

EÖTVÖS LORÁND TUDOMÁNYEGYETEM
TERMÉSZETTUDOMÁNYI KAR

Talajerózió és üledékfelhalmozódás térképezése távérzékelési adatok alapján

SZAKDOLGOZAT
FÖLDTUDOMÁNYI ALAPSZAK
TÉRKÉPÉSZ ÉS GEOINFORMATIKUS SZAKIRÁNY

Készítette:
Takáts Tünde

Témavezető:
Dr. Albert Gáspár
adjunktus
ELTE Térképtudományi és Geoinformatikai Tanszék



Budapest, 2018

Tartalomjegyzék

1. Bevezetés	3
2. A mintaterületről.....	4
3. Talajerózió.....	7
4. Alkalmazott módszerek	9
4.1. Egyetemes Talajveszteségi Egyenlet (USLE)	10
4.2. Alapanyagok.....	10
4.2.1. Shuttle Radar Topography Mission (SRTM)	10
4.2.2. Landsat 7	12
4.2.3. DOSoReMi.....	14
4.3. Az USLE egyenlet változóinak előállítása	15
4.3.1. R faktor.....	16
4.3.2. K faktor	18
4.3.3. LS faktor.....	23
4.3.4. C faktor.....	28
4.3.5. P faktor	31
5. Eredmények	31
6. Eredmények értékelése	35
7. Összegzés.....	35
Melléklet.....	39
Köszönetnyilvánítás.....	40
Nyilatkozat.....	41

1. Bevezetés

Szakdolgozatom célja, hogy a vizsgálatra kiválasztott területről egy részletes térképet készítsék a talajerózió mértékéről úgy, hogy a számításokhoz távérzékeléssel gyűjtött adatokat használjak fel. A vizsgálat segítségével következtetni tudunk a területen egy adott időszakban végbemenő talajpusztulás illetve üledékképződés mértékére; ez mind geológiai, mind társadalmi szempontból fontos számunkra.

A kiválasztott terület a Gerecse teljes területe, amelyre azért esett a választás, mert itt napjainkban is aktív felszínfejlődés zajlik, amelyet többféle megközelítéssel vizsgáltak (pl. Schweitzer, 1989; Albert, 2013; Kis & Balogh, 2013; Ruszkiczay-Rüdiger et al., 2016; Gerzsenyi & Albert, 2017). Ilyen vizsgálatokhoz a dolgozat eredményeként készülő térképet is fel lehet használni a jövőben. Az általam alkalmazott talajerózió vizsgálat egy komplex több változós módszer, amihez az USLE (Universal Soil Loss Equation) egyenletet használtam fel. Ez az egyenlet több paraméterből áll, amiket domborzatmodell, műhold felvétel és talajtérképek segítségével állítottam elő.

2. A mintaterületről

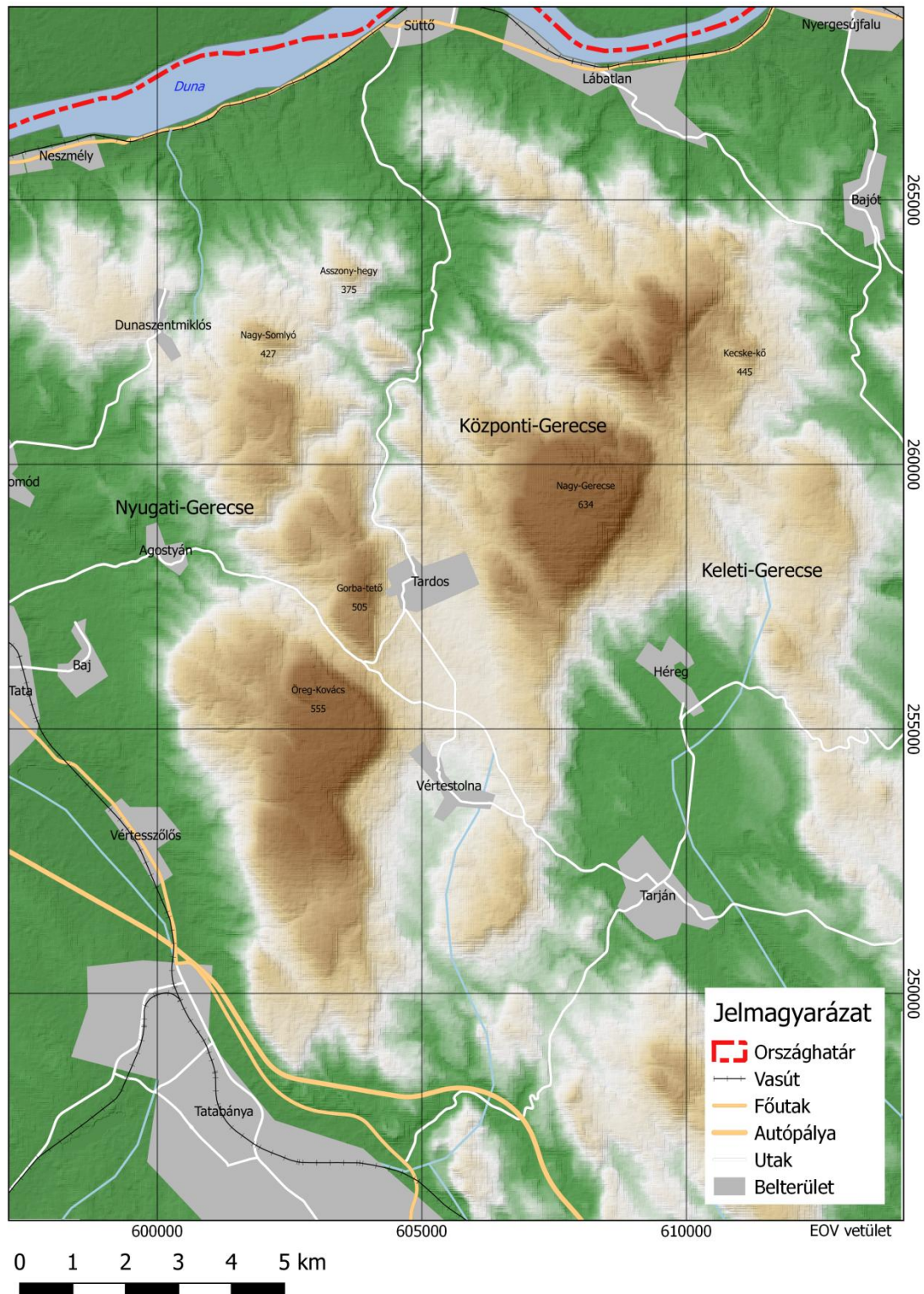
A kiválasztott mintaterület a Gerecse, mely a Dunántúli-középhegység része, azon belül is a Dunazug- hegység kistája (1. ábra). A Gerecse az alacsony középhegységek közé sorolható és kb. 850 km²-en terül el. Átlagos magassága 400 m. A terület legmagasabb pontja a Nagy-Gerecse, ami 434 m magas. A hegység keleti szomszédságában lévő Pilistől a Dorogi-medence, a Budai-hegységtől a Zsámbéki-medence, a Vértestől pedig a Tatai-árok választja el. Nyugati szomszédságában a Kis-Alföld peremvidéke található, míg északon a Duna határolja.

A geológiai áttekintés alapjául Juhász Ágoston leírását használom. (Juhász, 1997) A területet az észak-északnyugat–dél-délkeleti törések valamint a többé-kevésbé kihantolt és fedett mezozoikum során kialakult sasbércek sorozata jellemzi. A Dunántúli-középhegység más tagjaihoz képest itt a törések, a sasbércek, a hegyközi- medencék és az eróziós völgyek is észak-déli irányúak. A Gerecsét felépítő legidősebb kőzet a triász dolomit és a Dachsteni mészkő, a változatos fejlődésű jura és kréta mészkőformációk, valamint a kréta durvatörmelékes összletek. Ezekre a rétegekre a középső-eocén során agyagos, márgás, helyenként széntelepes tengeri üledékek telepedtek rá. A szerkezeti árkokba az oligocén során homok, márga és kavics, a peremekre pannóniai deltakavics, agyag, homok és édesvízi mészkő rakódott le. A negyedidőszak során édesvízi mészkő, lösz, lejtőüledékek, folyóvízi homok és kavics rakódott le a felszínre. Geomorfológiai viszonyok alapján három kis tájra osztható fel: Nyugati-, Központi- és Keleti-Gerecse.

A Nyugati-Gerecse eltérő magasságú, jól töredezett sasbércek sorozata, oldalukban forrásbarlangok jöttek létre. Legmagasabb fennsíkjai 400 m-nél magasabbak (Öreg-Kovács, Gorba-tető). A többnyire laza negyedidőszaki üledékekből felépült felszínt patak völgyek szabdalják fel. Ezeken a tagolt térszíneken található szurdokvölgyek, deráziós völgyrendszerek, deráziós tanúhegyek, csuszamlások, suvadások valamint gyorsan változó eróziós árkok is.

A Központi-Gerecsében találhatóak a legmagasabb térszínek (Nagy-Gerecse). Felszíne nagyon változatos, megtalálhatók kiemelt fennsíkok, alacsonyabb sasbércek, hegyközi medencék, abráziós teraszok, teraszos völgyek, lösz- és lejtőüledék-takarós medencedombságok. A magasabb sasbércek meredek fennsíkperemekkel és karsztos lejtőkkel ereszkednek az alacsonyabbak felé. A mészkőből épült hegység részekén megtalálhatóak a karsztos formák: töbrök, karrmezők, forrásbarlangok.

A Keleti-Gerecse észak-déli csapásokkal tagolt sasbércekből áll. Az itt található árkos süllyedékeket harmadidőszaki üledékek, eocén és oligocén széntelepek fedik. A legalacsonyabb pontja a Kis-Gete. Ezen a térszínen is megtalálhatóak eróziós-deráziós medencedombságok, eróziós völgyek és forrásbarlangok.



1. ábra Áttekintő térkép a Gerecse területéről.

Magyarország négy nagy éghajlati körzetre osztható fel, ebből kettőnek a határán helyezkedik el a Gerecse. Ez a két körzet a Kisalföld és a Dunántúli-dombság, ezen belül a Balatonról északra lévő szektor. Mind a két körzetre igaz, hogy érvényesül az óceáni hatás, így nagy a relatív páratartalom és a felhős órák száma nagyobb itt, mint az ország többi területén. A Kisalföldi körzetre jellemző az évi 550–650 mm csapadék. Kiegyenlítettebb éghajlat jellemzi, mint az Alföldet. Ennek következménye, hogy ritkább a késő tavaszi, kora őszi fagy. Az ország egyik legszelesebb vidéke. Az uralkodó szélirány ÉNY-i. A Dunántúli-dombság körzetének van a legkiegyenlítettebb éghajlata. Kevésbé zord a tél, és kevésbé meleg a nyár. Az évi csapadék mennyiség 600–800 mm. Télen sok hó esik és jellemzőek a hóátfúvások (Bartholy & Weidinger, 1997).

A Gerecse területén változatos növényzet található. A területen járva megfigyelhetjük az övezetességet a növényborítottságban. 300–400 m tengerszint feletti magasságban, a melegebb kitettségű hegyoldalakon a cseres-kocsánytalan tölgyesek a legjellemzőbbek. A 300–500 m tengerszint feletti magasságban a gyertyános kocsánytalan tölgyesek találhatóak meg, valamint az 500 m felett, kis részarányban, középhegységi bükkösök csoportját találhatjuk meg. A hegytetőkön karsztbokor-erdőket (pl.: sajmeggyes karsztbokor erdők, molyhos-cseres tölgyesek) találhatunk. A területen megtalálható több védett növény faj is pl. turbánliliom, magyar zergevirág, sárga kövirózsa, magyarföldi hunság (Budapesti Erdőgazdaság Zrt., 2018).

Tájhasználat szempontjából fontos megjegyezni, hogy a terület legnagyobb részén erdőborítottság található, a feljebb említett növénytársulásokkal, valamint ez ad otthont az ott élő állatoknak. Ezért a terület erdő- és vadgazdálkodás szempontjából is jelentős. Mezőgazdasági növények termesztése nem számottevő a térségben, viszont annál nagyobb jelentősége van a területen folyó szőlőtermesztésnek, hiszen itt található a Neszmélyi borvidék. Több jelentősebb bánya is található területen pl.: Travertino-bányák (Süttő), Bersekbánya (Lábatlan), Bánya-hegy (Tardos). A területen található természeti értékek népszerűsítése és védelme érdekében létrehozták a Gerecse Natúrparkot (www.gerecsenaturpark.eu).

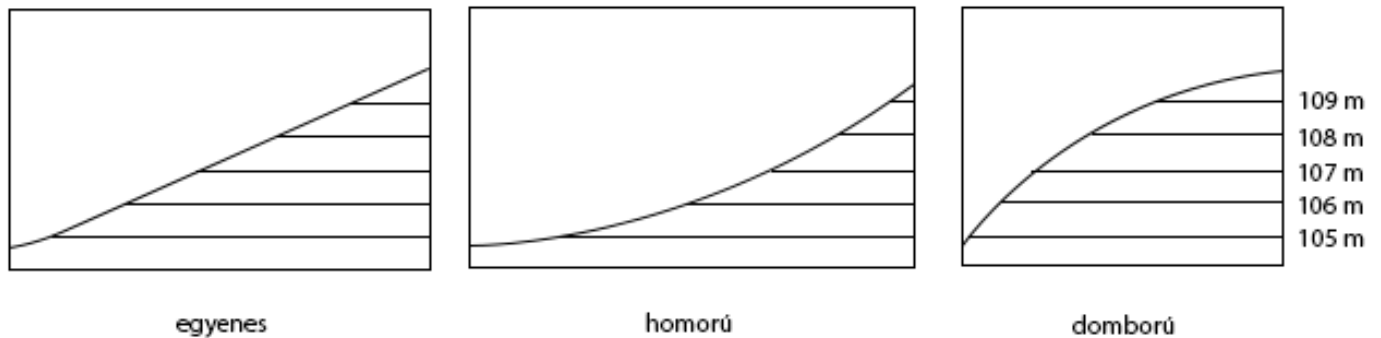
3. Talajerózió

„A talaj a Föld legkülső szilárd burka, amely a növények termelőhelyéül szolgál. Alapvető tulajdonsága a termékenység, vagyis az a képesség, hogy kellő időben és a szükséges mennyiségben képes ellátni a növényeket vízzel és tápanyaggal.” (Stefanovits, 1992, p. 5). Mivel ilyen fontos szerepe van az életünkben, ezért oda kell figyelni a változásaira, főként a pusztulására. A talajpusztulásnak két fő fajtája van, a defláció és a vízerózió.

