

Madagaszkár talajeróziójának vizsgálata csapadék eloszlásának függvényében

SZAKDOLGOZAT
FÖLDTUDOMÁNYI ALAPSZAK
METEOROLÓGUS SZAKIRÁNY



Készítette:

Szabó Amanda Imola

Témavezető:

Raveloson Andrea

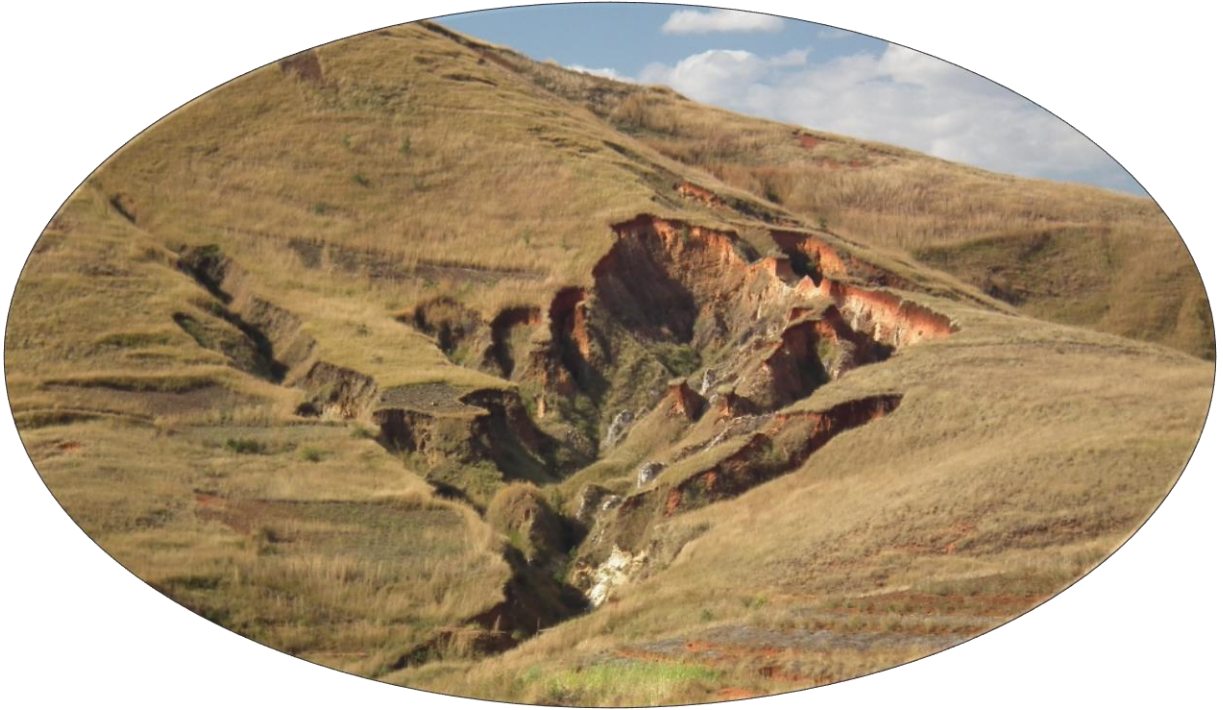
ELTE TTK, Geofizikai és Űrtudományi Tanszék

Belső konzulens:

dr. habil. Ács Ferenc

ELTE TTK, Meteorológiai Tanszék

Eötvös Loránd Tudományegyetem
Földrajz- és Földtudományi Intézet
Meteorológiai Tanszék
Budapest, 2015



*“With more advanced satellite technology and improved local observations, the next generation of earth scientists will be able to say considerably more about the climate and weather of this mysterious and beautiful country” **Jury (2003)***

Tartalomjegyzék

Tartalomjegyzék	3
1.Bevezető	4
2. Célkitűzés	5
3. A talajerózió és típusai	6
4. Madagaszkár	7
4.1 Madagaszkár éghajlata.....	8
4.2 A lavaka	9
4.2.1 A csapadék hatása a lavakásodásra	12
5. Módszertan	13
5.1 A vizsgált területek kiválasztása.....	13
5.2 A Lavaka-eloszlás vizsgálata.....	13
5.3 A klímaadatok feldolgozása.....	15
6. Eredmények.....	16
6.1 A lavaka-eloszlás vizsgálata	16
6.2 A klímaadatok feldolgozása.....	19
7. Konklúzió	27
8. Kitekintés.....	30
9.Köszönetnyilvánítás	31
10. Irodalomjegyzék	32

1. Bevezető

Egyes nemzetközi fejlesztési- és segélyszervezetek szerint (*World Bank*, 1986; *USAID*, 1998 In: *Raveloson*, 2011) Madagaszkár szigetének az eróziós rátája világviszonylatban is az egyik legmagasabb. Ezt alátámasztja *Boardman* (2010, In: *Raveloson*, 2011) cikke, melyben az addigi irodalmak alapján Madagaszkárt is besorolta a világ legfőbb eróziós területei közé (*Raveloson*, 2011). Ez elsősorban a lavakának nevezett eróziós formáknak köszönhető (*1. kép*). Az, hogy pontosan milyen típusú erózió a lavaka, még vitatott, jelenleg a szakirodalom jó része a vízmosásos eróziók közé sorolja.

A lavakák igen nagy kiterjedésűek is lehetnek, és nagy mennyiségben fordulnak elő a szigeten (*2. kép*), a belőlük származó erodált anyag mennyisége pedig jelentős lehet, és bekerülve a vizekbe növeli azok üledék-koncentrációját. Ez hosszú távon a tavak, víztározók, öntözőcsatornák eliszaposodásához és feltöltődéséhez vezethet. A lavakák az emberek által lakott területeken is megjelenhetnek, veszélyeztetve az utak, lakóházak épségét. Ezen kívül a mezőgazdasági területek produktivitását is csökkenthetik, amely komolyan érinti Madagaszkár gazdaságát és kultúráját melyben fontos szerepet játszik a rizstermesztés (*Cox et al.*, 2004; *Mulder és Idoe*, 2004; *Randriamanga*, 2006; *Razanatseheny et al.*, 2010).

A lavakásodást (a lavakák kialakulását és fejlődését) évtizedek óta vizsgálják, de az eróziós folyamatnak a pontos folyamata még nem ismert. Ennek oka, hogy a lavakák kialakulása igen összetett folyamat, többféle tényező (talaj jellegzetességei, éghajlat, antropogén hatások, stb.) befolyásolja. Ezek közül az egyik legfontosabb a csapadék idő és mennyiségbeli eloszlása. Azonban arról, hogy a csapadék intenzitása milyen mértékben befolyásolja a vizsgált eróziós



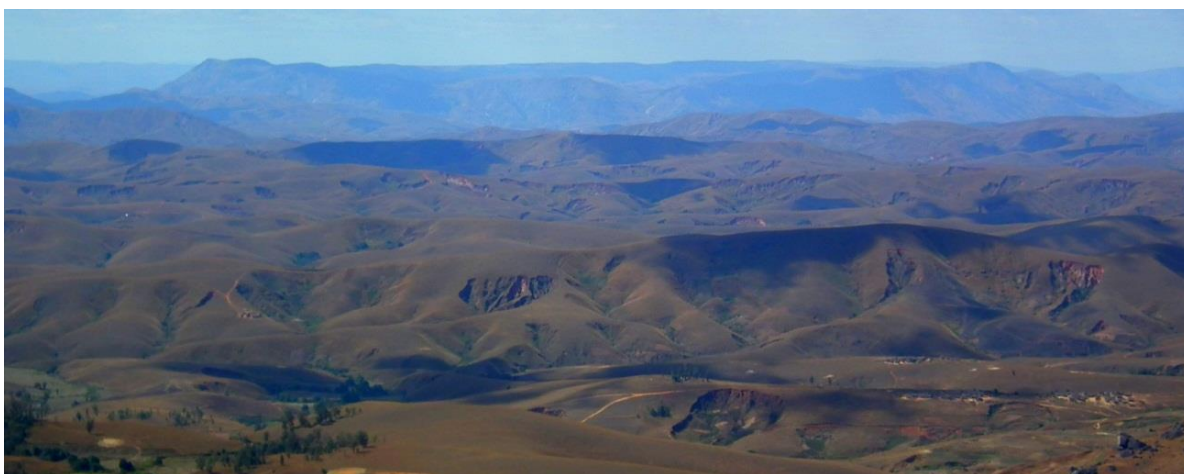
forma fejlődését még nem készült részletes tanulmány. *1. kép* Egy lavaka Madagaszkáron (*Raveloson*, 2011).

