

**XX. reál- és humántudományi Erdélyi Tudományos Diákköri Konferencia (ETDK)**

**Kolozsvár, 2017. május 18–21.**

**Összehasonlító elemzés földrajzi  
információs rendszerekre alapuló  
módszereket használva a  
földcsuszamlásokra való hajlamnak a  
feltérképezésére.**

**Esettanulmány: Szilágysági-dombság**

**Szerző:**

**Kerekes Anna-Hajnalka**

Babeş–Bolyai Tudományegyetem, Kolozsvár, Földrajz Kar, térképészet szak, alapképzés, III. év

**Témavezető:**

**dr. Horváth Csaba** egyetemi adjunktus,

Babeş–Bolyai Tudományegyetem, Kolozsvár, Földrajz Kar, Technikai- és Fizikai földrajz tanszék

# Tartalomjegyzék

## **1. Bevezető**

1.1.A kutatás célja és tárgya

1.2.Kutatási módszerek

1.2.1.Elméleti módszerek

1.2.2.Empirikus módszerek

## **2. A terület tanulmánya**

2.1.Földrajzi leírás

## **3. Felhasznált módszerek és adatgyűjtés**

3.1.Adatbázis létrehozás

3.2.Földcsuszamlások feltérképezése

3.3.Földcsuszamlást okozó tényezők azonosítása

3.4.Térbeli elemzés

3.4.1. Statisztikai index

3.4.2. Frekvencia arány

3.4.3. Maximális entrópia

## **4. Kiértékelés**

4.1.ROC görbe

4.2. Eredmények

## **5. Összegzés**

## **6. Irodalomjegyzék**

## **Kivonat**

A földcsuszamlás lejtős térszíneken, gravitációs erő hatására történő deráziós folyamat, mely komoly gazdasági következményeket vonhat maga után. Ebből az okból kifolyólag alkalmaznunk kell különböző megelőzési munkálatokat, melyek egy, suvadásnak kitett, terület különböző geomorfológiai, hidrológiai, meteorológiai és földhasználati paramétereinek a felmérésével, illetve elemzésével valósítható meg. A megelőzési munkálatok alapját a földcsuszamlásra való hajlamnak a feltérképezése jelenti, mely figyelembe veszi az előbb említett paramétereket.

Dolgozatom célja a Szilágysági-dombság földcsuszamlásra való hajlamának feltérképezése. Ennek érdekében, földrajzi információs rendszerek (GIS) segítségével, három térstatisztikai módszert használtam és elemeztem, kiválasztva ezek közül a leghatékonyabbat, figyelembe véve a választott terület geomorfológiai, meteorológiai és földhasználati tulajdonságait.

**Kulcsszavak:** *GIS, térstatisztika, földcsuszamlásra való hajlam, Szilágysági-dombság*

# **1. Bevezető**

## **1.1.A kutatás célja és tárgya**

A földcsuszamlás destruktív, romboló természetes – vagy antropogén deráziós folyamat, mely komoly problémákat okozhat a gazdasági rendszerben, befolyásolva az érintett terület lakosságát, a földhasználatát, az infrastruktúráját és a birtokszerkezetét. E okból kifolyólag fontossá válik e folyamat feltérképezése és elemzése. Analizálva a folyamat összetevőit, létrehozhatunk egy földcsuszamlásra való hajlam térképet, mely megmutatja azokat a területeket, ahol a legvalószínűbb lejtőmozgás megjelenése.

A földcsuszamlásra való hajlam térképe kifejezi egy terület suvadásnak való kitettségét. Egy ilyen térkép létrehozása pontos, alapos adatbeszerzést és elemzési módszereket követel, mivel a térkép alapján különböző területfejlesztési stratégiákat és programokat, katasztrófavédelmi eljárásokat, környezet védelmét, és felelős természetes erőforrás-felhasználást lehet létrehozni [4].

A Szilágysági-dombság litológiai, geomorfológiai, meteorológiai és földhasználati paramétereit elemezve megállapítható, hogy a terület deráziós folyamatoknak van kitéve, ezáltal kutatásunk célja egy matematikailag érvényes földcsuszamlásra való hajlam térkép elkészítése. Ennek érdekében kiválasztottunk három térstatisztikai módszert, melyek segítségével a földcsuszamlást okozó paramétereket analizáltunk, és létrehoztunk három hajlamossági térképet. Mivel fontos, hogy a térkép minnél pontosabb legyen, összehasonlítottuk az eredményeket a ROC görbe segítségével, és kiválasztottuk ez alapján a legmegfelelőbb térstatisztikai modellt, ami ezen területre lett alkalmazva.

A Szilágysági dombság hajlamossági térképe pontos és alapos adatgyűjtés és elemzés által lett elkészítve, így megbízhatóvá válik különböző területfejlesztési stratégiák és katasztrófavédelmi eljárások létrehozására.

## **1.2.Kutatási módszerek**

A földcsuszamlás az emberiség történelmében mindig is komoly károkat okozott. Az emberiség fejlődése következtében az antropikus beavatkozások (új települések megjelenése, útépités, városok terjeszkedése, különböző építkezése folyamatok, a földek mezőgazdasági

úton való kiaknázása, erdőírtások, túllegeltetés) gyakorisága megnőtt, a földfelszínt ezáltal hajlamossá téve különböző deráziós folyamatok megjelenésére. Ezáltal, fontossá válik egy terület földcsuszamlásra való hajlamának feltérképezése, melynek alapja a tudatos, tervszerű és megfelelő kutatási módszerek kiválasztása és alkalmazása.

„A kutatás [...] tudatos és tervszerű, az ismeretlen megismerésére törekvő, főként logikai princípiumok, általános és speciális módszerek, vizsgálati, kísérleti és elemzési technikák segítségével végrehajtott, a tudomány ismereteit a gyakorlaton keresztül érvényesítő, vagy az ismeretlent ismeretessé tevő tudományos tevékenység.” [5] A jelen tanulmányba évégett a következő módszereket használtam: hagyományos és modern módszerek, melyek empirikus és gyakorlati metodológiákat foglalnak magukban.

### ***1.2.1. Empirikus módszerek***

Az egyik legrégebbik kutatási módszer a ***megfigyelés***. Ez a módszer kétféle képpen valósulhat meg: közvetlen és közvetett megfigyelési módszerek által [5]. A kutatás során mindkét módszert felhasználtuk egy pontosabb és alaposabb eredmény elérése érdekében.

A közvetlen módszer rendszeres terepmegfigyelés és különböző kijelölt utak bejárásával lett megvalósítva, ezáltal aprólékosan megfigyelhettük a földcsuszamlás rendszerének és különböző alkotóelemeinek a tulajdonságait, dinamikáját és egymás közötti kapcsolatait. E módszer segítségével végezhattünk különböző összehasonlításokat, hogy jobban megértsük a folyamatok lezajlását.

A közvetett módszer légi felvételek, ortofotók, műholdas képek és topográfiai térképek elemzésével valósult meg, mivel a tanulmányozott terület felszínének nagysága bizonyos korlátokat szab meg.

### ***1.2.2. Elméleti módszerek***

Az elméleti kutatás logikai erőt követel [6]. Így, kutatásunk során a következő módszereket használtuk fel:

Az ***indukció*** és ***dedukció*** módszere, mely az “ismerttől az ismeretlen felé végzett mozgást” [6] fejezi ki. Az indukció során az alkotóelemek, folyamatok vizsgálata és kutatása az egyedi jellemzőkből indult ki, amelyek alapján általános tulajdonságokra tudunk következtetni. A dedukció az indukció ellentéte, e folyamat által meg tudtuk határozni a földcsuszamlás alkotóelemei által létrehozott rendszer kvalitatív tulajdonságait.

