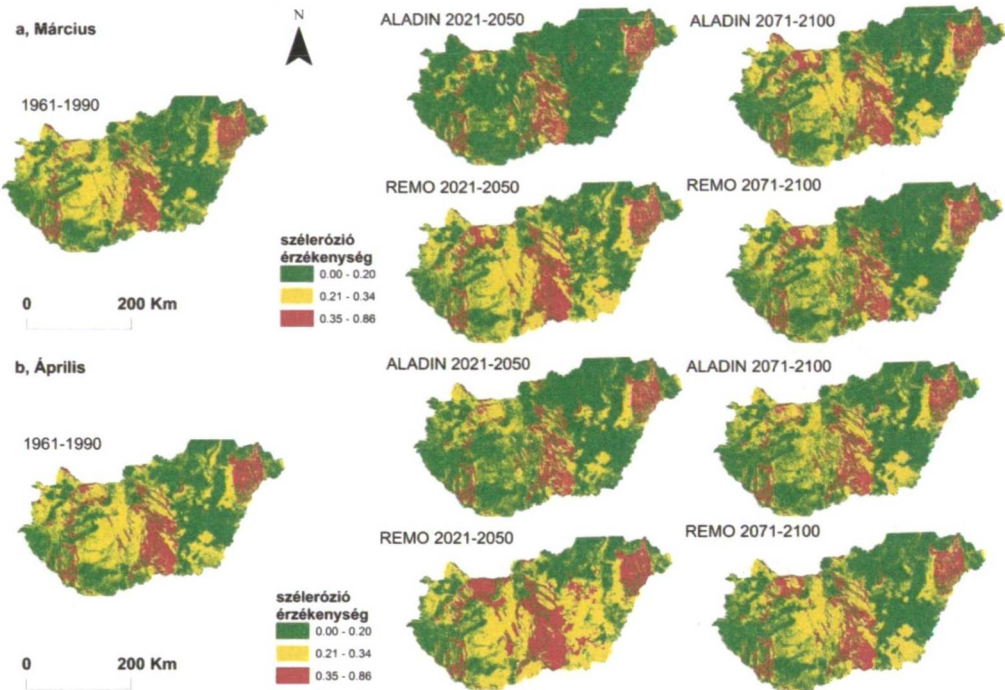
2. ábra. A klímaérzékenység (C-faktor) értékei márciusban és áprilisban 1961-1990, 2021-2050 és 2071-2100 közötti időszakban, az ALADIN és a REMO regionális klíma modell szimulációk adatai alapján

2071-2100-as időszakban a klíma faktor értékének növekedése várható a referencia időszakhoz (1961-1990) képest a terület legnagyobb részén. Jelentősebb növekedést jeleznek a terület északnyugati és délkeleti részére mind márciusban és áprilisban is. Ha összehasonlítjuk ezen időszak eredményeit a megelőző 2021-2050 közötti előrejelzésekkel,

a klíma faktor értékei a REMO model alapján csökkenni fognak márciusban és áprilisban is, míg az ALADIN a klíma faktor növekedését jelzi mindkét hónapban. A klíma-érzékenység térbeli mintázata nem mutat változásokat sem rövidebb, sem hosszabb időtávlatban.

3.2. Szélerózió-érzékenység elemzések

A mezőgazdasági területek szélerózió érzékenységét három időkeresztmetszetben mutatjuk be (3. ábra). Az 1961-1990-es periódusban máriusban és áprilisban a nagy érzékenységet mutató területek térbeli mintázatában jól felismerhető a talaj fizikai féleség osztályok mintázata (lásd 1. ábra), mivel ennek a tényezőnek van a legnagyobb érzékenység-diverzitása a területen. A legnagyobb érzékenységet mutató területek döntően homok borította területek. A márciusi és áprilisi értékek között csak nagyon kis különbség azonosítható, főként a közepes érzékenységű területek kiterjedésében.