2. Célkitűzés

Kutatásom célja, hogy értékeljem az éghajlat szerepét a lavakásodásban. Ennek megvalósításához készíték egy olyan adatbázist, amely tartalmazza a csapadék mennyiségének változását, valamint további földrajzi paramétereket az adott területekre vonatkozóan. Ahhoz, hogy meghatározzam a csapadék befolyásoló hatásának mértékét a lavakák kialakulása és fejlődése során, az adatbázist kiegészítem a vizsgált területekre jellemző lavaka adatokkal. Ez alapján megvizsgálom, hogy melyek azok az éghajlati karakterisztikák, amik elősegítik és zárják ki a lavakák megjelenését.

A csapadékintenzitás hatásának megállapításához különböző éghajlati térképeket digitalizáltam, a vizsgált területek karakterisztikáinak kigyűjtéséhez általánosságban. Ahhoz, hogy a konkrét időszak átlagtól való eltéréseivel, esetleges kiugró értékeivel is számolhassak, archivált éghajlati adatokat dolgoztam fel térinformatikai módszerekkel és integráltam további adatokkal, mint a trópusi ciklonok jellemző útvonalai. Emellett csapadékintenzitás hatásának vizsgálatához különböző éghajlati térképeket digitalizáltam, a vizsgált területek jellemzőinek kigyűjtéséhez általánosságban. Végezetül statisztikai módszerekkel igyekeztem kimutatni, hogy van-e összefüggés a lavakákkal borított területek és a jellemző csapadékeloszlásuk között.

A csapadék idősorok mellett fontos a pontos adatok használata a területek lavaka eloszlásáról. Ezért műholdképek és egy térinformatikai szoftver segítségével lavaka-eloszlás térképeket készítettünk a vizsgált területekről a feldolgozott éghajlati adatokkal megegyező első és utolsó évére, hogy az esetleges lavaka-szám növekedés is kimutatható legyen.



2. kép Lavakákkal tarkított táj a Malgas-fennsíkon (Raveloson, 2011).

3. A talajerózió és típusai

A talajerózió során a talajszemcsék a szél vagy víz hatására mechanikai úton elszállítódnak. Az erózió mértékét befolyásolja a talaj nedvességi állapota, vízgazdálkodása, szerkezete, a talajfelszín érdessége és a növényborítottság is, továbbá a domborzati viszonyok (Szendrei, 1998). A hegyvidéki, meredek terep fokozhatja az eróziót (Blanco és Lal, 2008).

A szélerózió (defláció) során az áramló levegő kimozdítja a talajszemcsét a helyzetéből. Az erős szél, a kevés csapadék, nagy mértékű evapotranspiráció és a gyér növényzet mind fokozza az erózió mértékét. A szélerózió felszínformáló hatása igen jelentős. A szél által szállított szemcsék kiülepedése során igen termékeny talaj jöhet létre. A túlzott mértékű erózió azonban sivár és terméketlen területeket eredményezhet a szárazabb régiókban. Az antropogén tevékenységek, mint például az erdőirtás vagy a túlzott mezőgazdasági tevékenység elősegítik a szél erodáló munkáját (Szendrei, 1998; Blanco és Lal, 2008).

A vízerózió világszinten az egyik legsúlyosabb erózió típus, többféle formában megjelenhet: rétegerózió, barázdás erózió, vízmosásos/árkos erózió, patkásodás, szedimentáció (Szendrei, 1998). Az erózió mindegyik esetben azért indul el, mert a talaj a lehulló csapadékmennyiséget már nem képes befogadni. A vízerózió komoly gondot okozhat a szárazabb régiókban is, ahol a csapadék heves esőzések formájában fordul elő és nem védi a talajt más, csak a gyér növényzet (Szendrei, 1998; Blanco és Lal, 2008). A vízeróziók közül igen látványos a vízmosásos erózió. A vízmosásos erózió keresztmetszete lehet U vagy V alakú, meredek falán omlás, rogyás figyelhető meg. A folyamat során gyakran az intenzív esőzéstől származó víz kimoshatja a terményeket, tönkreteseti a növények gyökerét és jelentős tápanyag veszteséget okoz.

Kutatásom során a vízmosások egy speciális típusával, a lavakával foglalkoztam, mely Madagaszkár szigetére jellemző. Madagaszkár eróziós rátája világszinten az egyik legmagasabb a lavakáknak köszönhetően. A szigeten megtalálható még többféle különleges felszínforma, melyek turisztikai látványosságnak számítanak. Ilyen például a szélerózió okozta „Isalo ablaka”-nak nevezett forma vagy a „Cirque Rouge” nevű eróziós dombok valamint a Tsingy elnevezésű karszterdő. A legfontosabb madagaszkári eróziós formák azonban a lavakák melyek nagy számban fordulnak elő ezért fontos szerepet játszanak a sziget életében.

4. Madagaszkár

Madagaszkár az Indiai-óceánban található, a 12° és 25° 30' déli szélességek között. A világ negyedik legnagyobb szigete. Területe 587 000 km², azaz nagyjából hatszor akkora, mint Magyarország. A mintegy 1450 km-es észak déli irányú kiterjedésnek és topográfiájának köszönhetően a szigeten megfigyelhetők többek között a trópusi övezetre jellemző éghajlati adottságok. Ennek és a kontinensektől elkülönülő sziget-jellegnek köszönhetően teljesen egyedi biodiverzitás alakult ki a szigeten. A növény-és állatfajok közel 80%-a endemikus, azaz sehol máshol nem található meg a Földön. A lakosság 21 millió főt tesz ki, nagy részük a felföldeken, mezőgazdaságból és állattartásból él. Fő táplálékforrásuk a rizs. A sziget ásványkincsekben (grafit, króm, bauxit, vasérc, kvarc, drágakövek, stb.) gazdag (*Balázs, 1983; Donque, 1972*).

Madagaszkár szigete változatos domborzattal rendelkezik. A középén elterülő Malgas-fennsíkot keletről hegyvidék, nyugatról pedig lankás dombvidék öleli körbe (a legmagasabb területek 2800 méteres tengerszint feletti magasságon helyezkednek el).

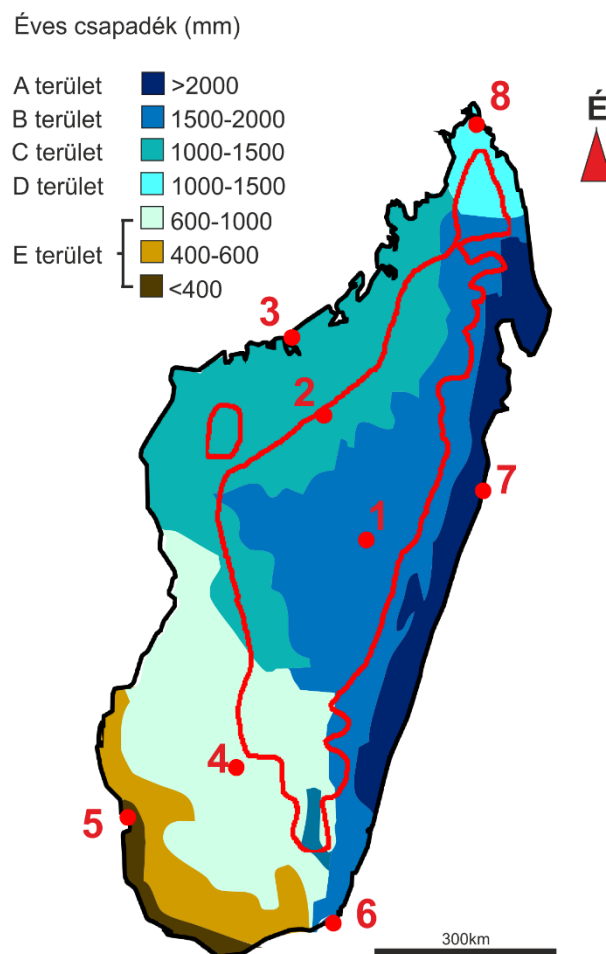
Geológiai szempontból a sziget jelentős részére az évmilliók során felgyűrődött és metamorfizálódott kristályos prekambriumi kőzetek jellemzőek. Ezeken a területeken néhol megfigyelhető riolit és bazalt is. Az ország területén elszórtan találhatóak kainozoikumi vulkanikus-, valamint a nyugati oldalon üledékes kőzetek is. Ez utóbbiak lelőhelye a Boina- és a Menabe-medence (*Ashwal és Tucker, 1999*).