Az **analízis** az elméleti kutatásban fontos szerepet kap, mivel a vizsgált rendszer alkotóelemeinek a részekre bontásával lényeges új tulajdonságokra, információkra tehetünk szert, ugyanakkor, e folyamat által megérthetjük a lejátszódó jelenségek és tárgyak funkcióit és tulajdonságait [6]. A **szintézis** szorosan kapcsolódik az analízishez, mivel rekonstruálja az analízisben szétszedett rendszert, ezáltal egy végső képet létrehozva az alkotóelemek és jelenségek térbeli struktúrájáról és törvényeiről, melyek meghatározzák a rendszer dinamikáját.

A **matematikai módszerek** segítségével különböző kvantitatív elemzéseket (térbeli statisztikai módszereket alkalmazva) hozhattunk létre, ezáltal a tanulmány során megjelenő elméleti problémák illusztrálhatóvá válnak, ezáltal kifejezőbbé téve a dolgozatot.

Az **összehasonlítás** az egész dolgozat során megjelenő kutatási módszer, mely elengedhetetlen a rendszer elemei és felhasznált statisztikai módszerek közötti azonosságok és különbségek kiemeléséhez és kiértékeléséhez. E módszer segítségével meg tudtuk határozni azon paramétereket, melyek suvadásra hajlamossá teszik a vizsgált területet, ugyanakkor meg tudtuk állapítani, hogy az általunk felhasznált statisztikai módszerek közül melyik a legalkalmasabb a hajlamossági térkép létrehozására.

**GIS módszerek** használata egy újszerű jelenség, amely különböző felszerelések, programok, és földrajzi adatok sokaságából épül fel, melyek segítségével olyan adatokat tárolhatunk, integrálhatunk, manipulálhatunk, elemezhetünk és megtekinthetünk, melyeknek térbeli referenciával rendelkeznek [7].

A tanulmányba felhasznált adatok a következők: légi felvételek, ortofotók, szatelites képek és topografikus, geológiai, földhasználati térképek, meteorológiai adatok (melyekből interpoláció segítségével tematikus térképeket hoztunk létre további elemzések érdekében). Ezek a térképek és felvételek a digitális adatbázis alapját képezik, melyek segítségével különböző számításokat, statisztikai módszereket alkalmazhatunk a vizsgált területen, hogy jobban megérthessük bizonyos folyamatok és alkotóelemek közötti kapcsolatokat.

A jelen tanulmányhoz felhasznált tematikus térképeket az ArcGIS programban hoztuk létre, a topográfiai (1:25.000) és geológiai (1:1.000.000) térkép georeferenciálásával, vektorizálásával és meteorológiai adatok (évi csapadékmennyiség és hőmérséklet) interpolálásával. Egy pontosabb domborzatmodell érdekében interpolálást alkalmaztunk, felhasználva a topográfiai térképről vektorizált szintgörbéket. A földhasználati tematikus

térkép létrehozása érdekében a Corine Land Cover 2012-t használtuk. A földcsuszamlás leltára a légi felvételek és tematikus térképek segítségével valósult meg.

A következő táblázat tartalmazza a tanulmány során felhasznált adatokat:

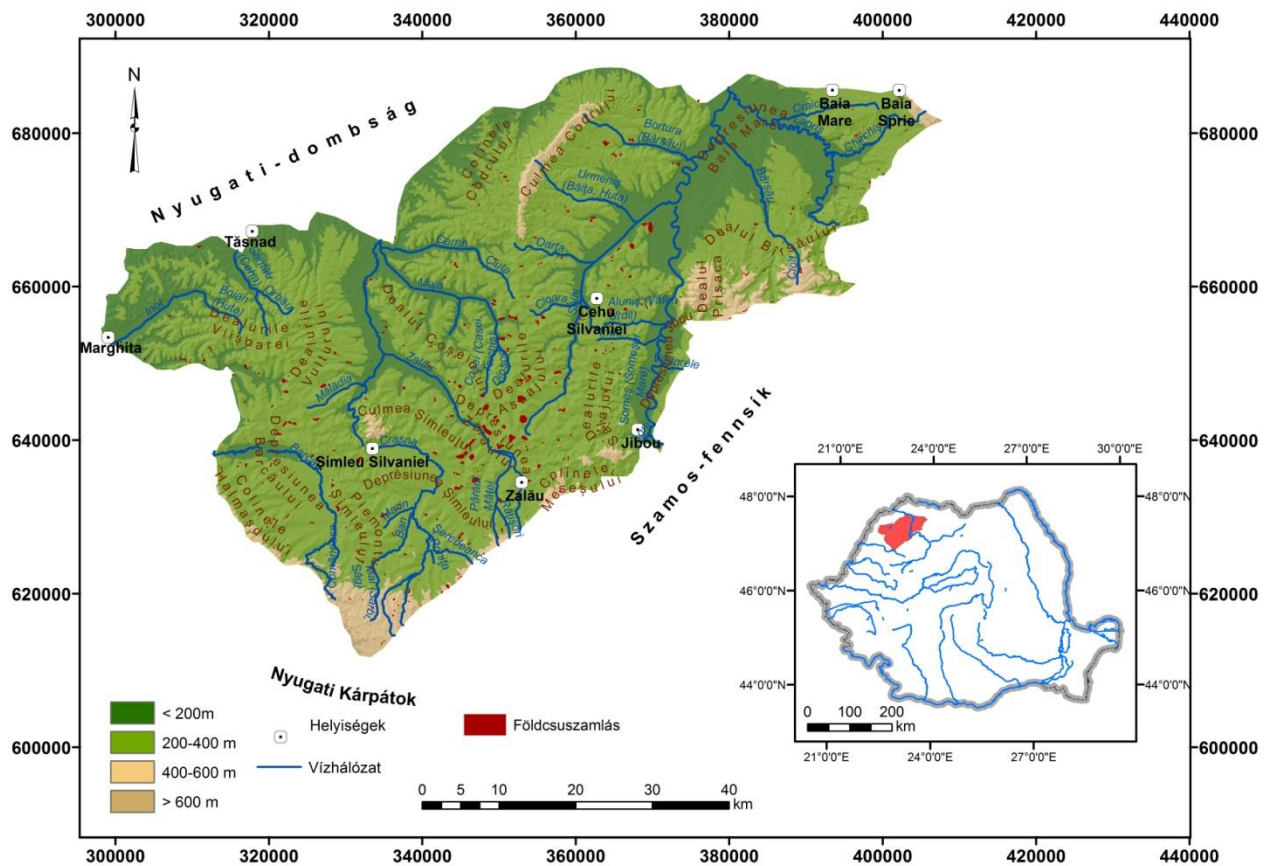
Nr	Név	Típus	Struktúra	Forrás
1	Földcsuszamlás-leltár	Vektor	Poligon	Légi, műholdas képek, orotfotók
2	Lejtő	Raszter	Grid	DEM (30x30)
3	Kitettség	Raszter	Grid	DEM (30x30)
4	NDVI	Raszter	Grid	Landsat TM
5	Földhasználat	Vektor	Poligon	Corine Land Cover 2012
6	Litológia	Vektor	Poligon	Geológiai térkép, 1:1000.000
7	Csapadékmennyiség	Raszter	Grid	rp5.ru
8	Hőmérséklet	Raszter	Grid	rp5.ru
9	Relief energia	Raszter	Grid	DEM (30x30)
10	Vízhalózat sűrűség	Raszter	Grid	DEM (30x30)
11	Sík- és profil görbület	Raszter	Grid	DEM (30x30)
12	Felülett egyenletlensége	Raszter	Grid	DEM (30x30)

## 2.A terület tanulmánya

### 2.1 Földrajzi leírás

A Szilágysági-dombság a Nyugati-dombvidék alegysége, mely Románia észak-nyugati részén terül el. A tanulmányozott terület a következő határral rendelkezik: északon a Körösök és Szamos alföldje, északon és nyugaton a Szamos és Meszes, keleten a Bükkvidéki-dombság és délen a Berettyó [15].