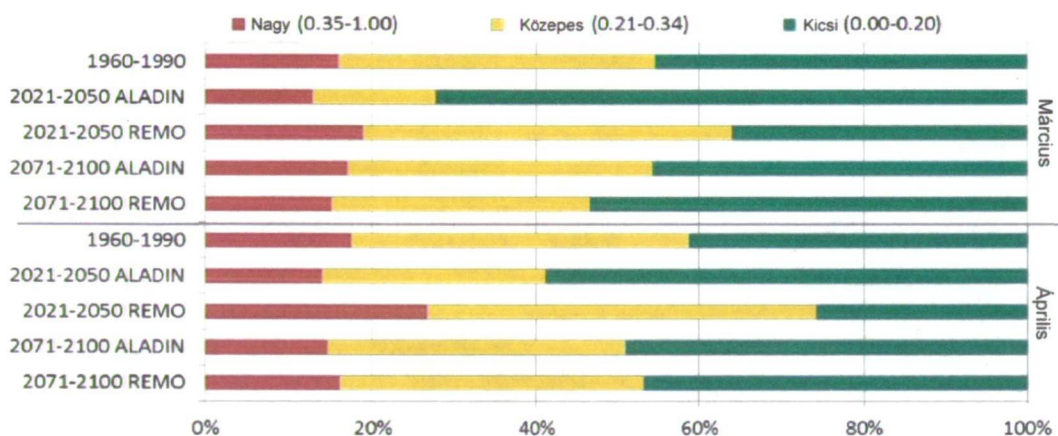
3. ábra. Mezőgazdasági művelés alatt álló területek szélerózió érzékenysége márciusban és áprilisban 1961-1990, 2021-2050 és 2071-2100 közötti időszakban, az ALADIN és a REMO regionális klíma modell szimulációk adatai alapján

2021-2050 között a REMO és ALADIN különböző tendenciákat mutat. Az ALADIN szerint a nagy közepes érzékenységű területek kiterjedésében csökkenő tendencia várható márciusban, különösen a mintaterület nyugati részén. Hasonló tendenciák várhatóak áprilisban is, de a változás mértéke kisebb. A REMO nem jelez jelentős változásokat a terület nyugati részén, viszont a dél-keleti területeken inkább növekvő tendenciát mutat. A REMO a szélerózió érzékenység erős növekedését jelzi előre

mindkét hónapban és az érintett területek térbeli kiterjedése is nő. Áprilisban az északi területek kivételével az egész országban közepes és nagy szélerozió-érzékenység várható 2021-2050 között a REMO adatai alapján.

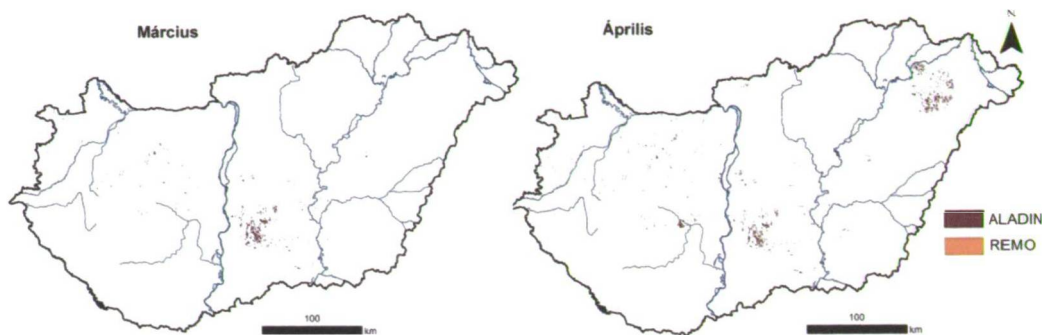
2071-2100 között az ALADIN a mintaterület délkeleti részére vetít elő növekvő szélerozió érzékenységet a megelőző vizsgált periódushoz képest márciusban. A REMO a közepes szélerozió-érzékenységű területek csökkenő kiterjedését prognosztizálja mind a két hónapra, főként a mintaterület nyugati részén, melynek mértéke nem jelentős és sokkal inkább fragmentált mintázatot mutat a megelőző periódushoz képest. A két jövőbeli időszak között kimutatott csökkenő tendencia ellenére a nagy és közepes érzékenységű területek aránya nagyobb, mint a referencia periódusban az ország középső részén.