Az ország keleti részén és a fennsíkon az agyagos-laterites talajok az uralkodóak. A nyugati sávon homokos, hordalékos talaj, míg a sziget déli részére vörös talaj jellemző (*Besairie, 1946*).

Madagaszkáron, elhelyezkedésből és domborzatából kifolyólag igen változatos növényzet alakult ki. A sziget közepén elhelyezkedő fennsíkra szavanna jellemző, de elszórtan előfordulnak lombhullató erdők is. A délnyugati területet tüskés bozóterdő, valamint keménylombú erdő borítja, míg a keleti parton esőerdő sáv húzódik (*Du Puy és Moat, 1998*).

4.1 Madagaszkár éghajlata

Madagaszkár észak-déli irányban hosszan elnyúló kiterjedésének köszönhetően igen változatos éghajlattal rendelkezik. Két évszak van, egy szárazabb tél (május-október) és egy csapadékos nyár (november-április). Az éghajlatot jelentősen befolyásolja télen a déli-délkeleti passzát nyáron pedig a trópusi ciklonok (Jury, 2003). A sziget éghajlatának leírása során Donque (1972) öt területre osztotta a szigetet, valamint a déli-délnyugati részt még három kisebb régióra. A sziget keleti partján jellemző sűrű erdő (1. ábra, A terület; Wells, 2003) az észak-déli irányban végigfutó hegygerinc és felföld (1. ábra, B terület) orográfiai hatásának. Nyugat felé haladva a lee-oldal (1. ábra, C terület; Wells, 2003) szárazabb és a növényzet ritkás. Ezen a területen, a csapadék nyáron jellemző a Mozambik-tengeráramlásnak és a trópusi ciklonoknak köszönhetően (Donque, 1972; Jury, 2003) és mindössze néhány hónap alatt (november-április) lehullik.



1. ábra Madagaszkár csapadéktérképe (ONE, 2008 alapján). A piros vonal jelöli a lavakásodásra hajlamos területeket (Cox et al., 2010). A vizsgált területek Antananarivo (1), Maevatanana (2), Majunga (3), Ranohira (4), Toliara (5), Taolagnaro (6), Toamasina (7), Antsiranana (8).

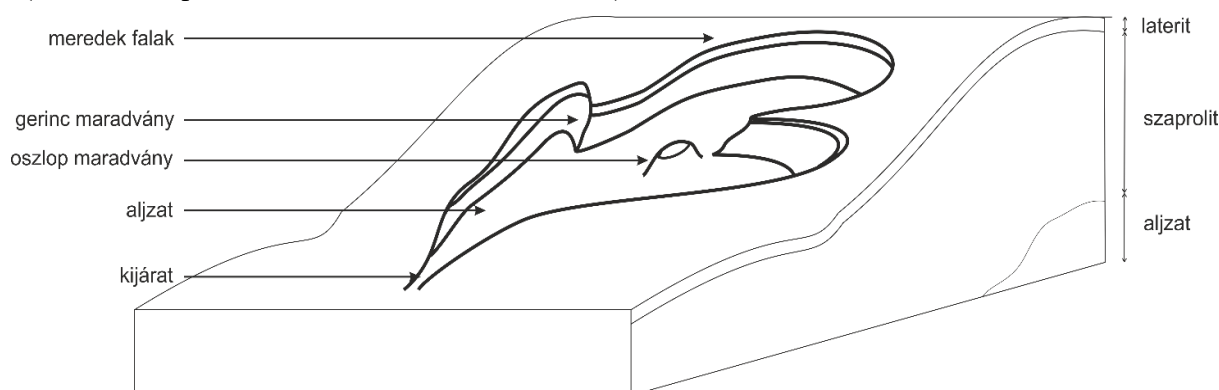
Madagaszkár északi részén (1. ábra, D terület) a tél száraz és meleg, míg a forró nyári hónapok során a lehúzódnó ITCZ trópusi viharokat hoz. A déli-délnyugati terület (1. ábra, E terület) száraz és növényzet csak foltokban jellemző (Donque, 1972; Jury, 2003; Wells, 2003).

A sziget változatos éghajlatát tovább alakítják a már említett trópusi ciklonok. Az észak-déli irányú gerinc megtöri pályájukat (haladási irányukat), de jó néhány elég erős ahhoz, hogy a sziget belsejébe is eljutva jelentősen befolyásolja Madagaszkár éghajlatát. Egy trópusi ciklon érkezésekor akár 700 mm csapadék is hullhat alig néhány nap alatt (Jury, 2003).

A változatos domborzat, a könnyen erodálódó talajtípusok (Besairie, 1946) és az igen változékony csapadékeloszlás miatt az erózió igen jelentős (Cox et al., 2010) főként a lavakaként ismert felszínformáknak köszönhetően (Riquier, 1955; Cox et al., 2010).

4.2 A lavaka

A lavaka malgas szó, jelentése „lyuk” (ugyanazt a szót használják az apró gödröktől a jelentős területeket elfoglaló mélyedésekig). A tudományos szakirodalmakban azonban ez egy speciális vízmosásos eróziót jelöl (angolul: gully erosion), melyek közül csak a madagaszkáriakat nevezzük így. Hasonló felszínformák megfigyelhetők még többek között Dél-Afrikában, Brazíliában és az Egyesült Államokban is. Az elnevezés területenként változhat, Brazíliában például "bocoroca"-nak vagy "vocatoroca"-nak hívják őket (Andriamampianina, 2006; Unruh et al., 2010).



2. ábra A lavaka sematikus ábrája (Raveloson et al., 2013)

A lavakák gyors kialakulása (néhány nap) után hátravágódással növekednek. Méretüket és alakjukat tekintve lehetnek eltérések a többi vízmosás típussal szemben. Általában amfiteátrumszerű, ovális alaprajzú formákról beszélhetünk melyeket függőleges

oldalfalak, lapos aljzat és a katlan alsó részén elhelyezkedő szűk kijárat jellemez (2. ábra; *Andriamampianina*, 2006; *Balázs*, 1983; *Cox et al.*, 2010; *Raveloson*, 2011; *Wells és Andriamihaja*, 1993).

A lavakák főként a Malgas-fennsíkon jellemzőek. Kialakulásuk és fejlődésük okát és pontos menetét évtizedek óta kutatják, és számos elméletet állítottak fel azonban egyiket sem sikerült még kétséget kizáróan alátámasztani. Sokáig úgy gondolták a kutatók, hogy a legfontosabb befolyásoló tényezők az antropogén hatások (*Cox et al.*, 2010). Az elmélet szerint a túlzott mértékű legeltetés és az égetéses gazdálkodás vezetnek a lavakásodás kialakulásához. A növényzet eltávolítása előidézheti és felgyorsíthatja az eróziós folyamatokat. Az emberi tevékenységek tehát súlyosbíthatják a lavakásodást, és sok lavaka egyértelműen az emberi beavatkozásnak köszönhetően alakult ki (*Wells és Andriamihaja*, 1993). Az a tény azonban, hogy egyes lakatlan területeken nagy sűrűségben fordulnak elő lavakák, arra enged következtetni, hogy a vízmosások leírása során elengedhetetlen, hogy az antropogén hatások mellett a természetes tényezőket is megvizsgáljuk (*Cox et al.*, 2010; *Razanatseheny et al.*, 2010; *Wells és Andriamihaja*, 1993).

A lavakák kialakulásához tehát több befolyásoló tényező együttes jelenlétére van szükség (*Cox et al.*, 2004, 2010; *Randriamanga et al.*, 2006; *Wells és Andriamihaja*, 1993; *Zavada et al.*, 2010). Ezek vizsgálata során *Cox et al.* (2010) kijelölte azt a területet, az LPA-t (lavaka-prone area, magyarul lavakásodásra hajlamos terület, (1. ábra) ahol a lavakák előfordulása a leggyakoribb. Az LPA-ra az erodáló hatásokkal szemben kevésbé ellenálló erősen mállott talaj jellemző, valamint konvex lejtők ahol növényzet csak foltokban található.