Morfológiai szempontból, a területet meredek lejtők jellemzik ( $0^0$  és  $40^0$  közötti értékek), ugyanakkor a magassága 150 és 850 m között változik, átlagmagassága 400 m körüli [15].



1. Ábra

A fenti ábra [9] a tanulmányozott terület földrajzi elhelyezkedését és a jelenlegi földcsuszamlások helyét mutatja be. A Szilágysági-dombság ugyanakkor 20 alegységre osztható [21]: Plopiș-dombság, Plopiș-medence, Bănișorului- dombság, Kraszna-medence, Meszes, Osteanci-dombság, Meseșeni-Panic-dombság, Zilahi-medence, Codrului-dombság, Zilah-ártér, Zilahi-dombság, Guruslău-medence, Șimleului-csúcs, Chilioarei-csúcs, Codrului-csúcs, Toglaciului-dombság, Sarmasági-dombság, Codrului-dombság, Kraszna- ártér, Berettyó-ártér.

Geológiai és geomorfológiai szempontból, mivel ez a terület badén-, szarmata- és pannon-kori lemeztetktonikai mozgásoknak volt kitéve, a területen három domborzati forma jelenik meg: kristályos pala szigetek, amelyek magassága 400 m felett helyezkedik el; dombsági területek, mely a legkiterjedtebb domborzati forma (a magasság 150-500m között változik); pannon kori üledékekkel van borítva (homok és agyag); illetve a medencék és völgyek térsége, mely kvaterner es pannon üledéket tartalmaz [15].

Elemelve a terület morfológiai, geomorfológiai és geológiai tulajdonságait, észrevehetjük azt, hogy a meredek lejtők és a geológiai összetétele a területnek mind földcsuszamlást okozó paraméter, melyek suvadásra hajlamossá teszik a vizsgált dombságot.



Hidrológiai szempontból a Szamos vízgyűjtő területéhez tartozik a tanulmányozott dombság, mely több rövid mellekfolyót tartalmaz, közülük a legfontosabbak: a Kraszna, az Almás és Berettyó.

Meteorológiai szempontból kontinentális mérsékelt éghajlat jellemzi, meleg nyarakkal és nem túl hideg telekkel. Az évi középhőmérséklet  $10^0$  C körüli, míg az évi csapadékmennyiség 600-700 mm [15]. A lejtőmozgások így klimatikus paraméterek által is befolyásolva vannak: tavasszal az olvadás-fagyás jelensége meglazítja a talajszerkezetet, nyáron a hirtelen esőzések erodálják a talajfelszínt, míg télen a fagyás következtében a talaj szerkezete kompakttá válhat.

A lejtőkön történő anyagmozgások antropikus folyamatok által is befolyásolva vannak. Légi felvételeken azonosíthatunk különböző, ember által indukált suvadásokat, melyek okai a következők voltak: építkezések, bányászat, erdőirtás, túllegeltetés, illetve a termőtalaj kizsákmányolása.

Mindezek a tulajdonságok földcsuszamlást idézhetnek elő, ezért fontossá válik mindegyik elemzése. A térség tulajdonságai elemezve, ki tudjuk választani a legmegfelelőbb paramétereket, melyeket majd felhasználunk a további analízisek során.

### **3.Felhasznált módszerek és adatgyűjtés**

#### **3.1. Térbeli adatbázis**

Az első lépés egy adott terület suvadásra való hajlamának feltérképezésére a földcsuszamlást okozó tényezők azonosítása és az ennek alapján történő adatok gyűjtése, melyek később feldolgozásra és elemzésre lesznek felhasználva [4,6,10]. Annak érdekében, hogy releváns hajlamossági térképet generáljunk, GIS (Geographic Information System-Földrajzi Információs Rendszer) technikákat (térstatisztika) és softwaret (ArcGIS 10.2.2) használtunk. E program és technika segítségével kidolgozhattunk különböző térbeli analíziseket, melyek alapján kvantitatív és kvalitatív információkat tudtunk kielemezni az azonosított deráziós folyamatról.

A kutatás során több típusú adatot használtunk fel, melyek földcsuszamlást okozó faktorokként lettek felismerve: meteorológiai, hidrológiai, geomorfológiai és földhasználati paramétereket azonosítottunk, melyek térbeli földrajzi elemekként kerültek be az adatbázisba [1,2,4]. Ez az adatbázis tizenkét suvadást okozó paramétert tartalmaz: litológia, földhasználat, Normalizált Vegetáción Index (Normalized Difference Vegetation Index, NDVI), évi

csapadék- és hőmérséklet eloszlás, digitális domborzatmodellből származó paraméterek (Digital Elevation Model, DEM)- lejtés, kitettség, relief energia, a felszín elsődleges görbületei, vízhálózat sűrűség, a felszín egyenletlensége.

### 3.2.Földcsuszamlások azonosítása

Ahhoz, hogy elemezhesük egy terület földcsuszamlásra való hajlamát, létre kell hoznunk egy úgynevezett földcsuszamlás-leltárat [3]. Az adatok gyűjtése e leltárba nagyon pontos és alapos kell legyen annak érdekében, hogy létrehozassunk egy érvényes hajlamossági térképet. Ez a leltár alapvető információkat nyújthat egy adott terület veszélyességi, sebezhetőségi és kockázati térképeinek kiértékeléséhez, melyek alapján különböző katasztrófavédelmi eljárásokat lehet alkalmazni.

A kutatás a földcsuszamlás-leltár létrehozásával kezdődött, mely a suvadások vektorizálását foglalja magába. Ez a folyamat magas felbontású műholdas fényképek (forrás: Google Earth, ANCPI, Open Street Map) és topográfiai térképek (1:25.000) segítségével valósult meg. Összesen 621 földcsuszamlást azonosítottunk, melyek a vizsgált terület 0,45%-át érinti [9].