A defláció (szélerózió) a felszín felett áramló szél pusztító munkája. A légáramlat az apró szemcséket felkapja és tovább szállítja ezzel mélyedéseket alakítva a talaj legfelső rétegében. A szél örvénylése és sebessége határozza meg, hogy milyen messzire képes szállítani a szemcséket illetve, hogy mekkora méretűeket képes elmozdítani. Főleg a fedetlen térszínen végez nagy pusztítást, mivel ezeken a helyeken nincs, ami megkösse a talajt, illetve felfogja az apró részecskék elmozdulását, ezáltal a növényborítottság az egyik befolyásoló tényezője a defláció kialakulásának, valamint az ilyen csupasz területek nagyságától függ a defláció mértéke is, minél nagyobb annál nagyobb a hatása. Az apró részecskék méretétől is függ, minél nagyobb annál nehezebben tudja mozdtítani légáramlat. Hasonlóképpen befolyásolja a szemcsék anyagi összetétele is, minél több benne a szerves anyag, annál kötöttebbé válik, így nehezebben tudja felkapni a szél. Ezeken túl a talaj nedvességtartalmának is fontos szerepe van, hiszen minél nedvesebb a legfelső réteg, annál jobban összetapadnak az apró részecskék.

A talajpusztulás másik fajtája a vízerózió. Kialakulásának alapvetően két fő tényezője van, a csapadék- és a lejtőviszonyok tulajdonságai. A csapadék tulajdonságai a következők: a cseppnagysága, minél nagyobb méretű az esőcsepp annál nagyobb kárt okozni a felszínen. A csapadék mennyisége, ha olyan sok, hogy a talaj már nem képes befogadni és elvezetni a lehullott csapadékot, akkor az erózió nagyobb mértékben érvényesül. Hevesebb vagy hosszabb ideig tartó esőzés esetén szintén nő az erózió mértéke. Ha a csapadék hó formájában érkezik, úgy annak nincsen pusztító hatása a felszínre nézve. Az olvadás során, ha talajfelszín felső rétege megolvad úgy az képes elvezetni a vizet, de ha az lassabban olvad meg, úgy növeli az erózió időtartamát. A lejtő tulajdonságai a következők: meredekség, hossz, alak, kitettség. A lejtő meredeksége az, ami befolyásolja a víz lefolyásának energiáját. A lejtő hosszától az áramló víz sebessége függ: minél hosszabb egy lejtő annál nagyobb lesz a víz sebessége. Fontos tényező a lejtő

alakja, hiszen ez határozza meg azt, hogy elsősorban hol éri az erózió. A domború lejtőnél nem kezd el egyből lefolyni a víz, hanem a pusztulás a lejtő felső részén kezdődik. Az egyenes lejtőn leáramló víz, a lejtő alsó részén végez nagyobb pusztítást, hiszen fentről nagy sebességgel leáramlik és az alsó térszínen nem képes olyan gyorsan elvezetni, elnyelni a nagy vízmennyiséget. A homorú lejtőnél a víz megreked a középső szakaszon, így itt a legnagyobb az erózió (2. ábra).



2. ábra Lejtőtípusok.

A felszín kiettsége is befolyásolja a talaj nedvességtartamát, így azt is, hogy mennyi vizet tud elnyelni. Az eróziót befolyásoló tényező még a talaj nedvességtartama. A száraz talajnál előfordulhat, hogy az egyes aggregátumok szétrobbannak, míg a nagy nedvességgel bíró felszíneknél nagyobb a víz- és sárfolyások illetve csuszamlások kialakulásának az esélye. A talaj összetétele is befolyásolja az eróziót, hiszen a szerkezetéből adódóan a vízelnyelő képessége is változik az egyes talajtípusoknak. A felszín fedettségének is fontos szerepe van, mert a sűrű növényzettel borított területeken a növények felfogják a csapadék nagy részét, így kevesebb vízcsepp éri el a földet, valamint ha lefolyásból származó vízeri el a területet, a növények is felszívják a vizet, így csökkentve az talajpusztulás időtartamát (Szendrei, 1998).

Alapvetően a talajerózió egy természetesen végbemenő folyamat, de az ember egyre inkább befolyásolja ezt a folyamatot. Az első geológiai talajpusztulásnak hívjuk, ez általában lassabban megy végbe, és ezzel lépést tud tartani a talajképződés. Az utóbbit gyorsított talajpusztulásnak nevezzük, ebben az esetben a pusztulás mértéke nagyobb, mint a képződés üteme (Stefanovits, 1992). Az egyre jobban terjeszkedő városok, csökkentik a víz természetes lefolyásának a helyét illetve eltérítik annak az irányát. Az erdők kiirtása során megnő az erózió nagysága azokon a területeken, illetve a földművelés esetében a talaj felső rétege lazábbá válik, így nagyobb mértékben képes a pusztulásra. Fontos, hogy

tudjuk egy adott terület mennyire kitett az erózióknak, hogy adott esetben a katasztrófák elkerülhetőek legyenek.

„A védekezés módja az, hogy a kiváltó tényezők hatását csökkentjük, a módosító tényezőket pedig úgy befolyásoljuk, hogy a pusztulás csökkenjen.” (Stefanovits, 1992, p. 283.). Ma már sok módszert ismerünk arra, hogy csökkenteni tudjuk az erózió mértékét. Ilyen például egyrészt a lejtő hosszának a tagolása, amit elérhetünk sáncolással, azaz a lejtő hullámosításával, amely feltartja a hirtelen lezúduló víz lefolyását másrészt a teraszolás, amely egy részen képes csökkenteni a lejtő hajlásszögét. De már az is segít, hogy ha felismerjük, hogy egy adott területre milyen típusú növényeket kell vetnünk/ültetnünk, amelyek segítik megkötni a talajt ilyenek pl. a szőlő vagy a gyümölcsfák, és amelyek nem ilyenek: a gabonanövények. A szántóföldek kialakítása során fontos, hogy úgy táblásítsunk, hogy a hosszirányuk merőleges legyen a lejtő irányára, ezzel megnehezítve a víz lefolyását. Sokszor az utak mellett vagy a szántások közepén is találkozunk telepített erdő vagy cserje sávokkal, amik szintén erre szolgálnak (Stefanovits, 1992, pp. 283-286.).

4. Alkalmazott módszerek

A talajvesztés becslésével már régóta foglalkoznak. Kezdetben parcellás megfigyeléseken alapultak a módszerek. Bizonyos változókat a mérések alapján határozták meg és azonos típusú területen azonosnak tekintettek. A csapadék tényezőt az adott területekre kezdetben esőztetési kísérletek, majd a meteorológiai állomások eredményei alapján számolták ki, ezen kívül a talajtani térképeknek is fontos szerepe volt a talajerózió becslésének meghatározásában. Manapság már a távérzékelési adatokat használják fel az adatok gyorsabb elérése miatt, és ezzel együtt egyre naprakészebb eredményeket kaphatunk a talajvesztésről. Ilyen adatok pl. a digitális domborzatmodellek, melyekből a terület morfológiáját tudjuk meg, a különböző műholdfelvételek, amelyek mind a fedettséghez, mind pedig a meteorológiai adatokhoz nyújtanak segítséget. Az USLE kifejlesztése után, folyamatosan fejlesztették tovább az egyenletet, a különböző területeknek megfelelően pl. RUSLE (Revised Universal Soil Loss Equation), MUSLE (Modified Universal Soil Loss Equation). Magyarországon az 1960-as években készítették el először eróziós térképet. A talajvesztés vizsgálata napjainkban is folyamatosan a szakirányú kutatások középpontjában áll (pl.: Pásztor és munkatársai, 2016).

4.1. Egyetemes Talajveszteségi Egyenlet (USLE)

A talajpusztulás területegységre vonatkoztatható nagyságának legelterjedtebb számítási módszere az Univerzális Talajveszteségi Egyenlet, azaz USLE (Universal Soil Loss Equation). Az egyenlet egyes elemei kifejezik, hogy az éghajlat, a talaj és a felszín, hogyan befolyásolja az erózió mértékét. Az egyenlet segítségével egy adott területre éves-szintű átlagbecslést lehet készíteni a talajveszteségre. Az egyenlet kifejlesztése egy hosszú folyamat volt, apránként adták hozzá az egyes tényezőit, így pontosítva az eredményeket. Ez a folyamat az 1940-es évekre tehető. Először csak a lejtő hossza és meredeksége (százalékban) szerepelt az egyenletben, majd a gabona-borítottsági tényezőt, a talajfelhasználási tényezőt végül a csapadék tényezőt adták hozzá. A képlet kifejlesztése végül több éves parcellás kísérletek eredményei alapján készült el az Amerikai Egyesült Államokban (Wischmeier & Smith, 1978). Mivel az egyenlet kezdetben az angolszász mértékegységeket használta, így fontos lépés volt, hogy elkészüljön annak SI (Système International d'Unités, Nemzetközi Mértékegységrendszer) változata, hogy a világon mindenhol egyszerűen használható legyen. Ez a változat 1981-ben készült el (Foster et al. 1981).

$$A = R \cdot K \cdot L \cdot S \cdot C \cdot P$$

A = az évi átlagos talajveszteség ($t \cdot ha^{-1} \cdot év^{-1}$)

R = a csapadék eróziós potenciálja ($MJ \cdot mm \cdot ha^{-1} \cdot h^{-1} \cdot év^{-1}$)

K = a talaj erodálhatósági tényezője ($t \cdot ha \cdot h \cdot ha^{-1} \cdot MJ^{-1} \cdot mm^{-1}$)

L = a lejtő hosszát kifejező tényező (dimenzió nélküli)

S = a lejtő meredekségét kifejező tényező (dimenzió nélküli)

C = a növényi fedettség tényezője (dimenzió nélküli)

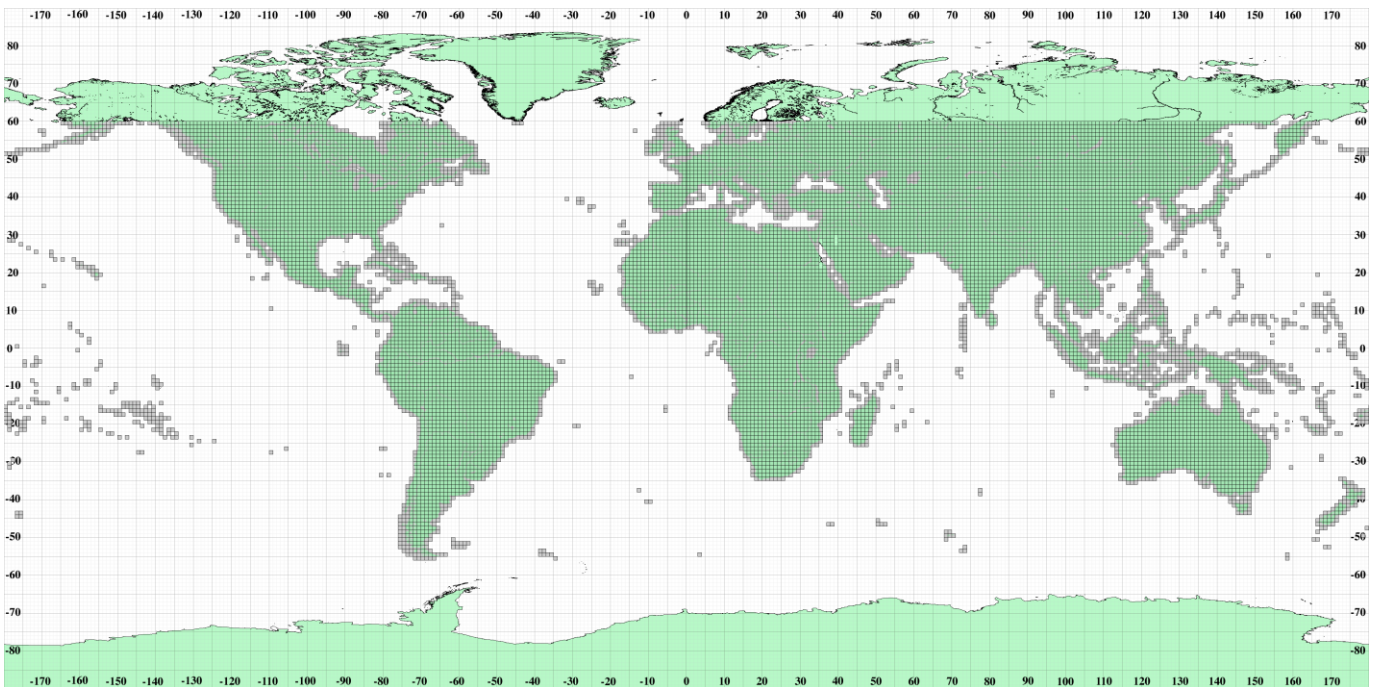
P = az alkalmazott talajművelési mód tényezője (dimenzió nélküli)

4.2. Alapanyagok

4.2.1. Shuttle Radar Topography Mission (SRTM)

Az SRTM programban a NASA (National Aeronautics and Space Administration) és az NGA (National Geospatial-Intelligence Agency) valamint a német és olasz űrügynökség vett részt. A misszió célja, hogy a Föld felszínéről készítsen egy magassági adatbázist. Az Endeavour űrsiklót 2000. február 11-én lőtték fel hat fős legénységgel a