Az, hogy a sziget középső részén miért ilyen ritkás a növényzet, annak ellenére, hogy a különböző földrajzi paraméterek alapján dús vegetációt feltételezhetnénk, évtizedek óta vita tárgyát képezi. Kérdés továbbá, hogy ha volt is erdőtakaró, mekkora területet fedett be, valamint az, hogy mi okozta az eltűnését.

Egyes kutatók azt az álláspontot képviselik miszerint több mint 1500 éve, az ember megjelenése előtt a teljes szigetet erdő borította és az antropogén hatások következtében változott meg a növényborítottság (*Humbert*, 1927; *Kull*, 2000). *Sussman et al.* (1994) pozitív korrelációt mutatott ki a populáció növekedése és az erdő eltűnése között.

Ezzel szemben más tanulmányokban az antropogén befolyás háttérbe szorul a természetes tényezőkkel szemben. *Perrier-Humbert* hipotézise azt tárgyalja, hogy bár erdő borította a felföldet, de száraz és sebezhető volt, bozóttüzek következtében eltűnt (*Humbert*, 1927).

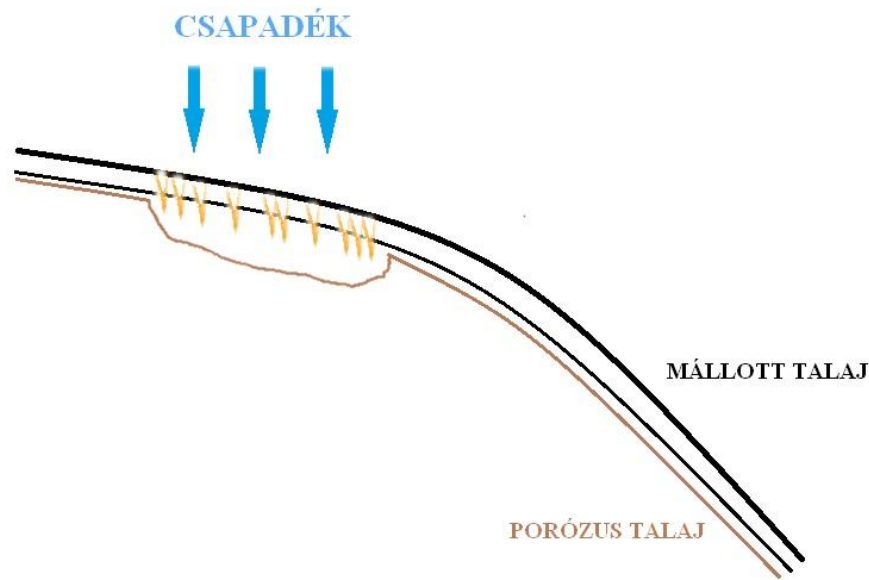
A fent említett kutatások egyetértének abban, hogy a teljes szigetet erdő borította. Több tanulmány azonban cáfolta ezt az alapfeltevést.

Koechlin (1972) különböző talajtani vizsgálatok és a változatos flóra alapján következtetett a régmúlt erdőtakaróra, azonban ő nem folytonos erdőt feltételez. *Muntz* és *Rousseaux* (1901) szintén talajtani vizsgálatokat végeztek, ők azonban úgy találták, hogy nem „erdő-eredetű” a talaj. A szigetet borító erdő hipotézise ellen tudományos bizonyítékot mutatott fel *Burney* (1987), aki pollenanalízis vizsgálatok alapján úgy gondolta, hogy a felföldet csak foltokban borította erdő, és a tüzek már az ember szigetre érkezése előtt (több mint 2000 éve) előfordultak. Azonban azzal egyetértett, hogy a lakosság számának növekedésével fokozottan ritkult a növényzet. A kutatók közül sokan úgy vélik az erdő eltűnésében szerepet játszhatott még a klímaváltozás (*Burney*, 1993; *Quéméré*, 2012), azon belül is az ENSO jelenség változása is (*Ingram*, 2005).

Az éghajlat szerepe a növényborítottság alakítása mellett más módon is szerepet játszhat a lavakásodásban. Több tanulmány alapján a szigetre jellemző heves esőzések és az azokat követő száraz időszakok váltakozása irányítja a lavakák kialakulását (pl.: *Mietton*, 2014; *Voarintsoa*, 2012). A lavakák kialakulásának és fejlődésének éghajlati vonatkozása azonban korábbi kutatások során még nem lett részletesen tanulmányozva.

4.2.1 A csapadék hatása a lavakásodásra

Mint ahogy a korábbi fejezetekben láthattuk a száraz évszakot heves esőzésekkel járó nyár követi. Az eddigi kutatások alapján a szigetre jellemző jelentős mértékű talaj-degradáció során fontos szerepet játszik a csapadék eloszlása. Voarintsoa (2012) szerint a lavakásodás azokon a területeken jellemző ahol az említett évszakváltozás a legmarkánsabb.



3. ábra A lavakásodás sematikus ábrája

A száraz időszak alatt a ritkás növényzet miatt védtelen felső talajrétegen repedések jelennek meg, melyeken a nedves időszak során hirtelen lezúduló csapadék eléri a mélyebb, instabilabb talajréteget (3. ábra; Wells és Andriamihaja, 1993). Ekkor erózió veszi kezdetét, és a lavakák alig néhány nap alatt kialakulhatnak (Cox *et al.*, 2004).

5. Módszertan

A csapadékeloszlás lavakásodásra gyakorolt hatásának vizsgálatához kétféle adatbázist készítettem. Az egyik egy csapadék adatsor 2003 és 2008 között az 5.1-es fejezetben bemutatásra kerülő területekre vonatkozóan, a másik pedig egy ugyanazon időintervallumra és területekre készített lavaka eloszlás adatbázis (5.2 fejezet). A lavaka eloszlás adatbázis elkészítéséhez szükség volt megfelelő felbontású műholdképekre. Az adatbázis pontosítására a klímaadatokat kiegészítettem különböző éghajlati és földrajzi térképek információival.

5.1 A vizsgált területek kiválasztása

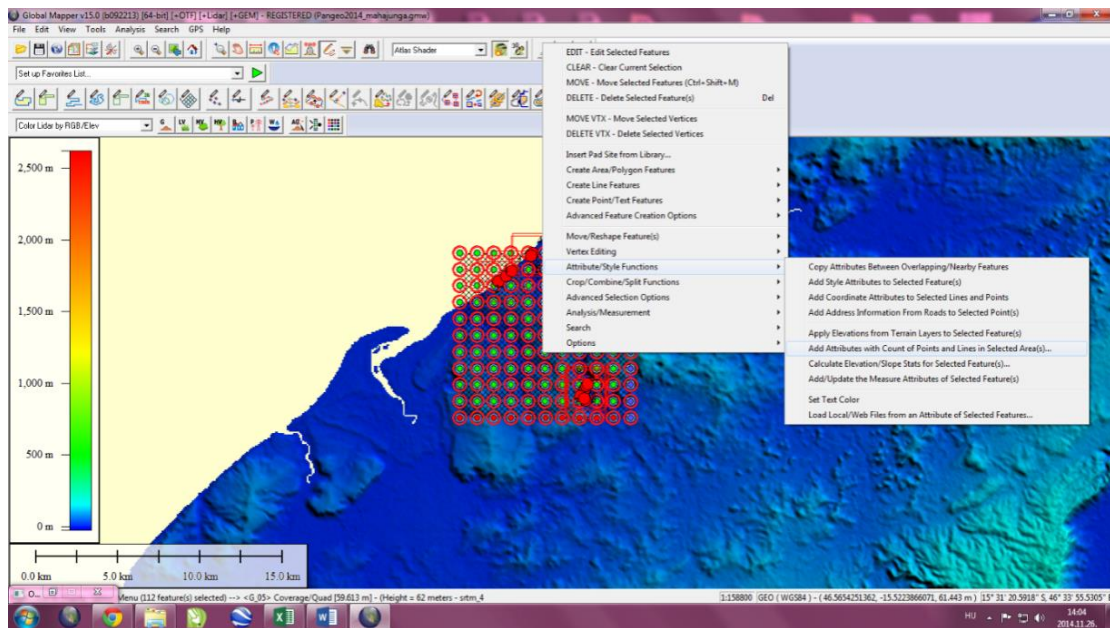
A területek és a vizsgált időszak kiválasztása során a fő szempont az volt, hogy mindkét típusú adat legyen elérhető, hogy összehasonlíthatóak legyenek az eredmények. A csapadékadatok kiválasztásánál fontos volt a megfelelő szintű időbeli lefedettség. A lavaka eloszlás térképek elkészítése során pedig a jó minőségű műholdképek használata, melyek elég jó felbontásúak ahhoz, hogy a lavakák felismerhetőek rajtuk a teljes időszak során. Az említett szempontok alapján a tanulmányomban 2003 és 2008 közötti időszakra végeztem vizsgálatokat 8 területre (1. ábra).