A mezőgazdasági művelés alatt álló területek kiterjedésének érzékenységi kategóriáinként való összegzésével látható, hogy 2021-2050-re a REMO és az ALADIN model különböző tendenciákat vetít előre a nagy és közepesen érzékeny területek változásában. A REMO növekedést, míg az ALADIN inkább csökkenést jelez előre mindkét kategóriában (4. ábra). 2071-2100-ra mindkét model kis mértékű változást mutat a referenciaidőszakhoz képest márciusra és áprilisa is, habár a növekedés mértéke a két hónapban és a két model szerint különbözik.



4. ábra. A szélerozió érzékenységi kategóriák kiterjedése (% a mezőgazdasági területek kiterjedéséhez viszonyítva) 1961-1990, 2021-2050 és 2071-2100 közötti időszakban, az ALADIN és a REMO regionális klíma modell szimulációk adatai alapján

A szélerozió érzékenység szempontjából kiemelt jelentőségű (hot spot) területeket szemlélteti az 5. ábra, mely területek a leginkább kitettek a vizsgált természeti veszélynek jelenleg és a jövőben is. Márciusban 445 km² terület a Duna-Tisza köze központi részén, míg áprilisban az előzők mellett még a Nyírség, összesen 975 km² terület mutat nagy érzékenységet. A hot-spot területek mintázata és kiterjedése a két klímamodell eredményei alapján nagyon hasonló.



5. ábra. A szélérózió érzékenység szempontjából kiemelt jelentőségű (hot spot) területek márciusban és áprilisban az ALADIN és a REMO regionális klíma modell szimulációk adatai alapján

4. Összegzés

A vizsgálatok alapján megállapítható, hogy a 21. század során a klímaváltozás következtében a területek szélérózió érzékenysége csak kis mértékben változik, és az alkalmazott modellek (ALADIN és REMO) eredményei eltérő képet mutatnak a két vizsgált időszakra (2021-2050 és 2071-2100). Különösen az első időszakra, amikor nem csupán a változások mértékében, hanem annak irányában is eltérő előrejelzést ad a két modell. Az eltérések ellenére azonban azonosítható a változások néhány általános jellemzője, melyeket az alkalmazott modellek hasonlóan jeleznek, s amelyek a regionális területi tervezéshez szolgáltathatnak értékes információkat.

A legszembevetőbb megállapítás, hogy a vizsgált időszakokban regionális léptékben a szélérózió érzékenység térbeli mintázata nem módosul jelentősen. A térbeli elemzés alapján az ország nyugati részén nagyobb a változékonyság és a tendenciák is bizonytalanabbak, mint a keleti országrészben. A közepes és nagy érzékenységű területek kiterjedése a referencia időszakhoz viszonyítva csupán kis mértékben változik a 2071-2100 időszakra.

Az eredmények alapján csupán kismértékű változások várhatóak, azonban szélérózió veszélyeztetettség akár jelentősebbé is válhat a becslétnél a környezeti tényezők egymásra hatása miatt. Ugyanis egy aszályos időszakban, a nyári periódusban a vízhiány miatt a növényzet megritkul így megnő a csupasz felszínek aránya lehetővé téve a defláció felerősödését. A talajvízszint süllyedése is tovább súlyosbíthatja a szélérózió veszélyeztetettségét.

A szélérózió veszélyeztetettség értékelését regionális léptékben a számítási módszerek hiánya nehezíti (Jaedicke et al. 2008), amit a vizsgált területen az egyes tényezők elemzéséhez szükséges térképek hiánya is nehezít. A jövőbeli becslések eredményeinek bizonytalanságát az előző problémák mellett további tényezők növelik. Egyrészt a regionális klímamodellek előrejelzésének bizonytalansága (IPCC 2007, Bartholy et al. 2008) másrészt a környezeti paraméterek (pl. felszínborítás, növényzet, talajvízszint) jövőbeli változásainak előrejelzése is problémás. A vázolt bizonytalanságokat is figyelembe véve egyértelmű tendenciák nem rajzolhatók ki.

A bemutatott bizonytalanságok ellenére az alkalmazott módszerek alkalmasak a szélérózió érzékenységi regionális léptékű elemzésére és a kiemelten érzékeny területek azonosítására. Fontos feladat a szélérózió érzékenységi változási tendenciának helyi és időbeli pontosítása, amely lehetővé teszi az aktív és passzív védekezés alkalmazását (azaz hol, mikor és mit célszerű használni) (Blaskó et al. 1995, Lyon – Smith 2010).