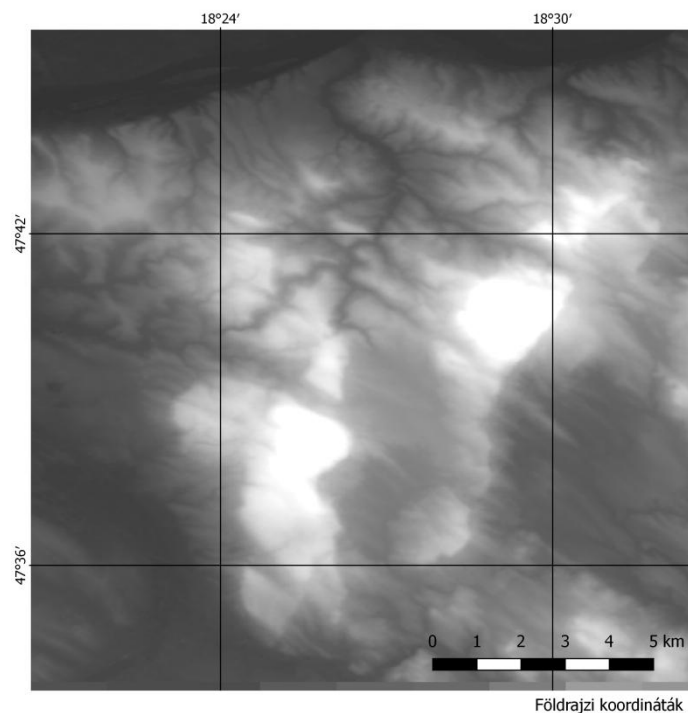
fedélzetén a Kennedy Űrközpontból. A küldetés 11 napig tartott, és az Endeavour átlagosan 233 km magasan 57° pályainklációval keringett. Egy nap alatt 16-szor kerülte meg a Földet, így összesen 176 kört tett meg a küldetés során. Az űrsiklóra szerelt antennák segítségével érzékelt a radar-interferometriás jeleket, amelyekből levezették a magasságmodellt. A két műszer elhelyezkedése elősegítette az adatok pontosságát, az egyik az űrsiklón volt, míg a másik egy 60 m-re kinyitható kar végén. A felméréshez kétféle radart használtak az egyik a C-sáv, ami 5,6 cm, míg a másik az X-sáv, ami 3,1 cm hullámhosszú jeleket bocsájtott ki. A földfelszín 80%-áról készült el a felmérés; ez lefedi az északi szélesség 60° és a déli szélesség 56° közötti területet. (3. ábra) A felvételek felbontása 1 szögmásodperc, ami kb. 30 m-nek felel meg. Ehhez a felbontáshoz kevesebb, mint 16 m-es abszolút magassági hiba tartozik, illetve egy pontban az abszolút geolokációs pontossága kevesebb, mint 20 m. (Farr, et al., 2007)



3. ábra Az SRTM lefedettség sötétzölddel jelölve

A radarok által kibocsájtott jelek a tereptárgyakról visszaverődnek és nem képesek a növények közé sem behatolni, ezért az így kapott eredmény nem pontosan a Föld topográfiai felszínét (domborzatát) mutatja meg, hanem egy attól eltérő, részben afölött elhelyezkedő felületmodellt (Digitális Felszínmodell, DFM/ Digital Surface Model, DSM). Dolgozatomban az SRTM V3-as verzióját használom, amely tartalmazza az üres adatok feltöltését a felületmodellben. Ezek a feltöltések interpolációs eljárással és más domborzatmodellek (Digitális Magasságmodell, DMM/ Digital Elevation Model, DEM)

felhasználásával készültek. A felhasznált nyílt forráskódú adatok az ASTER GDEM2 (Global Digital Elevation Model Version 2), GMTED2010, a USGS (United States Geological Survey által összeállított magasság modell, és a NED (National Elevation Dataset). Kezdetben csak közel 90 m-es felbontású adatok álltak rendelkezésre, majd fokozatosan a jobb minőségű felszínmodellek is elérhetővé váltak a nagyközönség számára. Mára már ingyenesen letölthetők a különböző felbontású, illetve javított modellek is. Dolgozatomhoz az alapanyagot a Google Earth Engine (<https://earthengine.google.com>) segítségével töltöttem le az általam kijelölt területről, amelynek kiterjedése: 18.343°, 47.5534° és 18.5696°, 47.7615° között helyezkedik el. (4. ábra)



4. ábra Nyers SRTM felvétel a Gerecse területéről.

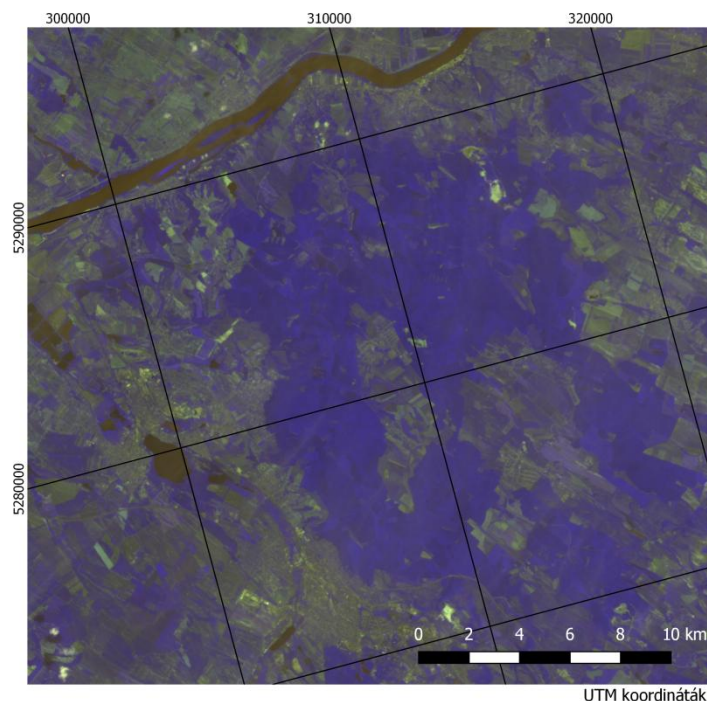
4.2.2. Landsat 7

A választás azért esett a Landsat 7 műholdképére, mert ingyenes, de jó felbontású felvétel volt szükséges az elemzésekhez a kiválasztott időpontban. Ez az SRTM-felvételhez igazodva 2000 nyara volt. Ebben az időszakban ez a műhold készítette a legtöbb információval ellátott felvételt, és egyben a legjobb minőségűt. (5. ábra)

A Landsat program már a 1970-es évektől fontos szerepet töltött be a Föld multispektrális képekkel való megfigyelésében. A program több szervezet együttműködéseként jött létre: NASA, NOAA (National Oceanic and Atmospheric Administration), USGS. A misszió során eddig 8 műholdat indítottak el Föld körüli pályára, ebből csak egy volt sikertelen, és 2020-ra tervezik a következő indítását. Ennek a

műholdcsaládnak a 7. tagját 1999. április 15-én lőtték fel Kaliforniában a Vandenberg támaszpontból, és mind a mai napig friss képeket szolgáltat számunkra. A műhold 705 km magasan kering a Föld felett napszinkron pályán és onnan készíti el a felvételeket. Egy kört a Föld körül kb. 98,9 perc alatt tesz meg. Egy teljes ciklust 16 nap alatt tesz meg, ez idő alatt 233-szor kerüli meg a Földet. A ciklus alatt készült képek teljes egészében lefedik a felszínt. Az előző Landsat missziókhöz képest új sávtartományokban rögzített adatokat az Enhanced Thematic Mapper Plus (ETM+) szenzor. Ez a műszer nagy segítséget jelent a globális változások, valamint a fedettség vizsgálatában. A műszer nyolc spektrális sávot érzékel, az első 3 sáv a látható (VIS) tartományba esik (Red, Green, Blue), amelynek 30 m/pixel a felbontása. A 4. és 5. sáv a közeli infravörös (NIR) tartományba esik szintén 30 m/pixel-es felbontással. A 6. sáv a termális infravörös, amely 60 m/pixel-es felbontású képeket készít. Ez az érzékelő újdonság a korábbi Landsat-okhoz képest. A 7. sáv a közép-infravörös (MIR) tartomány 30 m/pixel-es felbontással. Szintén újdonság a 8. sáv, amely a pankromatikus (szürkeárnyaltos) képeket készít, ennek a felbontása 15 m/pixel felbontású. A szenzor által készített kép 170*185 km-es területet fed le a felszínen. 2008 októberétől ingyenesen hozzáférhetőek a felvételek a közönség számára is (NASA, 2018) és (USGS, 2018).

A dolgozatomban felhasznált felvételt a USGS (<https://earthexplorer.usgs.gov>) honlapjáról töltöttem le. A felvétel kiválasztásánál fő szempont volt a kép közel ugyanabban az időben készüljön, mint az SRTM felszínmodell felvétele, mert a talajerózió vizsgálat legjobban így végezhető el. Továbbá a nyári időszakot választottam, hiszen akkor a legváltozatosabb a felszínborítottság, amely egy fontos eleme a vizsgálatnak. Ezen kívül nagyon fontos volt, hogy a kiválasztott mintaterületen, ne legyen felhőborítottság. Ezek a szempontok egy 2000. június 8-ai képen teljesültek egyszerre.



5. ábra Nyers Landsat 7 felvétel (2000.06.08).

4.2.3. DOSoReMi

A DOSoReMi.hu (Digital, Optimized, Soil Related Maps and Information in Hungary) a MTA ATK Talajtérképezési és Környezetinformatikai Osztálya által készített honlap, ahol az országról készült talajtérképek találhatóak meg (Pásztor et al., 2014). Két különböző formában teszik közzé a térképeket: egyrészt interaktív térképek formájában, mely a böngészést segíti, és egy atlasz formájában, mely felhasználható dolgozatokban, tanulmányokban. Az adatok, amelyekből a térképek készültek tartalmaznak archív és aktuális talajtani, valamint a környezeti tényezőkre vonatkozó adatokat is. Ezeknek az adatoknak a feldolgozása térinformatikai rendszerben történt. A honlapon megtalálhatók szemcseméret frakciókra jellemző adatok (%), valamint textúra osztály, szabadföldi vízkapacitás, térfogattömeg, szervesanyag-tartalom, kémhatás, mésztartalom, genetikus talajtípus, termőréteg vastagság jellemzésére szolgáló térképek. Egy-egy tematikát ábrázoló térkép esetenként különböző rétegekben is elkészült. A térképek egységesen 100 m-es felbontásúak (DOSoReMI.hu, 2018). Az itt közzétett adatok több területen is hasznosultak már pl. mezőgazdasági kárelhárításban, jó termőhelyű szántók lehatárolása, meteorológiai folyamatok előrejelzése (Pásztor, et al., 2017). Dolgozatomban az agyag, az iszap, a homok frakció és a szervesanyag-tartalom térképeket használtam fel. Az általam használt adatok a talajréteg felső 30 cm-ét mutatják.

4.3. Az USLE egyenlet változóinak előállítása

Egy nagyon összetett számításról van szó, ezért fontos volt megtervezni az egyes munkafázisokat. Az alapanyagok beszerzése után, megkezdődött a feldolgozás. Az egyes változókat vektoros, vagy raszteres formában dolgoztam fel. Ezután a vektoros alapanyagok raszterre konvertálása következett, így azonos formátumba került az összes tényező. Következő folyamat a változók értékeit tároló raszteres adatok térinformatikai feldolgozása volt.

Mielőtt elkezdtem volna a számításokat az alapanyagokat előkészítettem. Fontos volt, hogy mindegyik alapanyag azonos vetületben legyen, és azonos felbontásúak legyenek, hiszen ha ezek eltérőek az egyes rasztereknél, akkor nem, vagy nem megfelelően végezhetőek el a számítások. A megfelelő vetület kiválasztásánál szempont volt, hogy bizonyos műveletek csak metrikus koordináta-rendszerben hajthatók végre a kiválasztott programmal. Mivel Magyarország területén van a kiválasztott mintaterület, így kézenfekvő volt, hogy a vetület és a koordináta-rendszer az EOVS (Egységes Országos Vetület) legyen, mert ez megfelelt az elvárásoknak. Felbontásnak a 25*25 m-t választottam meg, ami a műholdfelvételek felbontásának felelt meg, azok EOVS vetületbe váltása után, így ehhez igazítottam a többi adatot is.

A Landsat 7 műholdkép eredetileg UTM (Universal Transverse Mercator) vetületben volt azon belül a 34N zónában. A vetület átváltást QGIS-ben (v. 2.18.16) végeztem el a *warp* beépített modullal, itt megadtam a kívánt vetületet valamint a kívánt felbontást és a legközelebbi szomszédok (nearest neighbours) számítási elvet, amivel az újra-mintavételezést elvégeztem.

Ezt követően az SRTM-et készítettem elő a felhasználáshoz; az eredeti állomány WGS84-ben volt, ezt átkonvertáltam EOVS-ra, ezt a műveletet a Global Mapperben (v. 17) végeztem el az állomány exportálásával, kiválasztva a megfelelő vetületet és megadva a kívánt kiterjedést és felbontást, valamint itt is a legközelebbi szomszédok elvél számoltam. Ez után egy hiányzó vízfolyás domborzatmodellbe való beégetésével folytattam. Ez a vízfolyás a Lábatlani vörösiszap-tározótól nyugatra helyezkedik el. A vízfolyás kialakulása emberi beavatkozás következménye, mert az eredeti vízfolyás (Kántor-kerti-patak) a mostani vörösiszap-tározó helyén volt. A patak eredeti völgyét elzárták majd a vízfolyást egy másik, tőle nyugatra fekvő völgybe vezették át (Albert, 6. Geomorfológiai térképek, 2017) A vízfolyás beégetéséhez a SAGA GIS-t használtam

hasonló módon Gerzsényi (2016) módszeréhez. Ezzel elkészült a számításra kész raszteres állomány. A további számításokat QGIS-ben végeztem el.