A 8 terület kiválasztása során figyelembe vettem azt a tény is, miszerint az eddigi lavakákkal kapcsolatos kutatások jó része az LPA-ba esett (Raveloson *et al.*, 2014) és csak a főutakhoz közeli helyeken. Ezért a kutatásom során ezen kitüntetett területen kívül eső helyeket is kijelöltem, úgy hogy lehetőleg minden éghajlati területen végezzek vizsgálatot (1. ábra). A választott területek: Antananarivo (1), Maevatanana (2), Majunga (3), Ranohira (4), Toliara (5), Taolagnaro (6), Toamasina (7), Antsiranana (8) (1. ábra).

5.2 A Lavaka-eloszlás vizsgálata

A lavaka-eloszlás adatbázisának elkészítéséhez szükségünk volt a klíma adatokkal azonos időszakra vonatkozó megfelelő felbontású műholdképekre. A vizsgálat során a következő lépésekre volt szükség:

1. Rács definiálása Global Mapper-ben: Az adott vizsgált város környezetében egy 10km x 10km-es rácsháló véletlenszerű kijelölése 1 km-es rácsközökkel.
2. Rácsháló importálása GoogleEarth-be.
3. Lavakák manuális megjelölése a kijelölt területen (5-8. ábra)
4. Adatbázis mentése KMZ formátumba.
5. Adatbázis megjelenítése és feldolgozása Global Mapperben (4. ábra).



4. ábra A lavaka-adatbázis feldolgozása Global Mapperben (5. lépés): Az egyes grid-ekbe eső pontok (megjelölt lavakák) számának bekérése a programból. Az ábrán Majunga (3) lavaka-eloszlásának vizsgálata látható.

5.3 A klímaadatok feldolgozása

A kutatásom során csapadék-idősorokat használtam fel, hogy a vizsgált évekre megfigyelhessem az esetleges kiemelkedő értékeket, átlagtól való eltéréseket, valamint az évszakos változás mértékét. A csapadék adatok kiválasztásánál fontos volt a megfelelő szintű időbeli lefedettség. A szabadon elérhető adatbázisok vizsgálata után végül a Nemzeti Éghajlati Adatközpont, (NOAA, NCDC; 2015) rendszeréből töltöttem le napi csapadékmérések eredményeit és dolgoztam fel térinformatikai és statisztikai módszerekkel (9-17. ábra).

A statisztikai analízis célja az volt, hogy összehasonlítsam a vizsgált területek csapadék adatsorait. A lavaka eloszlás vizsgálatok eredményei alapján Antananarivot (1) jelöltem ki viszonyítási alapnak. Az 1-es terület a lavakásodásra hajlamos típusterület, ugyanis minden szempontból megfelel a korábbi tanulmányokban megjelölt, lavakásodásra hajlamos területekre jellemző kritériumoknál. Ezenkívül Antananarivo (1) a legtöbbet vizsgált terület a lavakásodás kutatásának témakörében. A vizsgálat során igyekeztünk megállapítani, hogy a havi csapadék adatai az egyes területeknek származhatnak-e azonos eloszlásból, mint az Antananarivóra (1) jellemző adatok. Kiemelten fontos volt a nyári hónapok vizsgálata, ugyanis a lavakák kialakulását a nedves évszak változékony, extrém mennyiségű csapadékkal járó időszakaihoz kötik. A statisztikai hipotézisünk a következő volt: annak a valószínűsége, hogy az adott vizsgált hónap csapadékmennyiségének az eloszlása azonos eloszlásból származik Antananarivóéval, 5 %-nál kevesebb. Az alternatív hipotézis az volt, hogy statisztikailag nem kizárt, hogy azonos eloszlásból származnak.

Az alkalmazott statisztikai próba kiválasztása során figyelembe vettük, hogy az adatok hat éves időintervallumot ölelnek fel és helyenként hiányosak (néhol kevesebb, mint 6 adat). Ezek alapján a Mann-Whitney teszt bizonyult alkalmasnak. A tesztet Lowry (2015) internetes felületén végeztük el.

A vizsgált területek csapadékeloszlásának és főbb karakterisztikáinak további leírásához éghajlati és földrajzi térképekből is nyertem ki információkat. Ehhez a következő térképeket digitalizáltam be a Global Mapper 13-al: talajtérkép (*Besairie*, 1946), hőmérsékleti-térkép (*Cornet*, 1972), agroklimatológiai-térkép (*Oldeman*, 1988), trópusi-ciklonok jellemző eloszlását bemutató térkép (*ONE*, 2008), csapadék-eloszlás térkép (*ONE*, 2008).

6. Eredmények

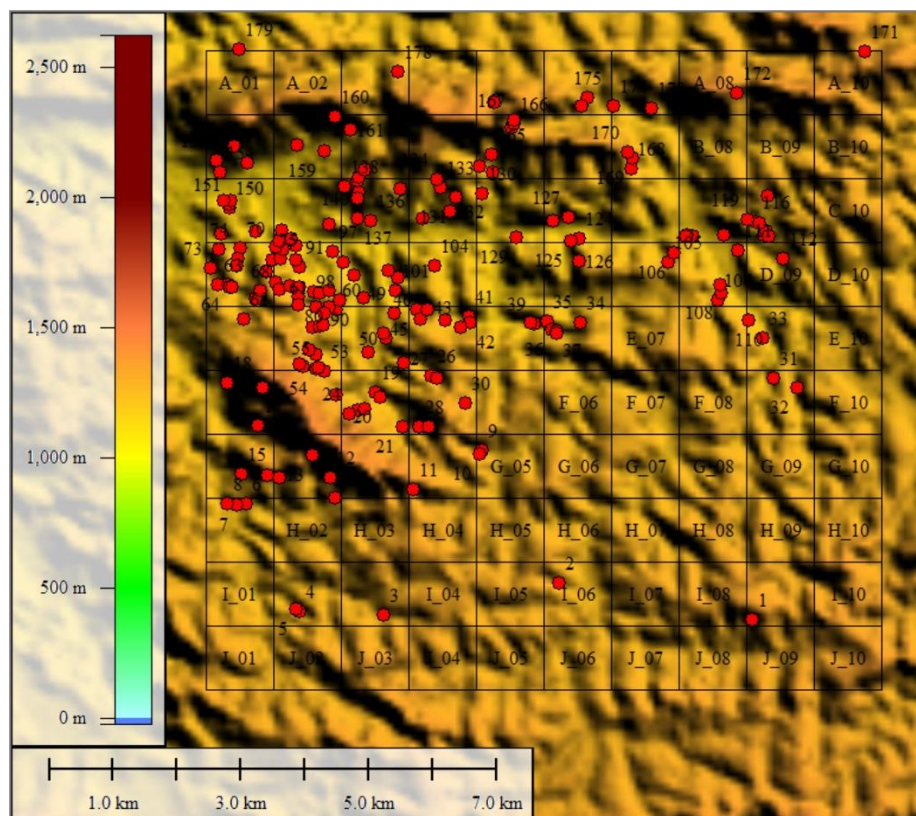
Azért, hogy értékeljem a lavakák eloszlásának kapcsolatát a csapadékintenzitással adatbázist készítettem, amely a lavakák számát és annak változását mutatja be a területekhez tartozó megfelelő csapadék adatokkal.