Irodalom

- AGRO (1991): Agrotopographical Database. <http://maps.rissac.hu/agrotopo>
- Armbrust D V, Bilbro J D (1997): Relating Plant Canopy Characteristics to Soil Transport Capacity by Wind. *Agronomy Journal* 89(2), 157-162.
- Bartholy J., Pongrácz R., Gelybó G., Szabó P. (2008): Analysis of expected climate change in the Carpathian Basin using the PRUDENCE results. - *Időjárás Quarterly Journal of the Hungarian Meteorological Service* 112: 249-264
- Bärring L., Jönsson P., Mattsson J.O., Åhman R. (2003): Wind erosion on arable land in Scania, Sweden and the relation to the wind climate: a review. *Catena* 52, 173-190.
- Blaskó L., Karuczka A. Nyiri L., Zsembeli J.(1995): Kötött talajok széléróziós érzékenységének vizsgálata. - *Agrokémia és Talajtan.* 44. 497-503
- Borrelli P., Panagos P., Ballabio C., Lugato E., Weynants M., Montanarella, L. (2014): Towards a pan-European assessment of land susceptibility to wind erosion, *Land Degradation & Development* DOI: 10.1002/ldr.2318
- CORINE (2006): CORINE land cover <http://www.eea.europa.eu/publications/COR0-part2>
- Eastman J.R. (2006): IDRISI Andes tutorial. Worcester, MA, Clark University.
- Eppink L.A.A.J., Spaan W.P. (1989): Agricultural wind erosion control measures in the Netherlands. *Soil Technol. Ser. 1*, 1-13.
- European Environment Agency (1998): *Europe's Environment: the Second Assessment*. Elsevier, United Kingdom, (293 pp.).
- Gaál M, Quiroga S, Fernandez-Haddad Z (2014): Potential impacts of climate change on agricultural landuse suitability of the Hungarian counties. *Regional Environmental Change* 14:597-610.
- Gomes L., Arrue J. L., Lopez M. V., Sterk G., Richard D., Gracia R., Sabre M., Gaudichet A., Frangi J. P. (2003): Wind erosion in a semiarid agricultural area of Spain: the WEL- SONS project, *Catena*, 52, 235-256.
- Huete A., Didan K., Miura T., Rodriguez E.P., Gao X., Ferreira L.G. (2002): Overview of the radiometric and biophysical performance of the MODIS vegetation indices. *Remote Sensing of Environment*. 83: 195-213.
- IPCC (2007): *Climate Change. The Physical Science Basis. Working Group I. Contribution to the Fourth Assessment Report of the IPCC*. Ed. by S. Solomon, D. Qin, M. Manning, Z. Chen, M. Marquis, K.B. Averyt, M. Tignor, H.L. Miller. Cambridge University Press, New York, NY. 996p.
- Jacob D, Petersen J, Eggert B, Alias A, Christensen OB et al. (2013): EURO-CORDEX: new high-resolution climate change projections for European impact research. *Regional Environmental Change* 14:563-578.
- Jaedicke C., Solheim A., Blikra L. H., Stalsberg K., Sorteberg A., Aaheim A., Kronholm K., Vikhamar-Schuler D., Isaksen K., Sletten K., Kristensen K., Barstad I., Melchiorre C., Høydal Ø. A., Mestl H. (2008): Spatial and temporal variations of Norwegian geohazards in a changing climate, the GeoExtreme Project, *Nat. Hazards Earth Syst. Sci.*, 8, 893-904.
- Kemény G., Varga T., Fogarasi J., Nemes A. (2013): The effects of weather risks on micro-regional agricultural insurance premiums in Hungary. *Studies in Agricultural Economics* 115 8-15.