4.3.1. R faktor

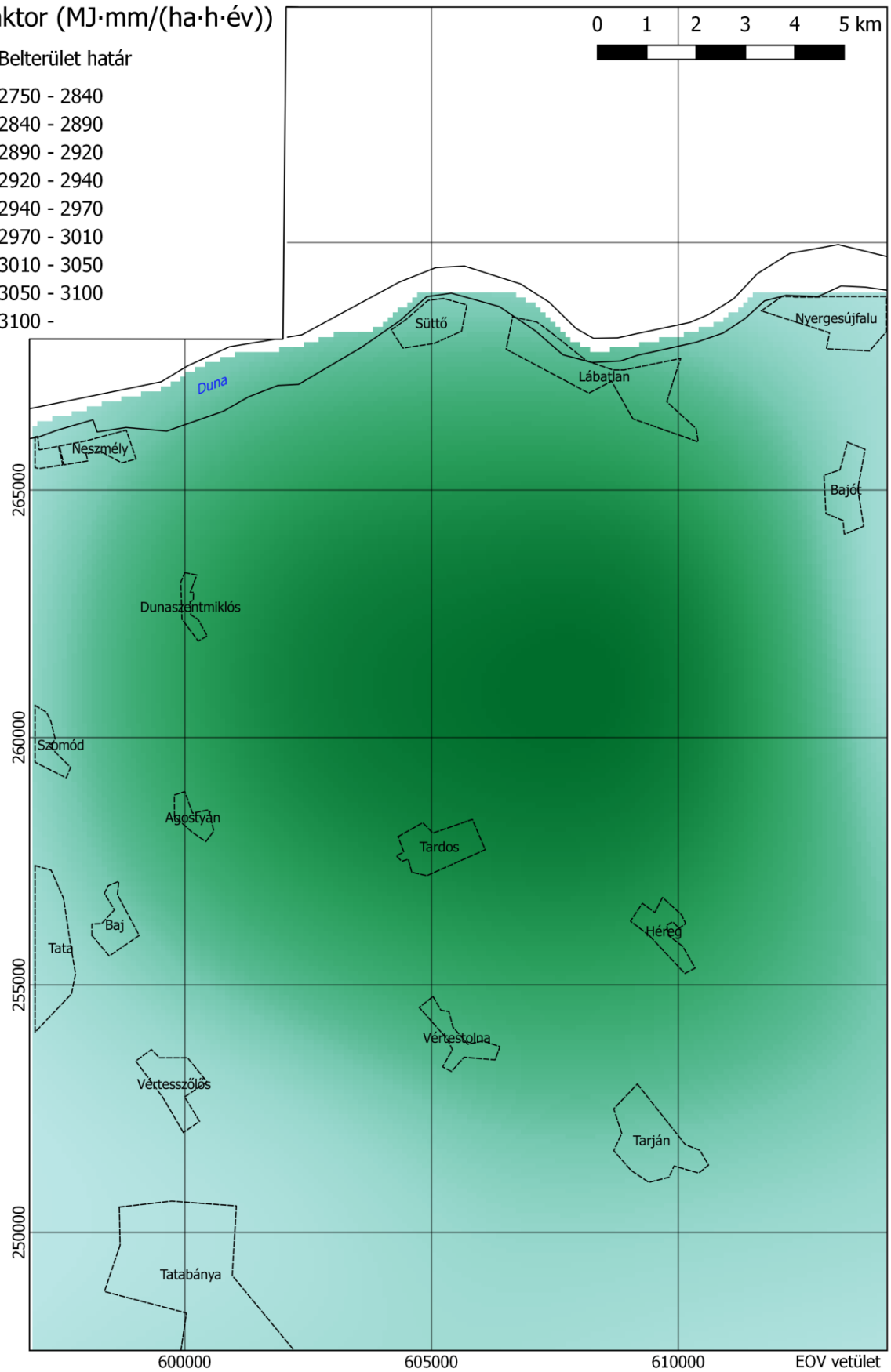
Az eső kinetikus energiájának nagy szerepe van az erózió mértékében. Az erózió nagysága függ az esőzés intenzitásától, illetve, az esőcseppek nagyságától, hogy mekkora cseppekben esik. Előfordulhat, hogy hirtelen sok eső esik nagy cseppekben, amelyek becsapódása erősen roncsolja a talajfelszínt, továbbá a talaj nem tudja beszívni a nagy mennyiségű felgyülemlett vizet, míg más esetben egy gyenge esőzés több napon keresztül ugyanezt a hatást érheti el. Ez a faktor egy összetett tényező, amely tartalmazza az egyes esőzések eróziós indexét, valamint a lefolyások jelentőségét. Egyetlen viharra vonatkozó R-tényezőt úgy határozták meg, hogy a teljes kinetikus energiát (E) megszorozták a maximum 30 perces eső intenzitásával (I30) (Wischmeier, 1959). Az R tényezőt egy megadott helyre az éves $E \cdot I30$ értékek átlagaként számították ki hosszú időn keresztül (több mint 20 év), ez idő alatt megfigyeltek egy ciklikusságot a csapadékmennyiségében. Az eróziós index nem veszi figyelembe a hó mennyiségét és az olvadását, ezt a tényezőt lefolyási elemként adják hozzá az R értékhez (Wischmeier & Smith, 1978). Az R értékét $MJ \cdot mm \cdot ha^{-1} \cdot h^{-1}$ -ban határozzuk meg. Dolgozatomban ennek a faktornak a kiszámításával, nem foglalkoztam. Magyarország területére a már korábban elkészült adatokat használtam fel. Ezt a számítást Pásztor és munkatársai készítették 2016-ban. Az R faktor előállításához a CARPATCLIM adatbázis adatait használták fel (6. ábra).

R faktor (MJ·mm/(ha·h·év))

Belterület határ

- 2750 - 2840
- 2840 - 2890
- 2890 - 2920
- 2920 - 2940
- 2940 - 2970
- 2970 - 3010
- 3010 - 3050
- 3050 - 3100
- 3100 -

0 1 2 3 4 5 km

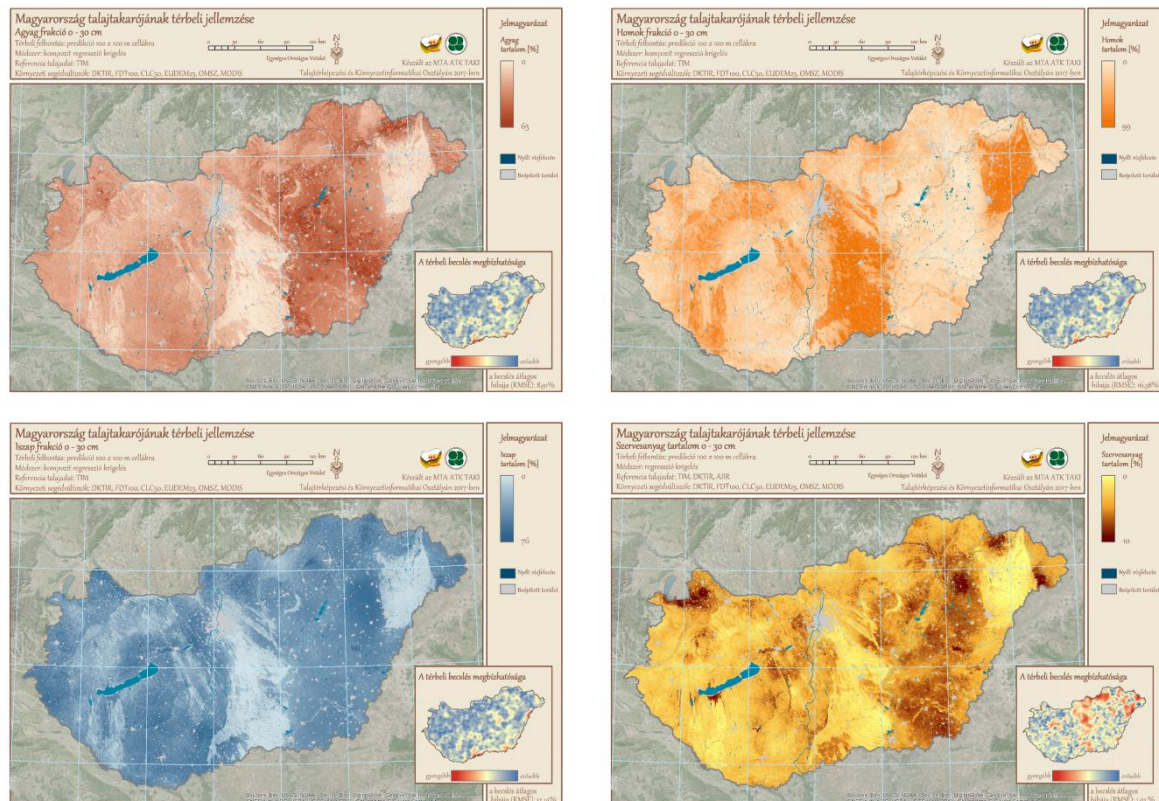


6. ábra R faktor a Gerecse területére.

4.3.2. K faktor

A K-faktorban a talaj erózióra való hajlamosságát, azaz az erodálhatóságát vizsgáljuk. Egyes talajok jobban erodálódnak, mint a többi akkor is, ha egyéb paramétereik (lejtő-, a csapadék hatása, a növényborítottsága és a talaj felhasználása) egyébként megegyezik; ez a talaj fizikai tulajdonságainak köszönhető. Az erodálhatóságát befolyásoló talajtulajdonságok a következők: a talaj szerkezete, szemcseösszetétele, vízáteresztő képessége, szerves anyag és agyagásvány tartalma (7. ábra). Általában csökken a talaj erodálhatósága, ha csökken az iszap tartalma, akkor is, hogy ha ezzel arányosan növekszik a homok vagy agyag tartalma (Wischmeier & Smith, 1978).

Dolgozatomban ezt a faktort többféleképpen is előállítottam. A számításokhoz felhasználtam a DOSoReMI.hu térképes adatbázist. A számításhoz szükséges térképek a következők voltak: iszap-, agyag-, homok és szervesanyag-tartalom a felső 30 cm-es rétegben.



7. ábra Agyag, homok, iszap, szervesanyag-tartalom térképek

Képek forrása: www.dosoremi.hu.

Az első változata a K tényezőnek a Sharply és Williams által leírt egyenlet alapján készült el (8. ábra).

$$K = \left(0.2 + 0.3e^{\left[-0.256 \cdot SAN \left(\frac{SIL}{100}\right)\right]} \right) \cdot \left(\frac{SIL}{CLA} + SIL \right)^{0.3} \cdot \left(1 - \frac{0.25 C}{C + e^{(3.72 - 2.95 C)}} \right) \cdot \left[1 - \frac{0.75 SN_1}{SN_1 + e^{(22.9 SN_1 - 5.51)}} \right]$$

$$SN_1 = 1 - SAN/100$$

SIL = iszap frakció tartalom (%)

CLA = agyag frakció tartalom (%)

C = szervesanyag-tartalom (%)

SAN= homok frakció tartalom (%)

A második számítási mód a Schwertmann és munkatársai (1987) által leírt egyenlet alapján, amelyet már Magyarországi példán is alkalmaztak (Centeri et al., 2015). (9. ábra)

$$K = 2.77 \cdot M^{1.14} \cdot 10^{-6} \cdot (12 - OS) + 0.043 \cdot (A - 2) + 0.033 \cdot (4 - D)$$

$$M = \text{agyag} + \text{iszap} \cdot \text{agyag} + \text{homok}$$

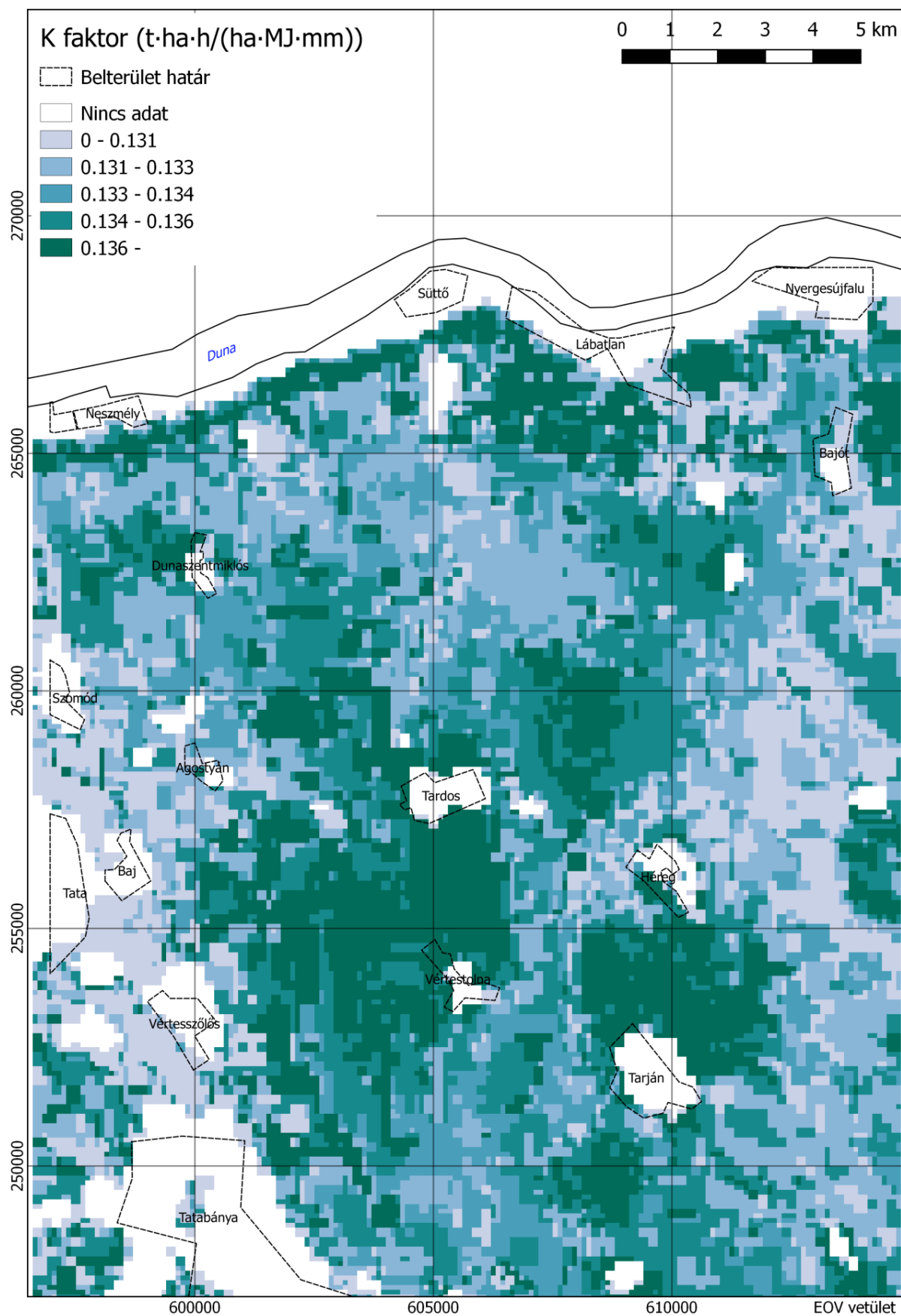
Az egyes frakció tartalmak %-ban vannak megadva.

OS= szervesanyag-tartalom %-ban megadva. Maximum értéke 4% lehet, azaz a számítások során a következő feltételt alkalmaztam:
ha az OS > 4%, akkor az OS = 4%.