6.1 A lavaka-eloszlás vizsgálata

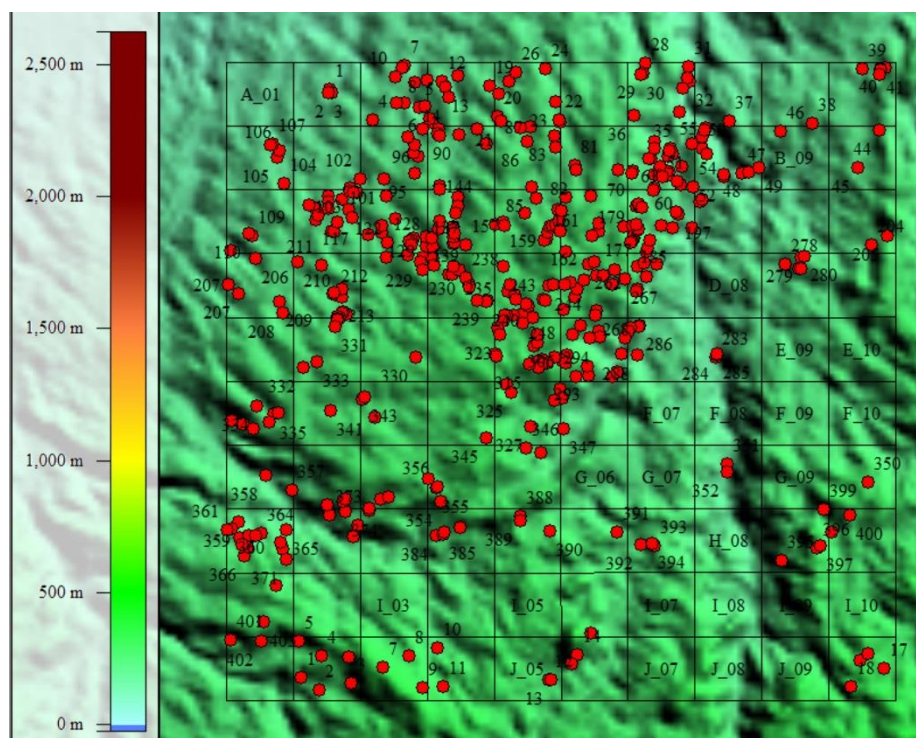
A lavakák eloszlásának vizuális és térinformatikai elemzése megmutatta, hogy a vizsgált területek közül a lavakák átlagos száma 0,1 és 4,3 km⁻² között változik. Érdekes eredmény, hogy a vizsgált területek közül négyen találtunk lavakákat (1. táblázat), melyekből kettő nincs benne az LPA-ban vagy egészen a határán fekszik (1. ábra). Antananarivo (1), Maevatanana (2), Majunga (3) és Ranohira (4) területén összesen körülbelül 650 lavakát számoltunk össze melyek közül több mint 400 lavaka esett Maevatanana (2) környezetébe ahol a maximális lavaka sűrűség 20 lavakakm⁻². Azokon a területeken ahol megfigyeltük a vizsgált eróziós formát a lavakák térbeli eloszlása igen változékony volt. A lavakák számában Majungánál történt változás (2. táblázat). A vizsgált területek 64 %-n nem volt lavaka.

1. táblázat A területek átlagos, maximális és minimum magassága, lejtőszöge. A lavakák száma négyzetkilométerenként és területenként valamint a lavaka nélküli területek százaléka. Antananarivo (1), Maevatanana (2), Majunga (3), Ranohira (4)

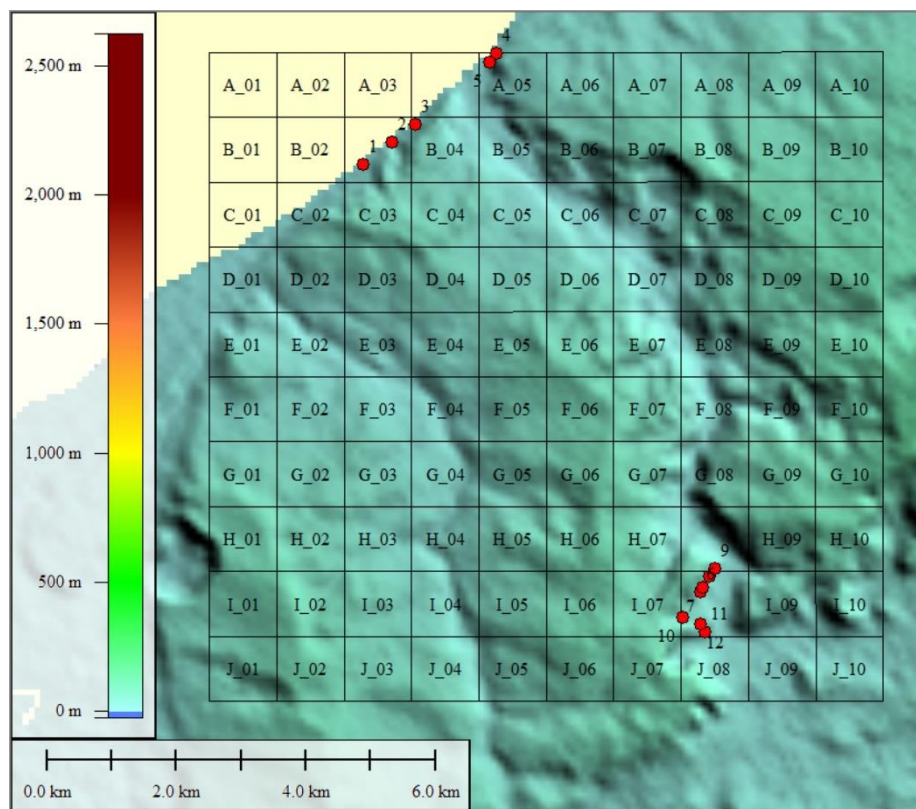
		Vizsgált területek			
		1	2	3	4
Tengerszint feletti magasság (m)	Átl.	1 260	225	51	1 001
	Max.	1 452	336	113	1 083
	Min.	1 144	124	1	923
Lejtőszög (°)	Átl.	7,9	4,9	2,5	2,8
	Max.	31,2	20,9	16,2	9,9
Lavaka (db/km ²)	Átl.	1,8	4,3	0,1	0,5
	Max.	17	23	6	8
Lavaka (db/terület)		181	427	12	50
Lavaka nélküli területek (%)		52	28	95	82



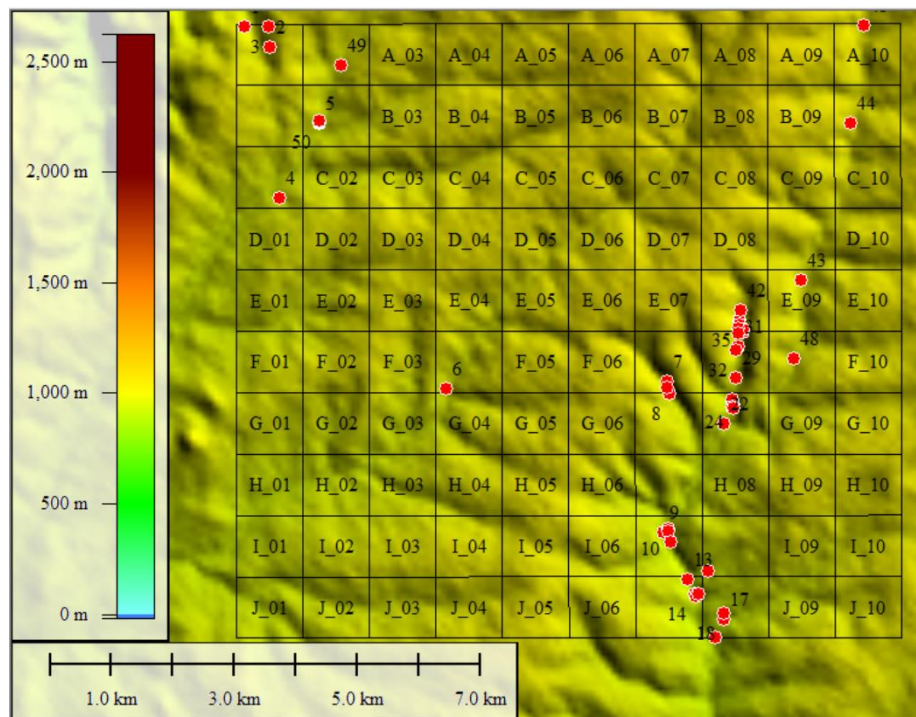
5. ábra Antananarivo (1) lavaka eloszlás térképe. A fekete rácsháló jelöli a vizsgált területet. A piros pontok jelölik a lavakák elhelyezkedését.



6. ábra Maevatanana (2) lavaka eloszlás térképe. A fekete rácsháló jelöli a vizsgált területet. A piros pontok jelölik a lavakák elhelyezkedését.