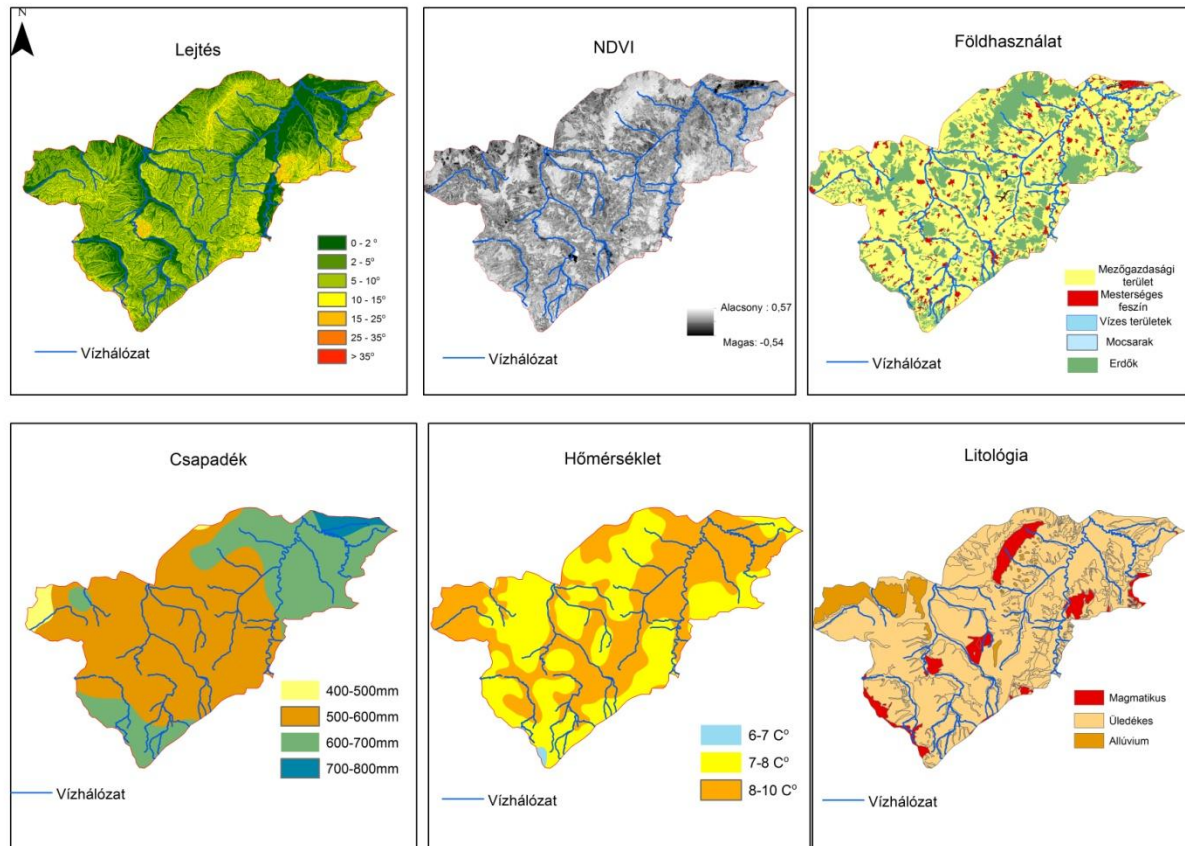
### 3.3.Földcsuszamlást okozó tényezők

A jelen tanulmányban tizenkét földcsuszamlást okozó faktor lett elemezve (2-es és 3-as ábra, [9]). Ezekből a paraméterekből tematikus térképeket hoztunk létre, melyek a Spatial Analysis Tool segítségével lettek generálva az ArcGIS 10.2 software felhasználásával.

Az egyik legfontosabb és leggyakrabban használt suvadást befolyásoló tényező, a *lejtő* [1,4,6,11,12,13]. A tömegmozgás lejtős területeken játszódó folyamat, mely a gravitációs erő hatására alakul ki. Egy alapkövetelmény suadás megjelenésére, egy minimális lejtőszög fennállása, amely lehetővé teszi a felszíni csúszást. E nélkül, az instabil lerakódások süllyedésnek lennének kitéve [2]. A lejtés térkép a digitális domborzati modellből lett előállítva, melynek a felbontása 30 x 30 m. A raszter térkép 7 osztályra lett felosztva:  $0^{\circ}$ - $2^{\circ}$ ,  $2^{\circ}$ - $5^{\circ}$ ,  $5^{\circ}$ - $10^{\circ}$ ,  $10^{\circ}$ - $15^{\circ}$ ,  $15^{\circ}$ -  $25^{\circ}$ ,  $25^{\circ}$ - $35^{\circ}$ ,  $35^{\circ}$ - $41^{\circ}$ . Megállapítottuk, hogy a legtöbb földcsuszamlás  $5^{\circ}$ - $10^{\circ}$  között alakult ki, és  $35^{\circ}$  felett nem azonosítottunk egy suvadást sem [9].

Egy másik igen fontos földcsuszamlást okozó tényező, a *litológia*. Ez a faktor, a litológiai rétegek függvényében, indukálja a föld csuszamlásának a folyamatát [3]. A derázios folyamatok üledékes közettípuson alakulnak ki (agyag, márgna, homok). Amikor ezek felszíne nedvessé válik (szolid kőzetalap hiányában), a kőzetrétegek lejtés irányába

eldeformálódnak, így nagy mennyiségű anyag csúszik le egyszerre a lejtőn. A terület geológiai térképét elemezve, meg tudtuk állapítani azt, hogy a leggyakoribb kőzettípus pannon-korú (67,66%), amely megmagyarázza a földcsuszamlások magas arányát [9].



2. Ábra [9]

**Földhasználat, illetve a növényzettel való borítottság** jelentős befolyásoló tényezők, mivel a növényzet hiányában a gyökérzetnek talajrögzítő hatása is csökken, ezáltal a talaj könnyen sebezhetővé válik. Felhasználva ezt a két paramétert, környezeti és ember okozta károkat tudunk azonosítani, mint az erdőirtás, természetes erőforrások kiaknázása, útépitések, építkezési tevékenységek és túllegeltetés [3]. Ezek a tevékenységek hozzájárulhatnak a természetes vegetáció csökkenéséhez, mely megváltoztatva több természetes tényezőt és folyamatot, suvadásra hajlamossá teszik az érintett területet.

Az adatbázis, mely a földhasználat térbeli elemzéséhez lett felhasználva, a Corine Land Cover 2012 vektor rétegből és a vegetációs indexből (NDVI) épül fel.

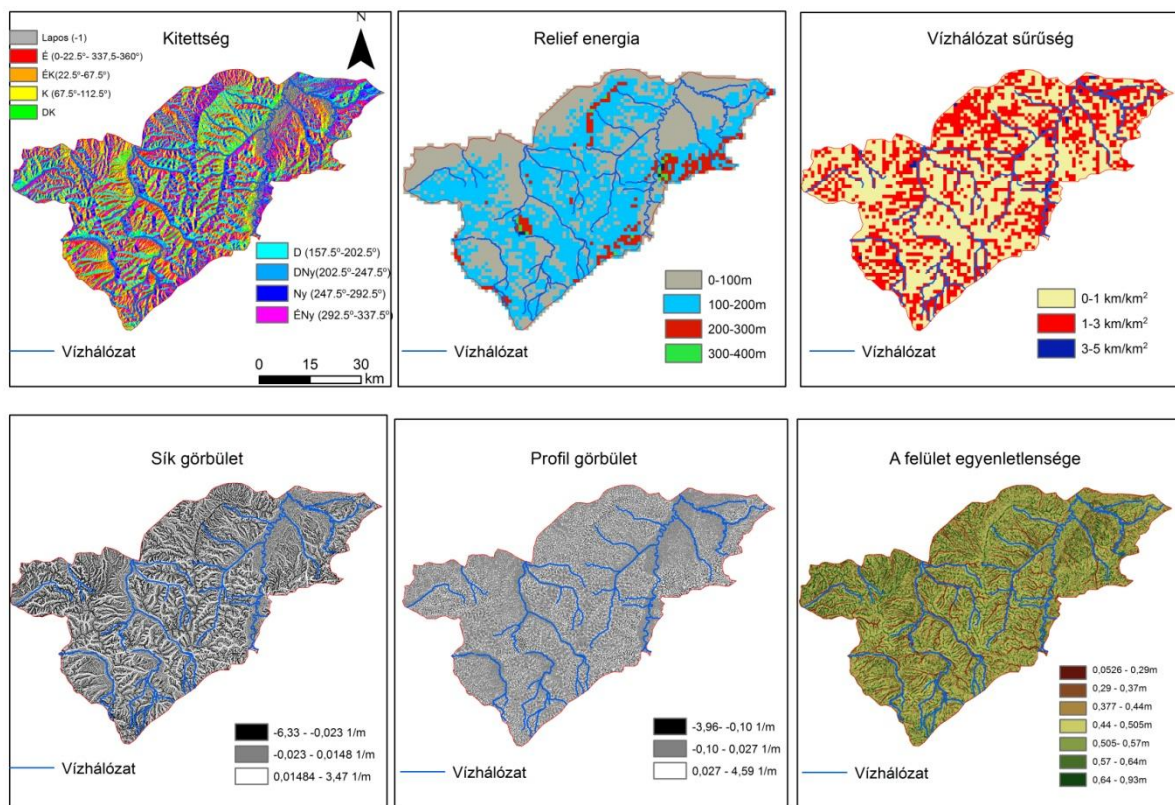
Landsat TM (30-m felbontású) műholdas képek lettek felhasználva a vegetációs index létrehozására. A vegetációs index egy dimenziómentes mérőszám, amely a relatív sűrűségét fejezi ki a növényzetnek, így meghatározható egy térség vegetációs aktivitása [10]. Az index

értéke -1.0 és +1.0 között változik, mely a látható vörös és közeli infravörös sávok kombinációjából származik. Az index

$$NDVI=(NIR-RED)/(NIR+RED)$$

ahol NIR= near infrared band, közeli infravörös sáv, RED= visible red band, látható vörös sáv [10]. Magas NDVI értékek sűrűbb, alacsony NDVI értékek viszont gyengébb növényborítottságot jeleznek. Az alacsony Normalizált Vegetációs Index mesterséges és vízzel borított felszínnek, havas területeknek, homoknak illetve köveknek felelnek meg [1].