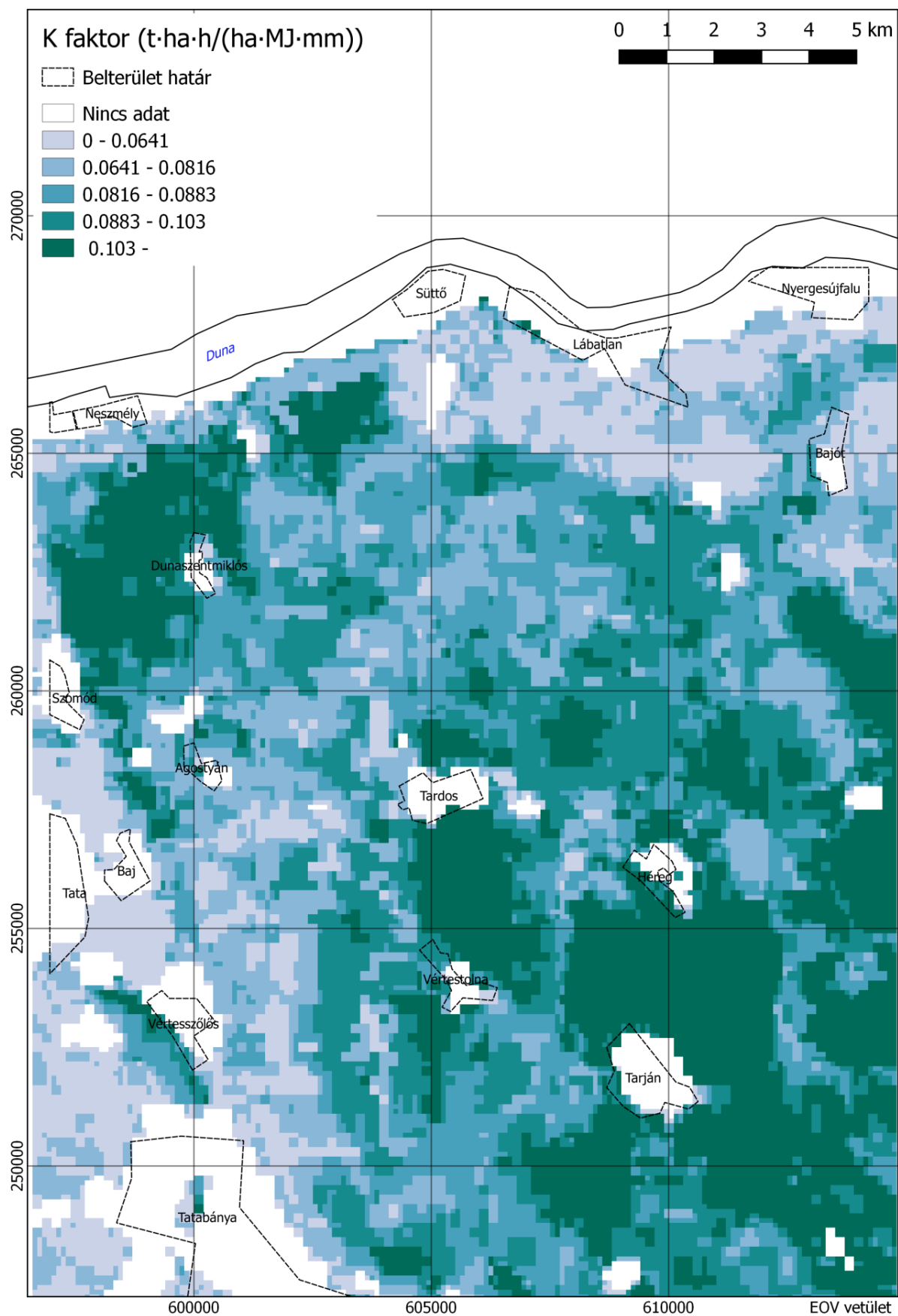
A = aggregációs kategória. Értéke a számításban A=2 (ami a talaj aggregátumok 1–2 mm nagyságának felel meg).

D = víz áteresztőképességi kategória. Értéke a számításokban D=3 (ami 10–40 cm/nap beszivárgási ráta megfelelője).

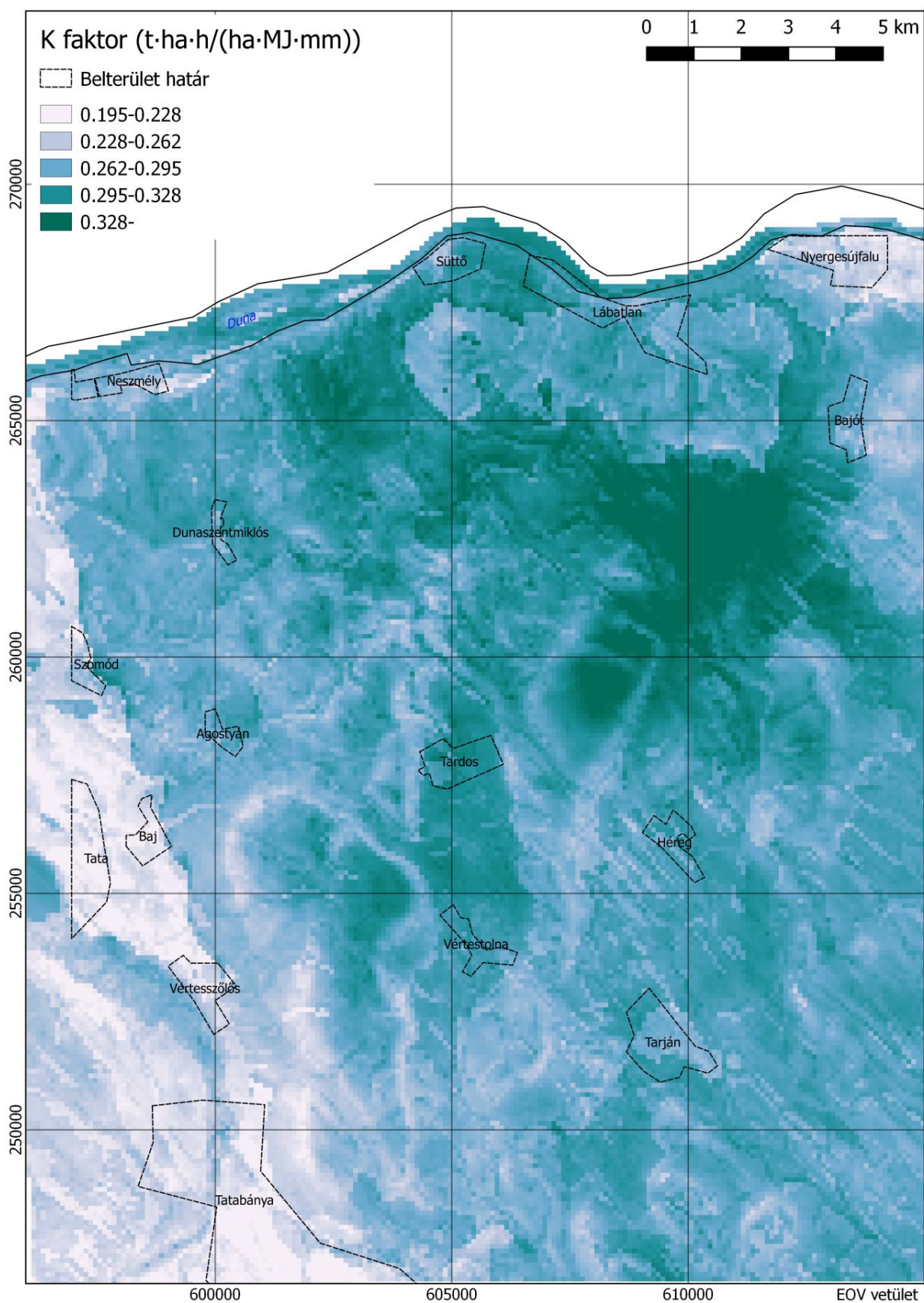
A K-faktor esetében összehasonlításképpen felhasználtam a Pásztor és munkatársai (2016) által készített térképet is (10. ábra).



8. ábra K faktor a Gerecse területére a Sharply és Williams egyenlet alapján.



9. ábra K faktor a Gerecse területére a Schwertmann egyenlet alapján.

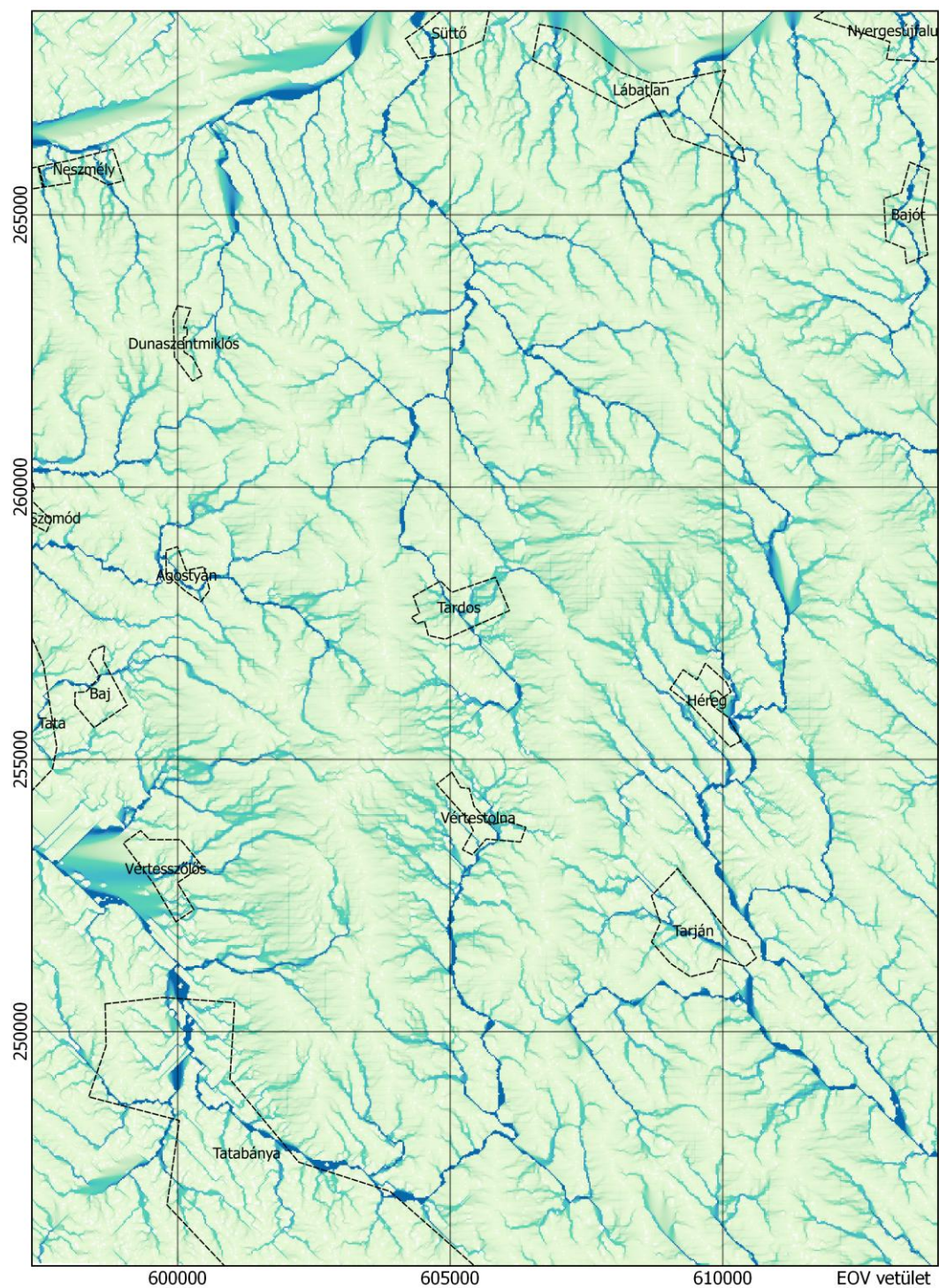


10. ábra K faktor a Gerecse területére Pásztor és munkatársai által készített eredmények.

4.3.3. LS faktor

Az LS faktor az egyenlet morfolometriai eleme. Két fő komponense a L (slope length), azaz a lejtőhossz valamint az S (steepness), azaz a meredekség. A lejtő hossza, az a távolság, ami a felszíni vízfolyás kezdeti helytől egészen addig tart, amíg a lejtő meredeksége annyira lecsökken, hogy a hordalék lerakódás elkezdődik, vagy a vízfolyás becsatlakozik egy nagyobb vízhálózatba. A felszíni lefolyás növekedése szorosan összefügg a lejtő meredekségével, de ezt befolyásolhatja a felszín buckássága, a párolgása vagy az, hogy milyen növény található a területen. Ennek ellenére a felszínborítottság megváltozásának nincsen szerepe a lejtő hosszának a megváltozásában (Wischmeier & Smith, 1978).

Az LS faktor előállításához nincs másra szükség, mint egy felületmodellre. Először az r.terraflow-modullal elkészítettem az SRTM „gödreinek” a feltöltését (*fill*), majd a lefolyás-akkumulációs (*flow accumulation*) a térképét (11. ábra). Ezután elkészítettem egy lejtőszög térképét (12. ábra), ahol minden egyes pixel értéke az adott pontban a lejtőszöget adja meg fokban, ehhez a r.slope beépített modult használtam fel. A további számításokat a *raster calculator*-ban végeztem el. Mivel ez a QGIS segédprogram csak radiánban tudja a szögeket bemenő változóként fogadni, a lejtőszöget átalakítottam radiánba [*lejtőszög (fok) · (PI) / 180*]; erre azért volt szükség, mert a későbbiekben, az egyenletben (Wischmeier & Smith, 1978) szükség lesz a lejtőszög szinuszára.