7. ábra Majunga (3) lavaka eloszlás térképe. A fekete rácsháló jelöli a vizsgált területet. A piros pontok jelölik a lavakák elhelyezkedését.



8. ábra Ranohira (4) lavaka eloszlás térképe. A fekete rácsháló jelöli a vizsgált területet. A piros pontok jelölik a lavakák elhelyezkedését.

6.2 A klímaadatok feldolgozása

Az éghajlati adatsorok és térképek feldolgozása is megmutatta, hogy míg Madagaszkáron a hőmérséklet jelentősen csak a magassággal változik, addig a csapadék eloszlása sokkal változatosabb.

Azért, hogy megmutassam a csapadék befolyásoló hatásának mértékét, táblázatos formában összegyűjtöttem a térképekből nyerhető adatokat és összevettem a lavakaeloszlás vizsgálat eredményeivel (1. és 2. táblázat). Az 1. táblázat tartalmazza a 8 területre vonatkozólag az átlagos hőmérsékletet, a csapadékos napok százalékos arányát, az éves csapadékmennyiséget valamint azt, hogy az adott terület trópusi ciklonok által veszélyeztetett-e (Donque, 1972; ONE, 2008). A további oszlopokban szerepel a növényborítottság és a talaj típusa, a földhasználat jellemző mértéke, hiszen ezek az adatok fontos részét képezik a lavakásodásra-hajlamos területek megismerésének és esetleges újraértékelésének. Az utolsó három oszlop a lavakák átlagos számát mutatja 2003 és 2008-ra vonatkozólag valamint a változás mértékét.

A NOAA-s napi csapadékmérések eredményeit a feldolgozás után diagramos formában foglaltam össze. A diagramok felett láthatóak az adott városra és hónapra elkészített box-whisker plotok, amelyek megmutatják, hogy az átlagos havi csapadékösszegek mennyire változékonyak a vizsgált időszakra.

Antananarivónál (1) és Maevatananánál (2) az éghajlat és növényborítottság igen hasonló a tengerparti Majungáéhoz (3). Az 1,2,3-as területeken jellemzően igen ritkás a növényzet, és az éves csapadékmennyiség körülbelül 1000-1500 mm, melynek nagy része a nyári hónapok során hullik (januártól márciusig). Ranohira (4) közel található az LPA határához, de kívül esik azon és az éves csapadékmennyiség ezen a területen kevesebb, körülbelül 600-1000 mm. Toliara (5) az egyik legszárazabb a vizsgált területek közül, az éves csapadék jóval 1000 mm alatt van. Ranohira (4) és Toliara (5) környékén csak foltokban található növényzet a homokos talajon. Toamasina (7) 2000 mm-es átlagos csapadékmennyisége nagyjából egyenletesen oszlik el az év során, bár fel lehet fedezni az évszakos váltakozást itt is. Ezzel szemben Antsiranana (8) ki van téve a trópusi ciklonok által okozott viszontagságos időjárási helyzeteknek a nyári hónapok során, a csapadék nagy része ekkor hullik (1. ábra, 9-16. ábra és 2. táblázat).

A növényzet minden olyan területen gyér ahol találtam lavakákat. A talajtípusok közül az agyagos a homokos talaj és a laterit is jellemző azokon a területeken ahol

előfordulnak lavakák. Korábbi tanulmányok feltételezték az antropogén hatás fontosságát a lavakásodásban, azonban az eredményeim alapján úgy tűnik, ez a tényező nem befolyásolja a lavakásodás mértékét. Azokon a területeken ahol találtam lavakákat, csak Antananarivónál (1) jellemző intenzív földhasználat, ellenben az utolsó négy területen, bár intenzív földhasználat jellemző, mégsem alakultak ki lavakák.

A csapadék diagramok alátámasztották és pontosították a táblázatból kiolvasható információkat (9-16. ábra). Az évszakos váltakozás ott bizonyult a legmarkánsabbnak ahol 1500 mm éves csapadékmennyiség kevesebb, mint 4-5 hónap alatt hullik. Az évszakos változás ott jelenik meg legkevésbé ahol a csapadékos napok száma több mint 70 %. Nyugat felé haladva a csapadék mennyisége csökken, és közben az éves csapadék egyre rövidebb idő alatt hullik. Tehát bár csökken a csapadék, de egyre intenzívebbnek bizonyul. A növényzet változása követi a csapadék mennyiségének változását és nyugat felé egyre ritkásabb (Wells, 2003).

A térképek felhasználása mellett megerősítette a konkrét klíma idősorok használatának elengedhetetlenségét az, hogy a diagramokon látszódnak azok az átlagtól eltérő értékek melyek a térképek általános értékeiből nem olvashatók ki. Ezek a kiemelkedő értékek a havi csapadék mennyiségekben, több esetben is a szigeten áthaladó trópusi ciklonokból származó nagy mennyiségű csapadék eredményei. Ezek az extrémumok megfigyelhetőek a 9.-16. ábrákon. A NASA (2015) adatai alapján összegyűjtöttem példaként olyan trópusi ciklonokat melyek okozhatták a kiemelkedő értékeket:

Antananarivót (1) érintette például *Indlala ciklon* (2007. január-február)

Majungát (3) érintette például az *Elita ciklon* (2004. január), a *Fame ciklon* (2008. február), az *Ivan ciklon* (2008. február)

Toliara-t (5) érintette például az *Ernest ciklon* (2005. január).

Taolagnarót (6) érintette például a *Felapi ciklon* (2005. február)

Toamasinát (7) érintette például a *Gafilo ciklon* (2006. február-március), az *Indlala ciklon* (2007. január-február), a *Fame ciklon* (2008. február), az *Ivan ciklon* (2008. február).

A diagramok megerősítik azt az észrevételt, miszerint a csapadék idő és mennyiségbeli eloszlása igen hasonló Antananarivo (1), Maevatanana (2) és Majunga (3) környezetében. Valamint, bár Ranohiránál (4) az éves csapadékmennyiség valamivel kevesebb, az intenzitás a nyári hónapok során és a növényborítottság miatt az előző 3 területhez hasonlít.

A box-whisker plot-ok esetén is megfigyelhető az egyes területekre jellemző csapadékeloszlás. Azokon a területeken és időszakokban, amikor a már említett extrém csapadékmennyiségek fordultak elő, az egyes plot-ok vastagabbak.

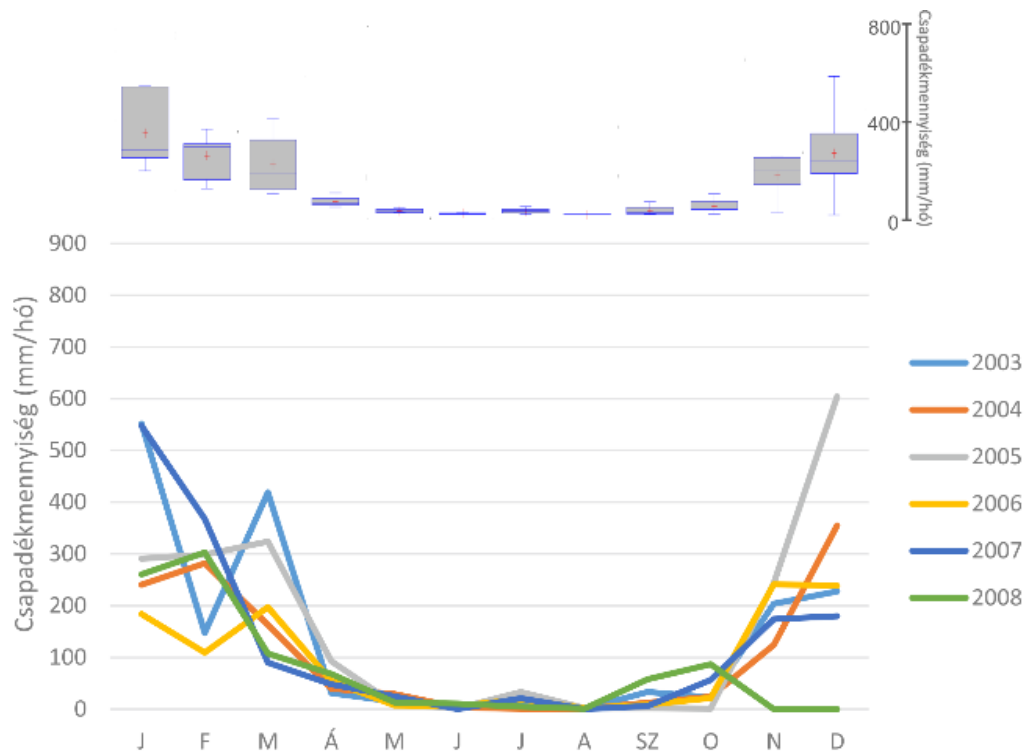
A csapadékadatokat a Mann-Whitney teszttel is vizsgáltuk. Antananarivo (1) volt a típusterület amellyel a többi csapadék adat összehasonlításra került a teszt során. Korábbi tanulmányokban az átlagos egy négyzetkilométerre eső lavaka szám 2,2 körül volt. A lavaka-eloszlás vizsgálatok eredményei is azt mutatták, hogy Antananarivo (1) alkalmas típusterületnek, ugyanis ott az átlagos lavaka szám 1,8. Ez alátámasztotta a korábbi kutatásokat, melyekben az 1-es területet vizsgálták a kutatók, mint a legjellemzőbb lavakásodásra hajlamos területet.