- Klik A. (2004): Wind Erosion Assessment in Austria using Wind Erosion Equation and GIS. In: Francaviglia, R. (ed.) *Agricultural Impacts on Soil Erosion and Soil Biodiversity: Developing Indicators for Policy Analysis*, Proceedings from an OECD Expert Meeting, Rome, 145–154.
- Klir GJ, Yuan B. (1995): *Fuzzy sets and fuzzy logic*. Prentice Hall: New Jersey.
- Li F. R., Kang L. F., Zhang H., Zhao L.-Y., Shirato Y., Taniyama I. (2005): Changes in intensity of wind erosion at different stages of degradation development in grasslands of Inner Mongolia, China. - *J. Arid Environ.* 62: 567–585.
- Lyles L. (1983): Erosive wind energy distributions and climatic factors for the West. - *J. Soil Water Conserv.* 38 (2): 106–109.
- Lyles L., Krauss R. K. (1971): Threshold velocities and initial particle motion as influenced by air turbulence. Paper No. 70-740, presented at winter meeting ASAE, December 8-11, 1970.
- Lyon D.J., Smith J.A. (2010): *Wind Erosion and Its Control*. <http://www.ianrpubs.unl.edu/epublic/live/g1537/build/#target>
- Lóczy D., Kertész Á., Lóki J., Kiss T., Rózsa P., Sipos G., Sütő L., Szabó J., Veress M. (2012): Recent landform evolution in Hungary. In: Lóczy, D., Stankoviansky M., Kotarba A. (ed.) *Recent Landform Evolution*. Springer, New York
- Lóki J. (2011): Research of the land forming activity of wind and protection against wind erosion in Hungary. *Riscuri Si Catastrofe* 10:1–13.
- Lopez M.V., Sabre M., Gracia R., Arrue J.L., Gomes L. (1998): Tillage effects on soil surface conditions and dust emission by wind erosion in semiarid Aragon (NE Spain). *Soil Tillage Res.* 45, 91–105.
- MET (2012): http://www.met.hu/eghajlat/magyarorszag_eghajlata/altalanos_eghajlati_jellemzes/szel/
- Mezősi G., Blanka V., Bata T., Kovács F., Meyer B. (2013): Estimation of regional differences in wind erosion sensitivity in Hungary. *Nat. Hazards Earth Syst. Sci. Discuss.*, 1, 4713-4750.
- Moreno Brotons, J., Romero Díaz, A., Alonso Sarria, F., Belmonte Serrato F. (2009): Wind erosion on mining waste in southeast Spain. *Land Degrad. Dev.* 21, 196–209.
- Mucsi L., Szatmári J. (1998): Landscape changes of a blown sand surface on the Great-Hungarian Plain in: A. Richling; J. Lechnio; E. Malinowska-Milos (szerk.) *IALE Conference on Landscape Transformation in Europe: practical and theoretical aspects*. Warsaw, pp. 215-222.
- NAM (2002): *USDA National Agronomy Manual*. <http://directives.sc.egov.usda.gov/OpenNonWebContent.aspx?content=17894.wba> (last access: 28. July 2014).
- Nakicenovic N., Swart, R., (ed.) (2000): *Emissions Scenarios. A Special Report of IPCC Working Group III*. Cambridge University Press, Cambridge, UK.
- Panebianco J.E., Buschiazzo D.E. (2008): Erosion predictions with the Wind Erosion Equation (WEQ) using different climatic factors. - *Land degradation and development* 19 (1): 36-44.
- Péczely Gy. (1998): *Climatology*. Nemzeti Tankönyvkiadó, Budapest.
- Pouliotte J, Smit B, Westerhoff (2009): Adaptation and development: livelihoods and climate change in Subarnabad Bangladesh. *Clim Chang Dev* 1:31–46
- Riksen M., Brouwer F., de Graaff J. (2003): Soil conservation policy measures to control wind erosion in northwestern Europe. *Catena* 52, 309–326
- Riksen MJPM, De Graaff J. (2001): On-site and off-site effects of wind erosion on European light soils. *Land Degradation & Development* 12: 1–11. DOI:10.1002/ldr.423.
- Skidmore E.L. (1986): Wind Erosion Climatic Erosivity. *Climate Change* 9: 195-208.
- Shi H., Gao Q, Qi Y, Liu J., Hu Y. (2010): Wind erosion hazard assessment of the Mongolian Plateau using FCM and GIS techniques. *Environ Earth Sci* (2010) 61:689–697.
- Woodruff N.P., Armbrust D.V. (1968): A monthly climatic factor for the wind erosion equation. *Journal of Soil and Water Conservation* 23. 3 May-June, 1968, Reprinted from the *Journal of Soil and Water Conservation* March-April 1983. Volume 38. Number 2.