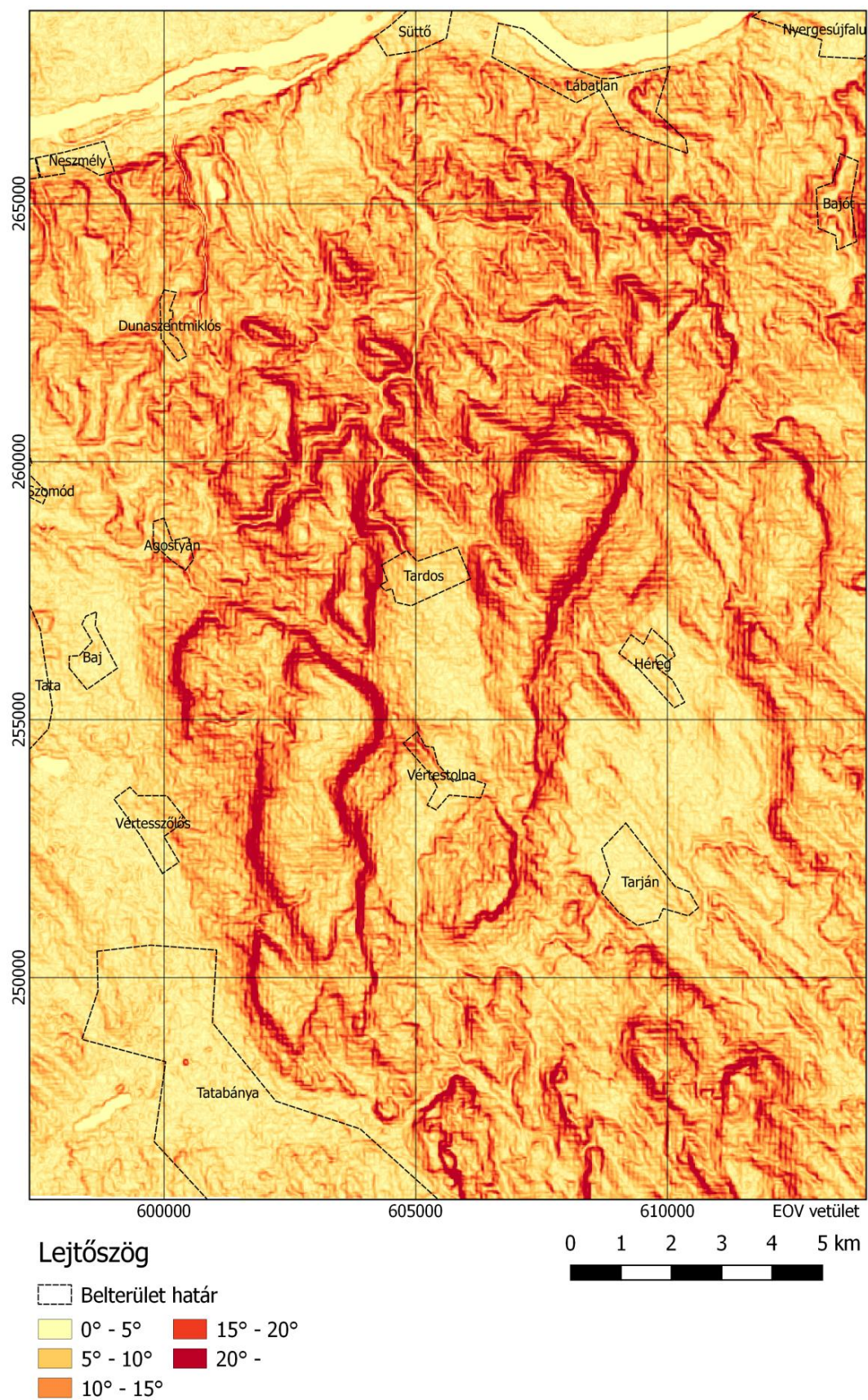
Lefolyás-akkumuláció

— Belterület határ

1	500 - 1000
1 - 50	1000 - 2000
50 - 100	2000 -
100 - 500	

11. ábra Lefolyás-akkumulációs térkép a Gerecse területén.

Azt mutatja meg, hogy egy adott pixelbe hány pixelnyi területről folyhat bele a fluidum.



12. ábra Lejtőmeredekség értékek a Gerecse területén.

L faktor kiszámítása (Wischmeier & Smith, 1978):

$$L = \left(\frac{\lambda}{22.13} \right)^m$$

λ = a lefolyás akkumuláció.

Az egyenletben szerepelő m hatványkitevő egy konstans érték, amely a lejtő százalékban megadott mértékétől függ (Presbitero, 2013) .

$$m = 0.5, \quad s > 5\%$$

$$m = 0.4, \quad 3 < s \leq 5\%$$

$$m = 0.3, \quad 1 < s \leq 3\%$$

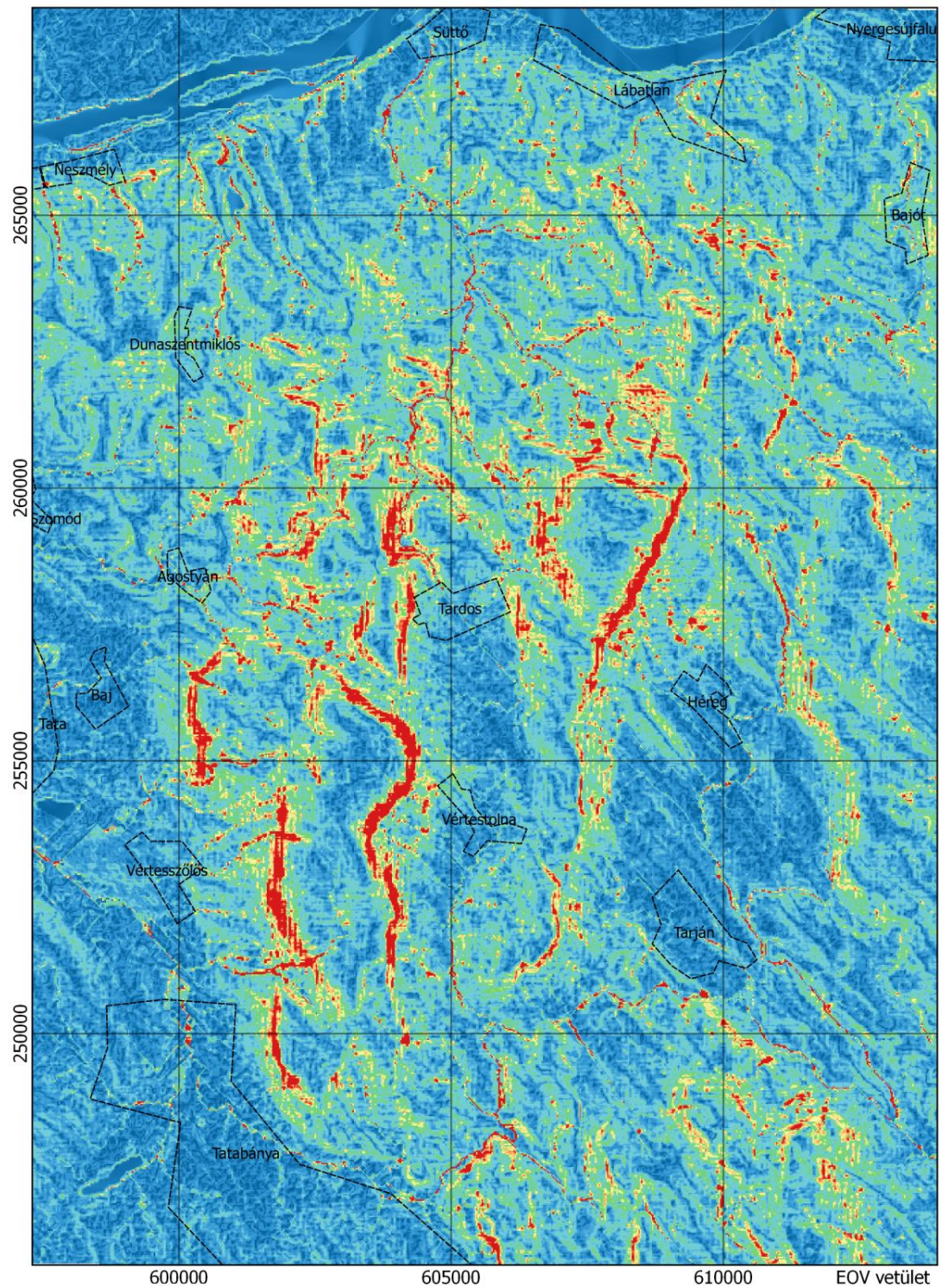
$$m = 0.2, \quad s \leq 1\%$$

S faktor kiszámítása (Wischmeier & Smith, 1978):

$$S = 65.41 \cdot \sin^2\theta + 4.56 \cdot \sin\theta + 0.065$$

θ = lejtő meredeksége (radiánban).

Miután a két faktor elkészült már csak össze kellett szorozni a két rasztert, hogy megkapjuk az LS faktort (13. ábra).



LS faktor

Belterület határ



0 1 2 3 4 5 km

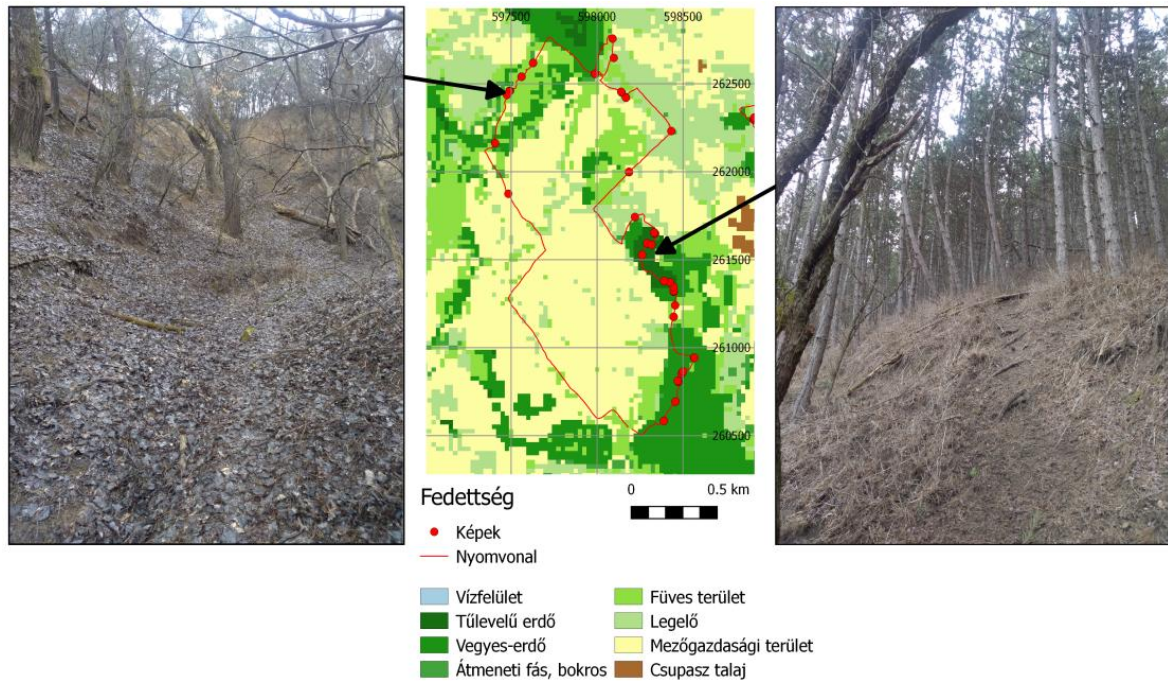


13. ábra LS faktor a Gerecse területére.

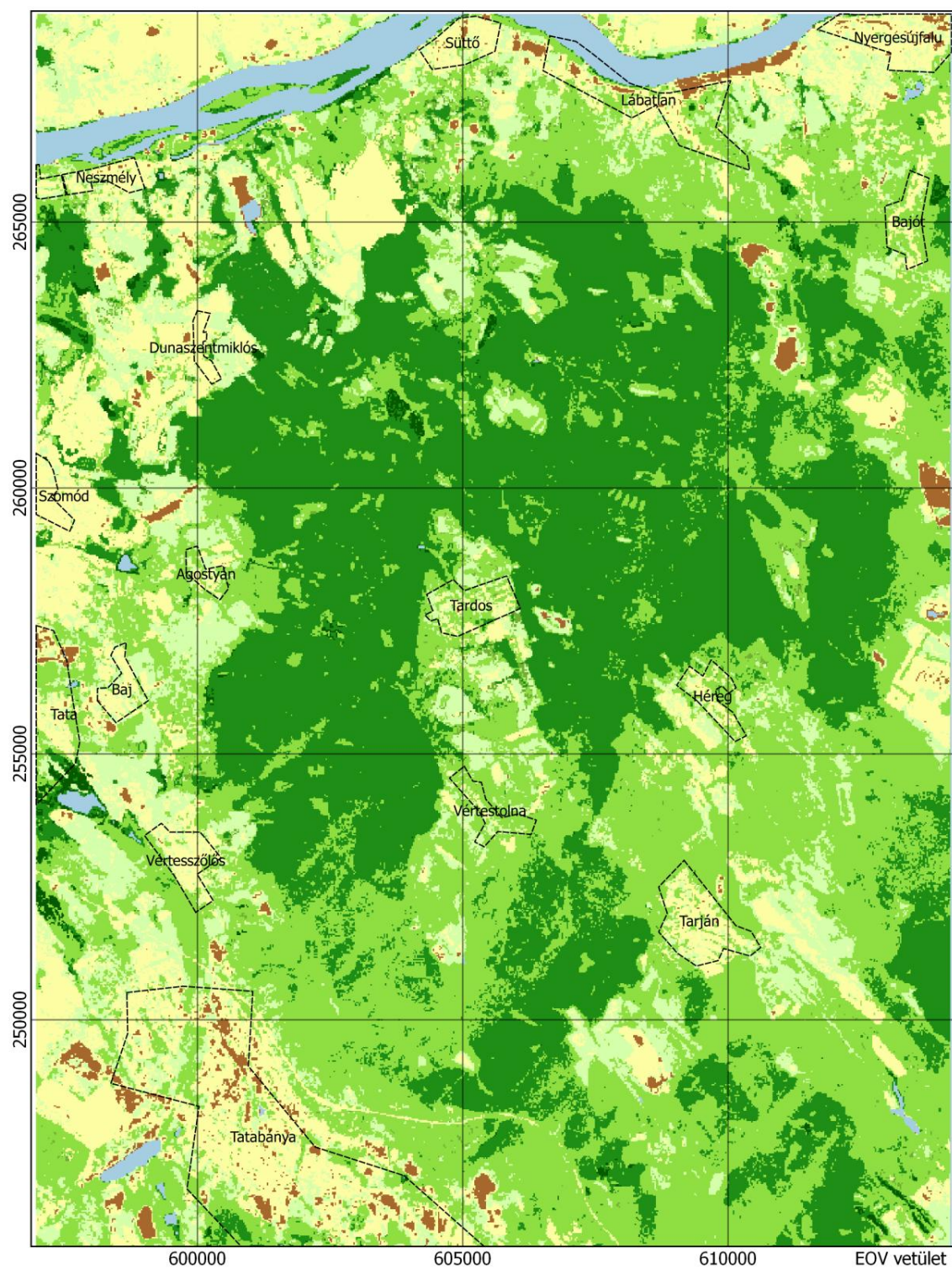
4.3.4. C faktor

A C faktor megmutatja a talajfedettség és a talajhasználat szerepét az erózió mértékében. A növényfedettségnek fontos szerepe van a talajvesztés szempontjából. A növénytakaró típusa befolyásolja az erózió mértékét, minél nagyobb egy növény annál jobban megköti a talajt, illetve felfogja a lehulló csapadékot (pl.: cserjék, fák), és csökkenti a többi tényező hatását a talajvesztésre. Hasonlóképpen befolyásolja a talajművelés is az erózió mértékét, ha erdős, fás területről van szó akkor kisebb, míg ha mezőgazdasági területről van szó, akkor nagyobb a talajpusztulás. Minél sűrűbb és nagyobb növényzet található a területen, annál lassabb a lefolyás sebessége.