A *földhasználat*, mely a Corine Land Cover 2012-re alapszik, 5 releváns típusra lett csoportosítva: mezőgazdasági területek, mesterséges felszínek, mocsaras és vízzel borított területek, illetve erdők. Statisztikailag elemezve a tematikus térképünket, észrevehettük azt, hogy a földcsuszamlások szinte 95%-a mesterséges felszínek közelében játszódnak le, mely az emberi aktivitás destruktív hatásával magyarázhatóak [9].



3. Ábra [9]

A *kitettség* szintén digitális domborzatmodellből származó réteg. Mint suvadást okozó tényező, a lejtők irányát azonosítja [4]. A lejtők orientációja jelentős különbségeket okoz a klimatikus paraméterekben, melyek egyenlőtlenül oszlanak el ennek következtében a

felszínen (inszoláció, napsugárzás, hőmérséklet, csapadékmennyiség). Így, a déli és dél-nyugati lejtők több napenergiát kapnak az északi lejtőkhöz képest, melyek viszont nedvesebbek a délihez képest. A lejtők kitettségének térképe nyolc különböző irány-osztályra lettek felosztva: : lapos (-1), észak ( $337,5^0 - 360^0$ ,  $0^0 - 22,5^0$ ), észak-kelet ( $22,5^0 - 67,5^0$ ), kelet ( $67,5^0 - 112,5^0$ ), dél-kelet ( $112,5^0 - 157,5^0$ ), dél ( $157,5^0 - 202,5^0$ ), dél-nyugat ( $202,5^0 - 247,5^0$ ), nyugat ( $247,5^0 - 292,5^0$ ), és észak-nyugat ( $292,5^0 - 337,5^0$ ) [8,9,11]. A térkép elemzése során különbségeket fedeztünk fel a dél, dél-nyugati és északi kitettségű lejtők között: 29%-a a földcsuszamlásoknak dél, illetve dél-nyugati lejtőkön történik, míg a földcsuszamlások 25%-a északi lejtőkön alakult ki [9].

A **relief energia** egy geomorfológiai index, mely a relatív magassági különbséget fejezi ki egy adott területnek. Ez a paraméter egy fontos befolyásoló tényezője a suvának: minnél nagyobb egy terület relief energiája, annál nagyobb az esélye a lejtőmozgások megjelenésére, mivel megváltozik a lejtő hajlásszöge [4]. A tematikus térkép 4 osztályra lett csoportosítva: 0-100m, 100-200, 200-300m, 300-400m. A legtöbb földcsuszamlás a 0-200 m közötti relief energiájú területeken alakult ki [9].

A **vízhálózat sűrűsége** szintén egy geomorfológiai index, amely az terület vízszintes fragmentáltságát méri, így az index magas értékei meredekebb lejtőket jelölnek. A térkép három osztályra lett csoportosítva: : 0-1 km/km<sup>2</sup>, 1-3 km/km<sup>2</sup>, 3-5 km/km<sup>2</sup>, melyek közül a legtöbb földcsuszamlás a második osztályban lett azonosítva [9].

A felszín elsődleges görbületei két félék lehetnek: **sík és profil görbület**. A profil görbület a lejtés lejtéseként fogalmazható meg, mivel másodlagos derivátuma a domborzatnak [19]. A sík görbület a legnagyobb lejtés irányára merőleges, mely a vizek lefolyásának gyorsaságára utal [19]. Ezek a térképek három osztályra lettek csoportosítva a természetes törés módszerét használva (natural breaks). A sík görbület esetén a második osztály tartalmazza a legtöbb földcsuszamlást. Ugyan ez az eset áll fenn a profil görbületnél is. Mindkét esetben a földcsuszamlások több, mint 70%-a történik a második osztályban [9].

A **felület egyenletlensége** Riley [16] által bevezetett index, mely a felület durvaságát jellemzi. Ez egy fontos paraméter, mely segítségével különböző domborzati mintákat tudunk meghatározni. Ez az index 7 osztályra lett csoportosítva a természetes törések módszerét használva: 0,05-0,29m; 0,29-0,37m; 0,37-0,44m; 0,44-0,50m; 0,50- 0,57m; 0,57-0,64m; 0,64-0,93m. A negyedik osztály tartalmazza a legtöbb földcsuszamlást [9].

Az *évi csapadékmennyiség és hőmérséklet* tematikus térképe 6 év meteorológiai adataiból származik, melyet Kriging interpolációval hoztunk létre. A csapadék intenzitása, illetve halmazállapota, a hirtelen hőmérséklet változások (fagyás-olvadás, nedvesség-szárazság) jelentősen befolyásolják a lejtő instabilitását [11,13]. Az évi csapadékmennyiség térképe 4 osztályra lett csoportosítva: 400-500mm, 500-600mm, 600-700mm, 700-800mm, míg az évi hőmérséklet térképe három osztályra lett csoportosítva: 6<sup>o</sup>-7<sup>o</sup>, 7<sup>o</sup>-8<sup>o</sup>, 8<sup>o</sup>-10<sup>o</sup> [9].

### 3.4. Térbeli elemzés

#### 3.4.1. Statisztikai index

A statisztikai index egy kétváltozós térbeli analízis módszer, melynek során mindegyik suvadást okozó faktor összehasonlításra kerül a földcsuszamlás-leltárral [2]. Mindegyik földcsuszamlást okozó paraméter tematikus térképe különböző osztályokra lett csoportosítva, annak érdekében, hogy meghatározhassuk mindegyik súlyát, mely hozzájárul a végső hajlamossági térkép létrehozásához.