A tényező előállításához egy műholdképre volt szükség, ehhez a már korábban említett Landsat7 felvételét használtam. A C-faktort a QGIS Semi-automatic Classification moduljának a segítségével készítettem el. A modulban elkészítettem először az egyes sávok egyesítését, így egy kép tartalmazza mind a 8 sáv adatát. A kép megjelenítését átállítottam hamis színesre, mert így a fedettség jobban látszódik. A növényzet vöröses, a talaj zöldes, míg a vízfelület sötétkékes színű. Ezután létrehoztam egy állományt, amelyben megadtam a ROI-kat (Regions Of Interest), azaz a mintaterületeket. Összesen nyolc különböző kategóriát alakítottam ki. Ezután a Maximum Likelihood algoritmus segítségével elkészítettem a felszín borítottság térképet (Congedo, 2018). Az elkészült eredmény pontosítását terepbejáráson készült fényképek alapján végeztem el (14. ábra). Ezután újra lefuttatva az algoritmust már a végleges eredményt kaptam meg. Végül az egyes fedettségi kategóriákhoz hozzárendeltem a megfelelő C-faktor értékeket (15. ábra), amelyeket Magyarország területére meghatároztak (Panagos, et al., 2015).



14. ábra A terepi bejárás során készített képek és a fedettség összehasonlítása.



C faktor

Belterület határ

Nincs érték - Vízfelület

0.0011 - Tülevelű erdő

0.0017 - Vegyes erdő

0.0306 - Átmeneti fás, bokros

0.0564 - Fűves terület

0.1167 - Legelő

0.1491 - Mezőgazdasági terület

1 - Csupasz talaj

0 1 2 3 4 5 km



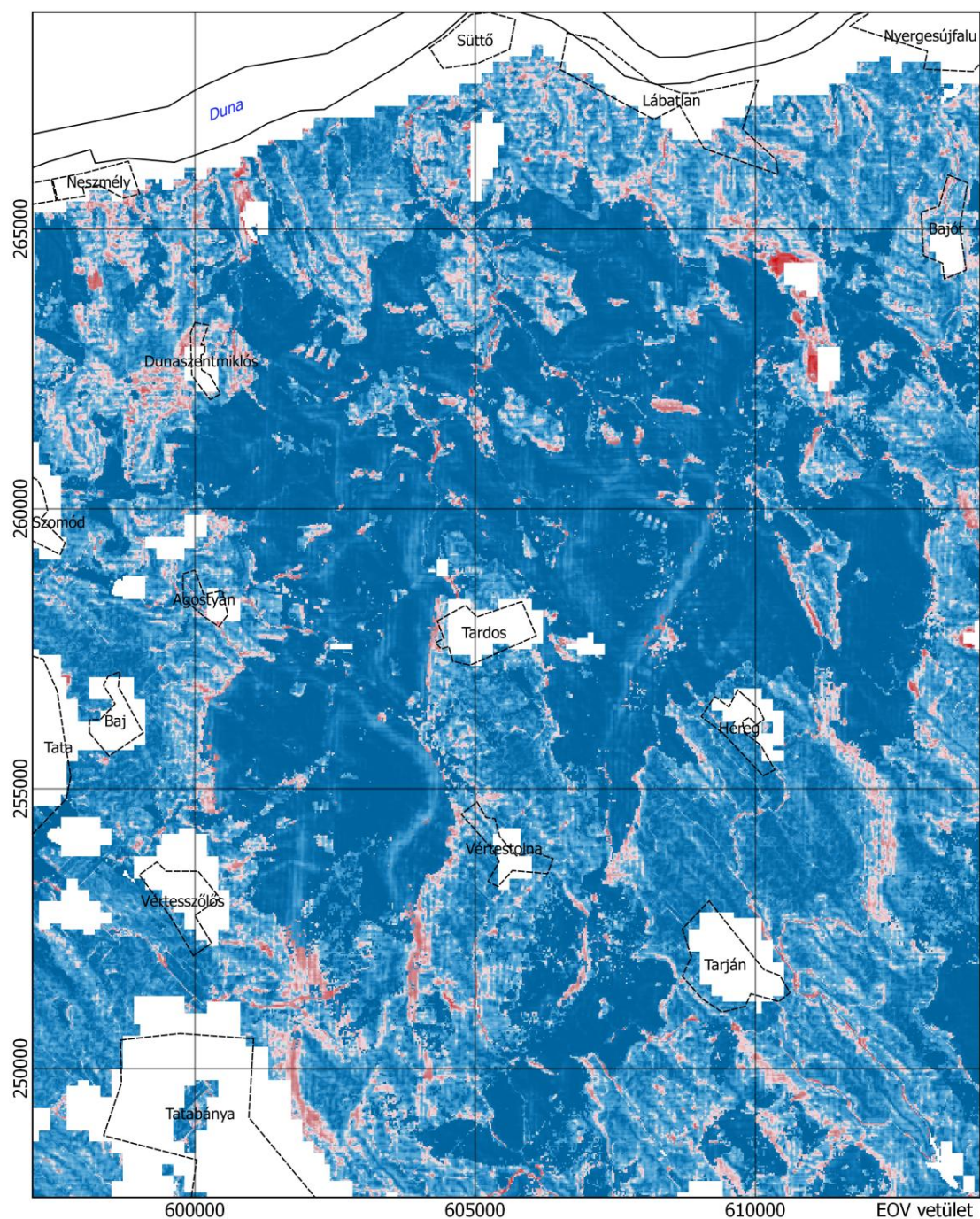
15. ábra C faktor a Gerecse területén.

4.3.5. P faktor

A mezőgazdasági területeken az eső által lemosott talaj mértékének csökkentésére védekező módszereket is alkalmazhatnak. Ilyen módszerek lehetnek a lejtők sáncolása, a teraszos földművelés, valamint egyéb agronómiai talajvédelmi eljárások. A P faktor az alkalmazott talajművelési mód tényezője, azaz a talajveszteség arányát mutatja meg vízszintes, sávos vagy teraszos művelés esetén a lejtő irányú műveléshez képest. A P értéke 0 és 1 között lehet. A faktor értéke akkor 1, ha nincs talajművelés vagy nincs róla adat (Wischmeier & Smith, 1978). Szakdolgozatomban P tényezőjét 1-nek tekintem, ahogy azt Pásztor és munkatársai, 2016-ban is alkalmazták.

5. Eredmények

Miután az egyes faktorok elkészültek, azok összeszorzásával elkészült az éves átlagos talajveszteség (A). Az eredményeket három különböző K értékkel számoltam ki, így három különböző eredményt kaptam az éves talajveszteségre. Az első számítása a Sharply és Williams egyenlet által kiszámított K értékekkel (16. ábra). A második a Schwertmann-féle képlettel számolt K értékekkel (17. ábra), míg a harmadik eredmény a Pásztor és munkatársai által számított K értékekkel készült el (18. ábra). A talajerózió Magyarországon elfogadható mértéke 15 t/ha/év (Stefanovits, 1992).

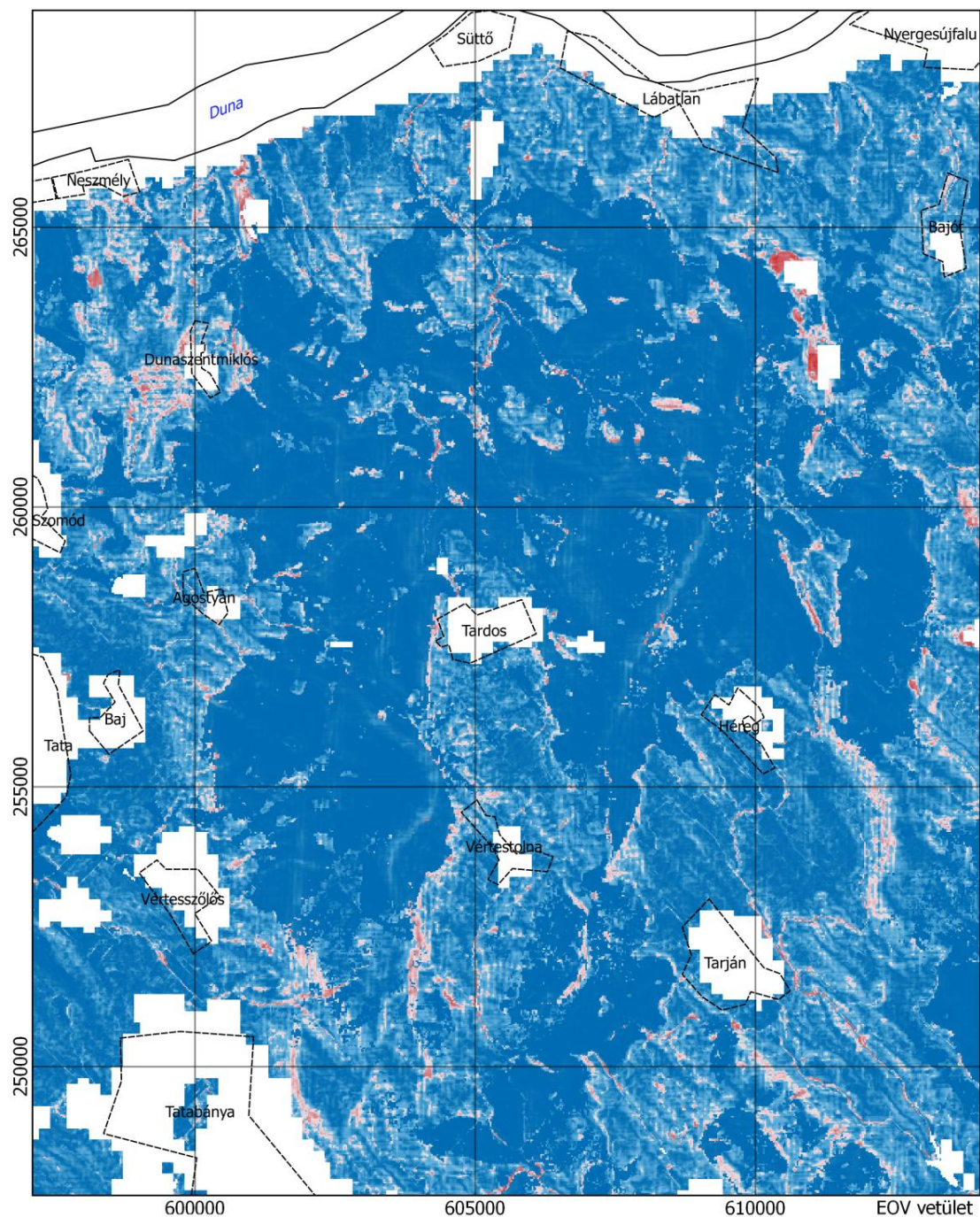


Talajveszteség (t/(ha·év))

□ Belterület határ

□ Nincs adat	100 - 250
0 - 5	250 - 500
5 - 10	500 - 1000
10 - 25	1000 - 3000
25 - 50	3000 - 5000
50 - 70	5000 -
70 - 100	

16. ábra Éves talajveszteség a Gerecse területén.
A Sharply és Williams-féle egyenlettel számolt K értékkel.



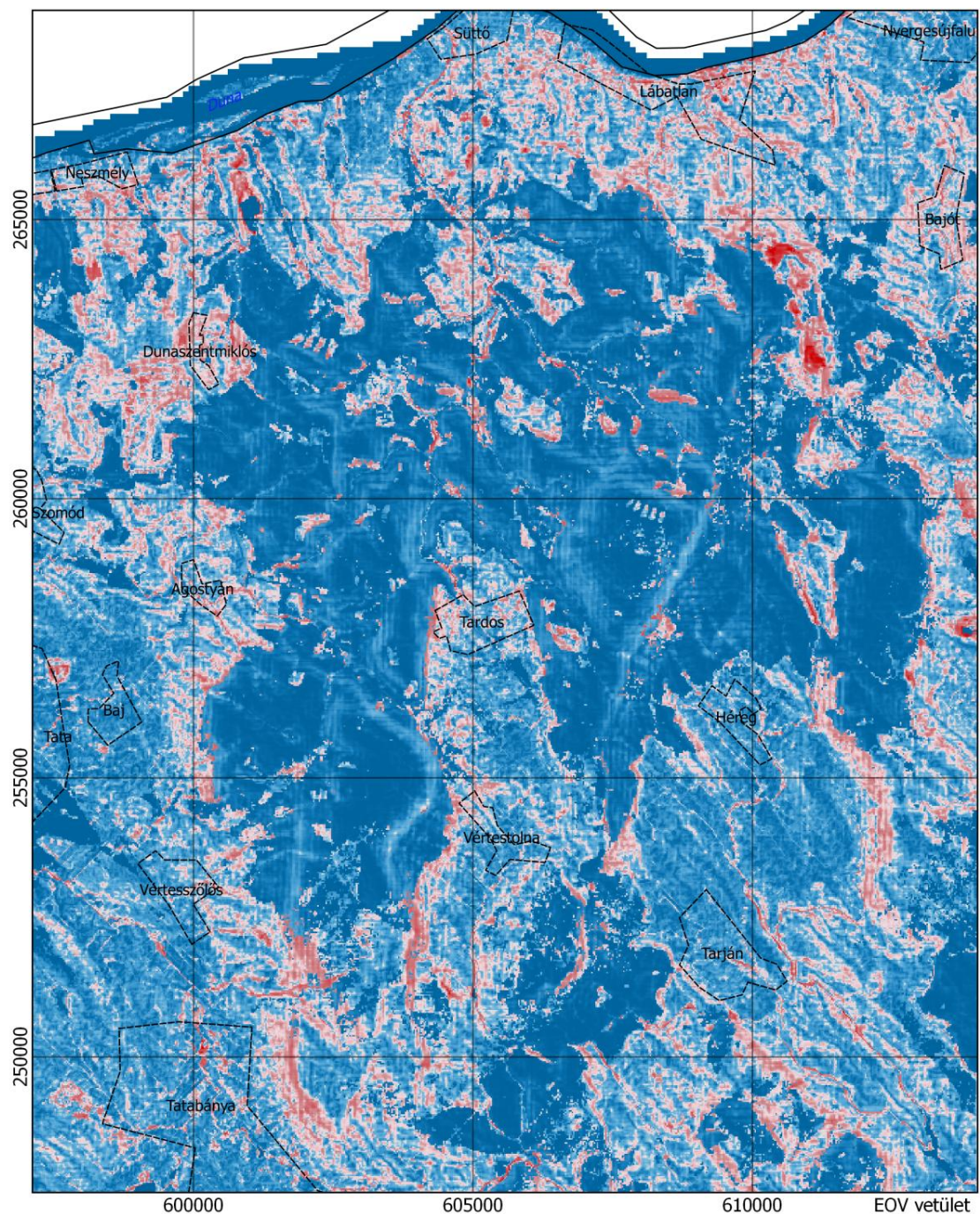
Talajveszteség (t/(h·év))

Belterület határ

Nincs adat	100 - 250
0 - 5	250 - 500
5 - 10	500 - 1000
10 - 25	1000 - 3000
25 - 50	3000 - 5000
50 - 70	5000 -
70 - 100	

0 1 2 3 4 5 km

17. ábra Éves talajveszteség Gerecse területén.
A Schwertmann-féle egyenlettel számolt K értékkel.



Talajveszteség (t/(h·év))

□ Belterület határ

0 - 5	250 - 500
5 - 10	500 - 1000
10 - 25	1000 - 3000
25 - 50	3000 - 5000
50 - 70	5000 - 10000
70 - 100	10000 -
100 - 250	

0 1 2 3 4 5 km



18. ábra Éves talajveszteség a Gerecse területén.

A Pásztor és munkatársai által számolt K értékkel.

6. Eredmények értékelése

Az LS faktor a legegyszerűbben értelmezhető eredmény, hiszen kiszámításához nincs másra szükség, mint egy felületmodellre. Az eredmények jól mutatják, hogy a magas értékek a meredek lejtőknél találhatók. A C tényező előállítása során a megfelelő kategóriák kiválasztásával és mintaterületek megadásával elkészült az automatikus osztályozással besorolt felszínborítottság. A C faktor esetében az eredmények javítását sokban segítette a terepi bejárás.

Meg kell jegyeznem azonban, hogy az egyes tényezők előállítása során felmerült pár érdekesség. Az R faktor esetében nem egy 2000-es évi adatsorral dolgoztam, ennek ellenére az értékeiben felmerül némi bizonytalanság. Az R faktor 2750 és 3100 - $MJ \cdot mm \cdot ha^{-1} \cdot h^{-1} \cdot év^{-1}$ értékeket vesznek fel. Ezzel szemben készült egy tanulmány Európa területéről, amelyben Magyarországra vonatkozóan az R tényező értékei 410 - 900 $MJ \cdot mm \cdot ha^{-1} \cdot h^{-1} \cdot év^{-1}$ között vannak (Pangos, et al., 2015).

A következő érdekesség a K faktor értékeinél adódott. Az első két esetben a számítások még egymáshoz közeli értékeket adtak eredményül, de ezzel szemben a Pásztor és munkatársai által számított K tényező körülbelül a dupláját eredményezte. Ezek az értékek alapján elkészült éves talajveszteség is jól mutatja a különbségeket az egyes térképeken. Elsősorban a magasabb értékeknél tűnik fel az eltérés, főleg egy -két kiugró eredménynél pl.: $10000 t \cdot ha^{-1} \cdot év^{-1}$.

7. Összegzés

Dolgozatomban rámutatok a talajerózió ismeretének a fontosságára, és annak mértékét a Gerecse területén térképek segítségével bemutatom. Munkám során ingyenesen elérhető felszínmodell (SRTM) és műholdfelvétel (Landsat 7) valamint talajtérképek (DOSoReMi.hu) segítségével kiszámoltam a Gerecse területére a talajerózió éves mértékének értékét a világszerte alkalmazott USLE egyenlettel. Fontos volt a számítások előtt az egyes nyers anyagokat azonos vetületbe és felbontásúvá konvertálni, hogy a későbbi számítások során ezzel ne legyen probléma. Ez a vetület az EOV lett és a megfelelő felbontás az 25 m/pixel. Az egyes tényezők bemutatása és kiszámolása során jutottam el az eredményhez. Az R tényező a csapadék eróziós potenciálja, mely megmutatja az esőzés szerepét ebben a komplex rendszerben. A K faktor a talaj erodálhatóságát mutatja meg, mely a talaj anyagi tulajdonságai alapján számolható ki. Ez a

tényező több módszer alkalmazásával is megjelenik a dolgozatban. Az egyenlet morfolometriai tényezője az LS faktor, mely a lejtő hosszának és meredekségének kombinációjából áll elő. A C faktor a terület növényborítottságán alapszik, míg a P tényező a talajművelés során alkalmazott talajvédő módszereken. A tényezők szorzataként megkaptam az éves átlagos talajveszteséget. Mivel három különböző K értékkel számoltam, így három különböző térkép lett az eredmény. Ezeknek a tényezőknek az előállításánál a QGIS és a Global Mapper térinformatikai programokat használtam fel.

Az eredmények is jól mutatják, hogy a számítás mennyire összetett és, hogy egyes tényező mennyire befolyásolhatja az eredményeket. A jövőben érdekes lenne ugyanezekre az adatokra további összehasonlításokat is elvégezni az USLE módosított egyenleteivel.

Irodalomjegyzék

- Albert, G. (2013). A kőpatak völgye. *Természet Világa*, 144(2), pp. 85-86.
- Albert, G. (2017). 6. Geomorfológiai térképek. *Tematikus térképek a geotudományokban*. Egyetemi jegyzet.
- Bartholy, J., & Weidinger, T. (1997). Magyarország éghajlati képe. In D. Karátson, *Magyarország földje* (pp. 224-225.). Budapest: Kertek2000 Kiadó.
- Budapesti Erdőgazdaság Zrt. (2018). Forrás: <http://www.bp-erdo.hu/hu/magunkrol/suttoi-erdeszet>
- Centeri, C., Szalai, Z., Jakab, G., Barta, K., Farsang, A., Szabó, S., & Bíró, Z. (2015). Soil erodibility calculations based on different particle size distribution measurements. 64(1), pp. 17-23.
- Congedo, L. (2018). *Semi- Automatic Classification Plugin Documentation*. Release 6.1.0.1.
- DOSoReMI.hu. (2018). Retrieved from www.dosoremi.hu
- Farr, T. G., Rosen, P. A., Caro, E., Crippen, R., Duren, R., Hensley, S., . . . Alsdorf, D. (2007). The shuttle radar topography mission. *Reviews of geophysics*, 45(2).
- Foster, G. R., McCool, D. K., Renard, K. G., & Moldenhauer, W. C. (1981). Conversion of the universal soil loss equation to SI metric units. *Journal of Soil and Water Conservation*, 36(6), pp. 355-359.
- Gerzsenyi, D. (2016). *Morfometriai és morfográfiai térképek szerkesztése a Gerecse ÉNY-i területének domborzatmodellje alapján*. Budapest.
- Gerzsenyi, D., & Albert, G. (2017). Landslide susceptibility estimations in the Gerecse hills (Hungary). In *EGU General Assembly Conference Abstracts* (Vol. 19., p. 4146).
- Juhász, Á. (1997). Dunántúli-középhegység. In D. Karátson, *Magyarország földje* (pp. 316-324.). Budapest: Kertek2000 Kiadó.
- Kis, É., & Balogh, J. (2013). A Gerecse felszínmozgásos területei. In É. Kis, *Terresztikus domborzatfejlődés a Vértes és a Gerecse környezetében a bérbaltaváriumtól a holocénig* (pp. 121-137.). Budapest: Magyar Tudományos Akadémia- Csillagászati és Földtudományi Kutatóközpont.
- NASA. (2018). Retrieved május 1., 2018, from www.nasa.gov
- Panagos, P., Borrelli, P., Meusburger, K., Alewell, C., Lugato, E., & Montanarella, L. (2015). Estimating the soil erosion cover-management factor at the European scale. *Land Use Policy*, 48, pp. 38-50.

- Pangos, P., Ballabio, C., Borelli, P., Meusburger, K., Klik, A., Rousseva, S., . . . Alewell, C. (2015). Rainfall erosivity in Europe. *Science of the Total Environment*, 511, pp. 801-814.
- Pásztor, L., Laborczi, A., Szatmári, G., Takács, K., Illés, G., & Szabó, J. (2017). Mi várható a megújult hazai talaj téradat infrastruktúráról?
- Pásztor, L., Szabó, J., Bakacsi, Z., Laborczi, A., Dobos, E., Illés, G., & Szatmári, G. (2014). Elaboration of novel, countrywide maps for the satisfaction of recent demands on spatial, soil related information in Hungary. In *Global Soil Maps: Basis of the global spatial soil information system* (pp. 207-212.). London: Taylor&Francis.
- Pásztor, L., Waltner, I., Centeri, C., Belényesi, M., & Takács, K. (2016). Soil erosion of Hungary assessed by spatially explicit modelling. *Journal of Maps*, 1-8.
- Presbitero, A. L. (2013). *Soil erosion studies on steep slopes of humid-tropic Philippines*. Queensland, Australia: School of Environmental Studies, Nathan Campus, Griffith University.
- Ruszkiczay-Rüdiger, Z., Fodor, L., Csillag, G., Braucher, R., Kele, S., Novothny, Á., . . . Team, A. (2016). Spatially and temporally varying Quaternary uplift rates of the Gerecse Hills, Northern Pannonian Basin, using dated geomorphological horizons in the Danube valley. In *EGU General Assembly Conference Abstracts* (Vol. 18., p. 6463).
- Schweitzer, F. (1989). Surface movements of the Gerecse Mountain's northern part. In J. Galamos, *Selected environmental studies* (pp. 34-35.). Budapest: Geographical Research Institute, Hungarian Academy of Sciences.
- Schwertmann, U., Vogf, W., Kainz, M., Auerswald, K., & Martin, M. (1987). *Bodenerosion durch Wasser*. Stuttgart, Ulmer.
- Sharply, A. N., & Williams, J. R. (1990). *EPIC- erosion/productivity impact calculator: 1. Model documentation*. U.S. Department of Agriculture Technical Bulletin No. 1768.
- Stefanovits, P. (1992). *Talajtan*. Budapest: Mezőgazda Kiadó.
- Szendrei, G. (1998). XII. Talajpusztulás. In *Talajtan* (pp. 235-241.). Budapest: ELTE Eötvös Kiadó.
- USGS. (2018). Retrieved május 1., 2018, from www.usgs.gov
- Wischmeier, W. H. (1959). A rainfall erosion index for a universal soil-loss equation 1. *Soil Science Society of America Journal*, 3, pp. 246-249.

Wischmeier, W. H., & Smith, D. D. (1978). *Predicting rainfall erosion losses- a guide to conservation planning*. USA: USDA, Science and Education Administration.

Melléklet

CD melléklet:

Áttekintő térkép a Gerecse területéről: attekinto.pdf

R faktor a Gerecse területére: r_faktor.pdf

K faktor a Gerecse területére a Sharply és Williams egyenlet alapján: k_faktor_sharply_es_williams.pdf

K faktor a Gerecse területére a Schwertmann egyenlet alapján: k_faktor_schwertmann.pdf

K faktor a Gerecse területére, Pásztor és munkatársainak az eredménye: k_faktor_pasztor.pdf

LS faktor a Gerecse területére: ls_faktor.pdf

C faktor a Gerecse területére: c_faktor.pdf

Lejtőmeredekség térkép a Gerecse területéről: lejtoszog.pdf

Lefolyás-akkumulációs térkép a Gerecse területén: lefolyas_akkumulacio.pdf

Talajveszteség térkép a Sharply és Williams egyenlettel számított K értékekkel: talajveszteseg_k_faktor_sharply_es_williams.pdf

Talajveszteség térkép a Schwertmann egyenlettel számított K értékekkel: talajveszteseg_k_faktor_schwertmann.pdf

Talajveszteség térkép a Pásztor és munkatársai által számított K értékekkel: talajveszteseg_k_faktor_pasztor.pdf

Az áttekintő térkép 1 : 85 000 méretarányban, míg a többi térkép 1 : 95 000 méretarányban készültek.

Köszönetnyilvánítás

Szeretném megköszönni témavezetőmnek, dr. Albert Gáspárnak, hogy hétről hétre segítette munkámat. Továbbá szeretnék köszönetet mondani Szabó Juditnak, hogy tapasztalatait megosztotta velem, valamint Pásztor Lászlónak, hogy felhasználhattam a kutatási eredményeiket és mindazoknak, akik bármely formában hozzájárultak ennek a dolgozatnak az elkészüléséhez.

Nyilatkozat

Alulírott, Takáts Tünde nyilatkozom, hogy jelen szakdolgozatom teljes egészében saját, önálló szellemi termékem. A szakdolgozatot sem részben, sem egészében semmilyen más felsőfokú oktatási vagy egyéb intézménybe nem nyújtottam be. A szakdolgozatomban felhasznált, szerzői joggal védett anyagokra vonatkozó engedély a mellékletben megtalálható.

A témavezető által benyújtásra elfogadott szakdolgozat PDF formátumban való elektronikus publikálásához a tanszéki honlapon

HOZZÁJÁRULOK

NEM JÁRULOK HOZZÁ

Budapest, 2018. május 15.


.....
a hallgató aláírása