Ahhoz, hogy létreozhassuk a hajlamossági modellt, Yin és Yan [20] által javasolt egyenletet alkalmaztuk, mely által kiszámíthatjuk mindegyik osztály statisztikai indexét. Az egyenlet a következő:

$$S_i = \ln \frac{\text{GyakoriságParaméterOsztály}}{\text{GyakoriságTérkép}} = \ln x = \frac{\frac{SzPix(F_i)}{SzPix(T_i)}}{\frac{\sum_{i=1}^n SzPix(F_i)}{\sum_{i=1}^n SzPix(T_i)}}, \text{ ahol}$$

**S<sub>i</sub>** = egy adott paraméterosztály súlya (statisztikai indexe)

**GyakoriságParaméterOsztály** = egy adott paraméterosztályon belüli a földcsuszamlás gyakoriság

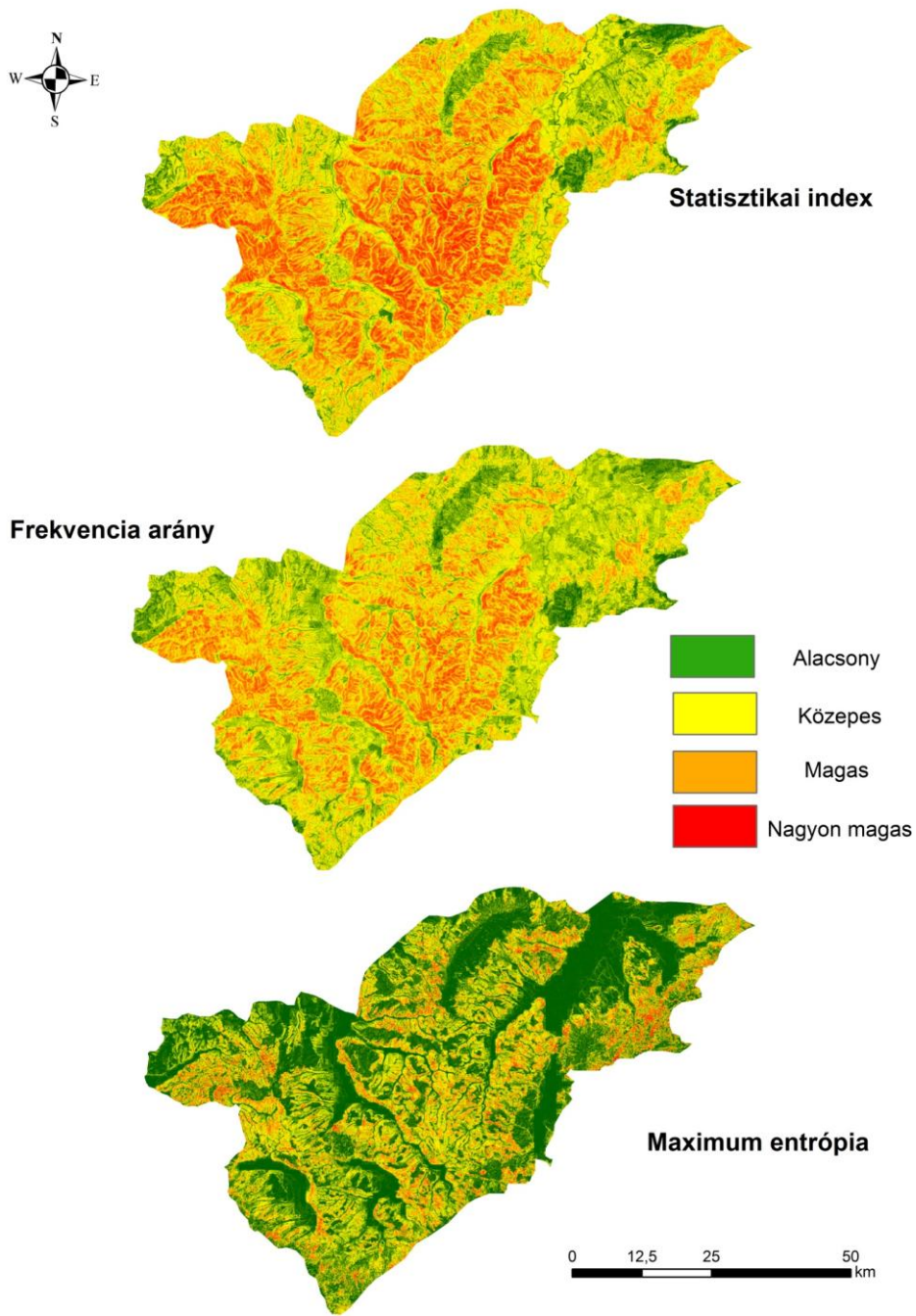
**GyakoriságTérkép** = az egész térképre vonatkozó földcsuszamlás gyakoriság

**SzPix(F<sub>i</sub>)** = a földcsuszamlás pixelek száma egy adott paraméterosztályon belül

**SzPix(T<sub>i</sub>)** = az összpixelszám az egész területre vonatkoztatva

**n** = a paraméterosztályok száma az adott tematikus térképen belül





4. Ábra

Ahhoz, hogy megkaphassuk a 12 tematikus térkép paraméterosztályainak a súlyát, mindegyik térkép a földcsuszamlás-leltárral lett keresztezve (az ArcGIS Toolbox Combine eszközt használtuk, mely megadja mindegyik paraméterosztályon belül a földcsuszamlás pixelek számát). A kereszteződés által létrejött összefüggések raszter formátumban tárolódtak, majd ez alapján lehetővé vált mindegyik osztály súlyának a kiszámítása a fentebb említett képlet alapján.

A végső hajlamossági térkép a súlyozott térképek egymástratevődéséből lett létrehozva, melyet a 4. ábrán láthatunk. A térkép 4 hajlamossági csoportra lett osztályozva: alacsony, közepes, magas és nagyon magas suvadásra való kitettség.

### 3.4.2. Frekvencia arány

Ez a módszer a földcsuszamlások és az őket okozó megfigyelt faktorok kapcsolatára alapszik, melynek célja a földcsuszamlások helyének és a suvadást okozó paraméterek közötti összefüggések kiemelése. A frekvencia a földcsuszamlások és az ezeknek tulajdonított jelzők közötti összefüggések elemzéséből lett kiszámítva [4,17]

Mint az előbb bemutatott módszerben, itt is paraméterosztályokra csoportosítottuk a 12 tematikus térképet.

A frekvencia aránya mindegyik paraméterosztálynak a földcsuszamlás eseménye és az illető osztály közötti kapcsolatból lett kiszámítva a következő képlettel:

$$FR = \frac{\text{FöldcsuszamlásFr}}{\text{ParaméterFr}}, \text{ ahol}$$

$$\text{FöldcsuszamlásFr} = \frac{SzPix(Fi)}{SzPix(Ti)} = \text{földcsuszamlás frekvenciája}$$

$SzPix(Fi)$  = földcsuszamlás pixelek száma egy adott paraméterosztályon belül

$SzPix(Ti)$  = földcsuszamlás összpixel száma a tematikus térképen belül

$$\text{ParaméterFr} = \frac{SzPix(Pi)}{SzPix} = \text{a suvadást okozó paraméterek frekvenciája}$$

$SzPix(Pi)$  = egy adott paraméterosztály pixeleinek a száma

$SzPix(Oi)$  = a tematikus térkép összpixel száma

Mindegyik paraméter frekvencia aránya összegezve lett, ezáltal megkapva a végső hajlamossági térképet (4. ábra), mely szintén ugyan úgy lett csoportosítva, mint az előző módszerben.



### **3.4.3 Maximum entrópia**

A maximum entrópia módszere még kevés szerző által lett alkalmazva a suvadásra való hajlam feltérképezésére [14].

A maximum entrópia alapelve statisztikai mechanikából ered, mely szerint a legjobb megközelítése egy ismeretlen valószínűségi eloszlásnak az, amelyik, imsert határokon belül, maximum entrópiával rendelkezik.

Ez a statisztikai módszer Philips [14] által lett először ajánlva a fajok lehetséges elterjedésének modellezéséhez, de sikeresen lett alkalmazva különböző földi jelenségek megjelenési lehetőségének feltérképezésére is.

A jelen tanulmányban, a maximum entrópia a földcsuszamlások valószínűségi eloszlását képviseli, mely által egy nem negatív érték lesz hozzárendelve a terület minden egyes pontjához [14]. A valószínűségi eloszlás figyelembe veszi az előfordulási adatokból származó korlátozásokat, melyek a környezeti paraméterek egyszerű függvényei által vannak képviselve. Így, mindegyik paraméter nagyon közel kell álljon a vizsgált terület empirikus adataihoz. A legfontosabb előnyei e modellnek a következők: fel tudja használni mind a kategorizált, mind a folytonos adattípusokat, hatékony determinisztikus algoritmust használ, ami az optimális maximum entrópia eloszlást biztosítja és rugalmas statisztikai módszer, mely utóbbi analízisek létrehozására is alkalmazható [14].

Ahhoz, hogy létrehozzuk a hajlamossági térképet a maximum entrópia módszerével, a MaxEnt programot használtuk [14]. A 4. ábrán láthatjuk az eredményt, mely szintén ugyan azzal a módszerrel lett csoportosítva, mint a fentebb említett hajlamossági térképek.

## **4. Kiértékelés**

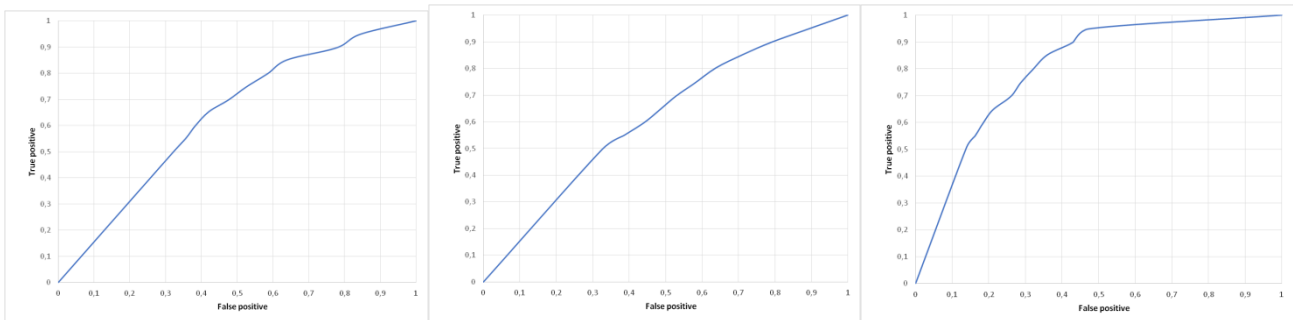
### **4.1. ROC görbe**

Mivel a dolgozatom célja az, hogy statisztikailag érvényes hajlamossági térképet hozzak létre, fontossá válik az eredmények kiértékelése.

Ahhoz, hogy megvizsgálhassuk a hajlamossági térkép a megbízhatóságát, egy ROC görbét (Receiver Operating Characteristic Curve) generáltunk [8,9,11,12,13] mely összehasonlítja a suvadás-leltárat az eredményezett térképünkkel.

A hajlamossági térkép érvenyesítésének érdekében a görbe alatti terület (AUC-Area Under the Curve) módszere lett alkalmazva [8,9,11,12,13,15]: 0.7 és 0.9 értékek jó teljesítményt jelentenek, 0.9 feletti értékek alapos és pontos paraméter osztályozásra és kiválasztásra utalnak, míg a 0.5 alatti eredmények az alkalmazott módszer gyenge teljesítőképességére utal.

Az X tengelyen levő értékek a hamis pozitív (false positive rate) arányt jelentik, melyek azokat a területeket jelölik, ahol magas a hajlamosság, de nem jelenik meg suvadás. Az Y tengely értékei a valós pozitív arányt (true positive rate) jelölik, melyek azokat a hajlamos területeket jelképezik ahol megjelennek földcsuszamlások [11].



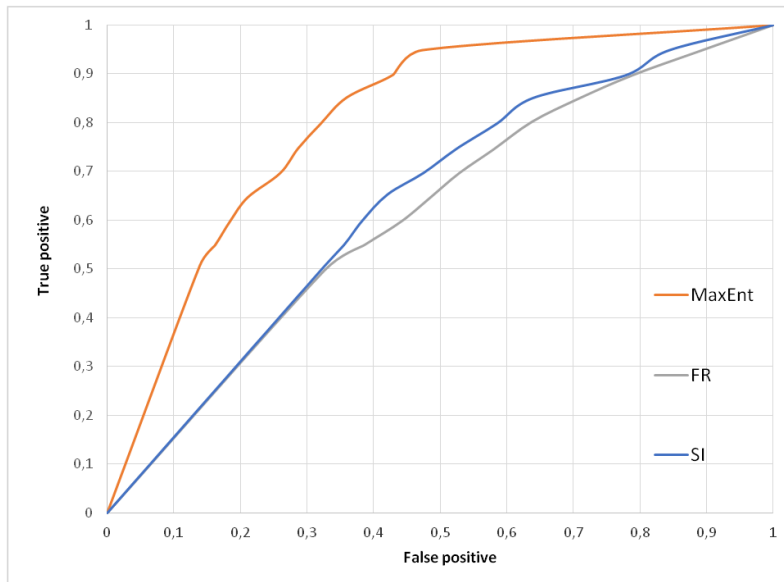
5.Ábra

A ModEco software-t alkalmazva, generáltuk mindegyik hajlamossági térkép ROC görbáját, melyek a 5. ábrán láthatóak. A statisztikai index módszerét alkalmazva 0,635-ös, a frekvencia arány módszerét alkalmazva 0,611-es és a maximum entrópia módszerét alkalmazva 0,802-es AUC értéket kaptunk. Összehasonlítva az eredményeket, lekövetkeztethetjük azt, hogy a jelen tanulmányban felhasznált statisztikai módszerek közül a maximum entrópia módszere a legalkalmasabb.

## 4.2.Eredmények

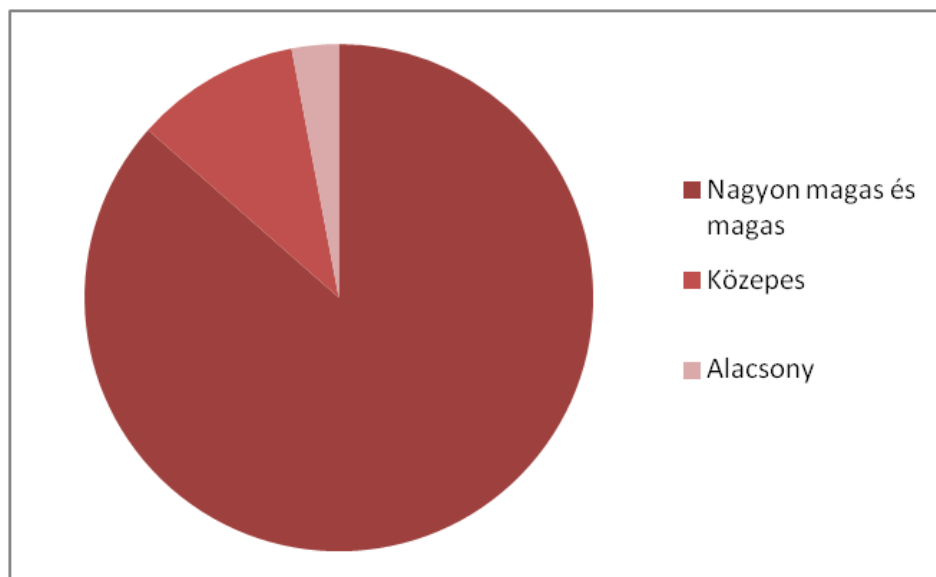
A tanulmányban a ROC görbe segítségével azonosítani tudtuk a Szilágysági-dombság földcsuszamlásra való hajlamának feltérképezésére legalkalmasabb térstatisztikai módszert (6.ábra). Mivel a maximum entrópia modellje bizonyult a legalkalmasabb módszernek, ezért az e módszer alapján feltérképezett hajlamosságot elemeztük.

Analizálva az eredményeket, azt kaptuk, hogy a földcsuszamlások 86,4%-a a nagyon magas és magas suvadásnak kitett osztályhoz tartoznak, míg a közepes, illetve alacsony kitettségű osztályba a suvadások 10,52%-a, illetve 2,99%-a tartozik.



6. Ábra

A hajlamosági térkép osztályozása alapján észrevettük, hogy a nagyon magas és magas kitettségű területek (33,90% ) a dombság észak-keleti és észak-nyugati részén terülnek



7.Ábra

el (Zilahi-medence, Zilahi-dombság Kraszna-medence, Plopiș-medence), míg a közepes hajlamosságúak (20,69%) a déli, dél-nyugati részen és az alacsony (45,40%) suvadásnak kitett területek pedig a folyók árterére jellemzőek (7. ábra) (a Nagy-Szamos, Berettyó és Szilágy folyók mentén), mivel az árterek nagy kiterjedésűek.

## 5.Összegzés

A földcsuszamlás romboló erejű katasztrófatípus, mely jelentős számú lakosságot érinthet, tönkretéve termőföldeket, birtokokat és infrastruktúrát. E okból kifolyólag, statisztikailag érvényes földcsuszamlásokra való hajlamnak a térképe különböző megelőzési folyamatokban fontos eszközzé válhat. Azokon a területeken, ahol a suvadások megjelenési aránya nagyon magas, analizálva a hajlamossági térképet, megelőzhetővé válhat a további deráziós folyamatok megjelenése.

Az esettanulmányunk alapján, elemezve a földcsuszamlást okozó paramétereket, lekövetkeztethettük azt a tényt, hogy az egyik legbefolyásolóbb suvadást okozó faktor antropogén eredetű (erdőirtások, építkezések, bányászat). Mivel a választott területen a suvadások megjelenési aránya igen magas, a célunk az volt, hogy három térstatisztikai módszer közül kiválasszuk a legalkalmasabbat, mely statisztikailag érvényes és minnél pontosabb földcsuszamlásra való hajlam térképet hoz létre.

A három térstatisztikai modellt a ROC görbe segítségével kiértékeljük, az eredményeket összehasonlítottuk, és megállapíthattuk, hogy a suvadásnak való kitettség feltérképezésére legalkalmasabb módszer (a három közül) a maximum entrópia módszere, mely 0,802-es AUC értékkel jellemezhető ezen a területen. Ez az eredmény azt jelzi, hogy a 12 földcsuszamlást okozó paraméter és a maximum entrópia modellje jó teljesítménnyel lettek alkalmazva a Szilágysági-dombságon.

A kiértékelés alapján lekövetkeztethetjük, hogy a földcsuszamlásra való hajlam térképünknek nagy előreláthatósági képessége van, így fontos eszközzé válhat további elemzésekhez és kutatásokhoz. Tehát, az eredmények alapján elmondhatjuk, hogy a Szilágysági-dombság területén szükségessé válik különböző területfejlesztési stratégiák és programok kialakítása és fejlesztése.

## 6. Irodalomjegyzék

1. BAYES, A., (2015) Landslide susceptibility modelling applying user-defined weighting and data-driven statistical techniques in Cox's Bazar Municipality, *Nat Hazards*, pp 1707-1737
2. BILAȘCO, Ș, HORVATH, CS., ROȘIAN, GH., SORIN, F., KELLER, I.E. (2011) Statistical modelling using GIS for the assessment of landslide susceptibility. Case-Study: The Somes Plateau, *Rev. Roum. Geogr*, pp 91-101
3. BOURENANE, H., BOUHADAD, Y., GUETTOUCHE, M.S., BRAHAM M. (2015) GIS-based landslide susceptibility zonation using bivariate statistical and expert approaches in the city of Constantine (Northeast Algeria), *Bull Eng Geil Environ*, pp 337-352
4. CHEN, W., CHAI, H., SUN, X., WANG, Q., DING, X., HONG, H., (2016) A GIS-based comparative study of frequency ratio, statistical index and weights-of-evidence models in landslide susceptibility mapping, *Arab J Geosci*, p 204
5. DONISĂ, I. (1987), *Bazele teoretice și metodologice ale geografiei*
6. GÖCZE, I. (2011), *A tudományos kutatás módszerei*, ZMNE HTK Tudományos folyóirat, pp 157-166
7. IMBROANE, ALEXANDRU, M., MOORE, D. (1999), *Inițiere în GIS și Teledetecție*, p 17
8. KAVZOGLU, T., SAHIN, E.K., COLKESEN, I. (2015), An assessment of multivariate and bivariate approaches in landslide susceptibility mapping: a case study of Duzkoy district, *Nat hazards*, pp 471-496
9. KERÉKES ANNA-HAJNALKA, HORVÁTH, CS., (2017) Landslide susceptibility evaluation using GIS. Case study: Silvanie Hills (Romania), (*Geographia Napocensis megjelenési folyamatban*)
10. MIKA J., UTASI Z., BÍRÓ CS., PÉNZESNÉ KÓNYA ERIKA (2011), *Műholdakról távérzékelt adatok feldolgozása és hasznosítása*, EKF TTK
11. NICULA, A.S., KERÉKES ANNA-HAJNALKA, POP, V., ROȘIAN, GH., (2017) Relational Analysis of Susceptibility to Landslides of Settlements Situated in the Eastern and Central Part of Alba Iulia Hinterland, Using GIS Technology and MaxEnt Software (*megjelenési folyamatban*, *Studia Geographia*)
12. PRADHAN, B., LEE, S., (2010), Delineation of landslide hazard areas on Penang Island, Malaysia, by using frequency ratio, logistic regression, and artificial neural network models, *Environ Earth Sci*, pp. 1037-1052

13. PETREA, D., BILAȘCO, Ș., ROȘCA SANDA, FODOREAN, I., VESCAN, I., (2014), The determination of the landslide occurrence probability by spatial analysis of the land morphometric characteristics (Case study: the Transylvania Plateau), *Carpath J Environ Sci*, pp 91-102
14. PHILIPS, J.S., ANDERSON, R.P., SCHAPIRED, R.E., (2005) Maximum entropy modelling of species geographic distributions, *Ecological Modelling*, pp 231-260
15. POP, GR., P., (2005) ROMÂNIA : DEALURILE DE VEST ȘI CÂMPIA DE VEST, Editura universității Oradea, pp 65-67
16. RILEY, S., DEGLORIA, S., ELLIOT, R., (1999) A terrain ruggedness index that quantifies topographic heterogeneity, *Intermountain Journal of Science*, pp 23-27
17. SIVAKAMI, C., SUNDARAM, A. (2014), Landslide Susceptibility Zone using Frequency Ratio model, remote sensing & GIS- A Case study of Western Ghats, India (Part of Kodaikanal Taluk), *Journal of Environment and Earth Science*, pp 54-61
18. SWETS, J.A., (1988) Measuring the accuracy of diagnostics systems, *Science*, pp 1285-1293
19. VARGA, G., FÁBIÁN, SZ.Á., KOVÁCS, I.P., RADVÁNSZKY, B. (2013), Geomorfológiai térképezés, Interdiszciplináris és komplex megközelítésű digitális tananyagfejlesztés a természettudományi képzési terület mesterszakjaihoz, p 46
20. YIN, K.J. AND YAN, T.Z. (1988) Statistical prediction model for slope instability of metamorphosed rocks. *Proceedings of the 5th international symposium on landslides, Lausanne*, pp 1269–1272.

21.\*\*\* *Geografia României, volumul IV (1992) Regiunile pericarpătice: Dealurile și Câmpia Banatului și Crișanei, Podișul Mehedinți, Subcarpații, Piemontul Getic, Podișul Moldovei*, Editura Academiei Române, p 40

\*\*\* rp5.ru

\*\*\*<http://land.copernicus.eu/pan-european/corine-land-cover>