Az eredmények alapján azt kaptuk, hogy a száraz évszakban valamint azokon a területeken ahol nem találtam lavakákat 5 %-nál kisebb a valószínűsége, hogy a havi csapadékadatok azonos eloszlásból származnak. A nyári hónapok mérési eredményei a lavakásodásra hajlamosnak talált területeken, statisztikailag nem kizárt, hogy azonos eloszlásból származnak, mint Antananarivo csapadékatlagai (17. ábra).

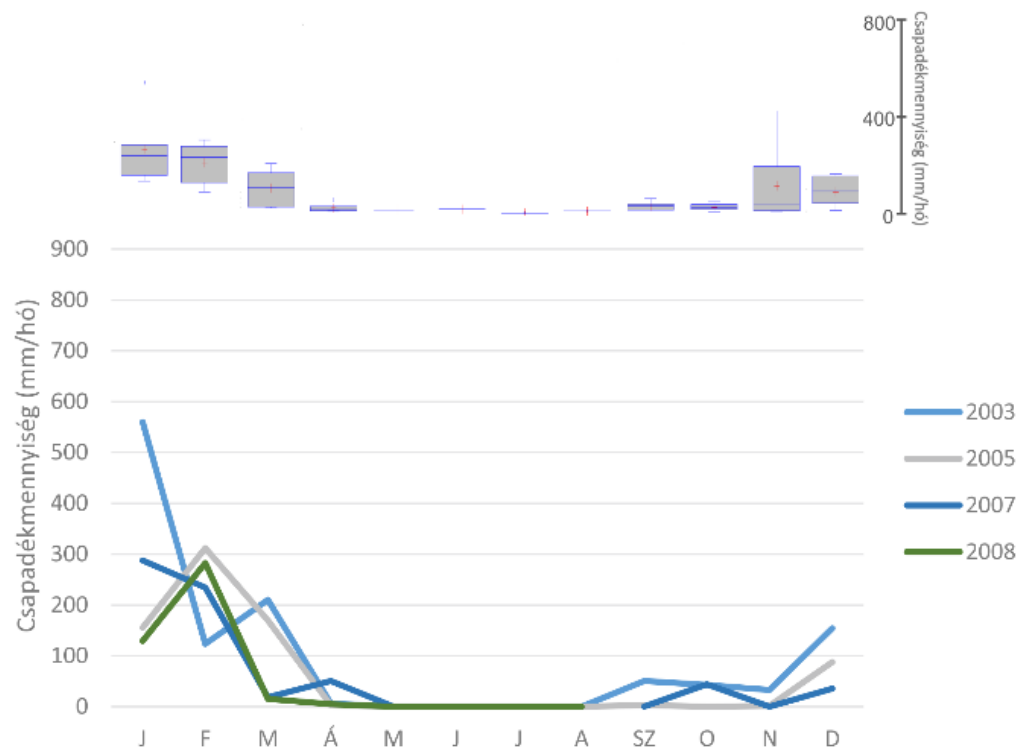
2. táblázat: Éghajlati adatok (átlag hőmérséklet, csapadékos napok, éves csapadék, ciklon megjelenés) és további befolyásoló tényezők (növényborítottság, talajjellegzetesség, kőzet, földhasználat mértéke).

Lavaka sűrűség 2003-ban és 2008-ban valamint a változás mértéke. Antananarivo (1), Maevatanana (2), Majunga (3), Ranohira (4), Toliara (5), Taolagnaro (6), Toamasina (7), Antsiranana (8).

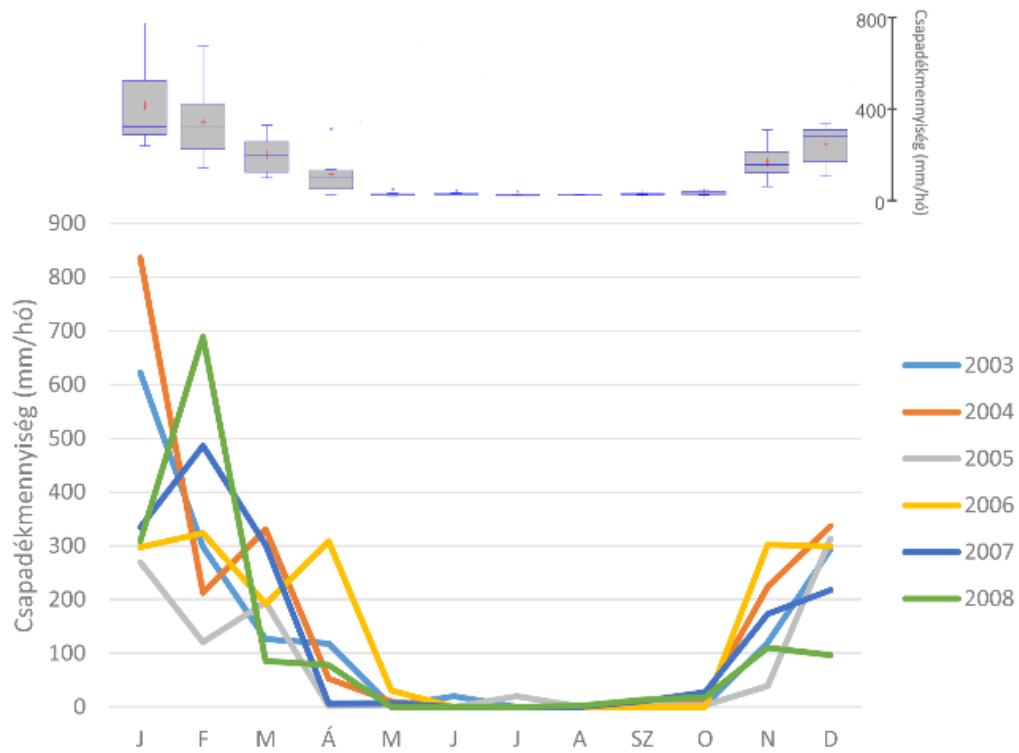
	Éghajlati adatok				További befolyásoló tényezők				Lavaka sűrűség (db/km ²)		
	Átlag hőmérséklet (°C)	Csapadékos napok (%)	Csapadék (mm/év)	Ciklon útvonal	Növényzet	Talaj	Kőzet	Földhasználat	2003	2008	Változás
1.	7-10	~38	1 000-1 500	Nem	gyér	laterit	gránit	intenzív	1,81	1,81	nincs
2.	16-18	~38	1 000-1 500	Nem	nincs	vörös homokos	vulkanikus	nem jellemző	4,27	4,27	nincs
3.	>18	~25	1 000-1 500	Igen	gyér	vörös agyagos	üledékes	nem jellemző	0,15	0,17	0,02
4.	>10	<21	600-1 000	Nem	nincs	vörös homokos	gránit	nem jellemző	0,5	0,5	nincs
5.	<15	<21	<400	Igen	gyér	homokos	üledékes	intenzív	0	0	nincs
6.	16-18	>70	>2 000	Igen	erdős	homokos	gránit	nem jellemző	0	0	nincs
7.	16-18	>70	>2 000	Igen	sűrű erdő	laterit	gránit	intenzív	0	0	nincs
8.	16-18	~25	1 500-2 000	Igen	gyér	agyagos	vulkanikus	intenzív	0	0	nincs



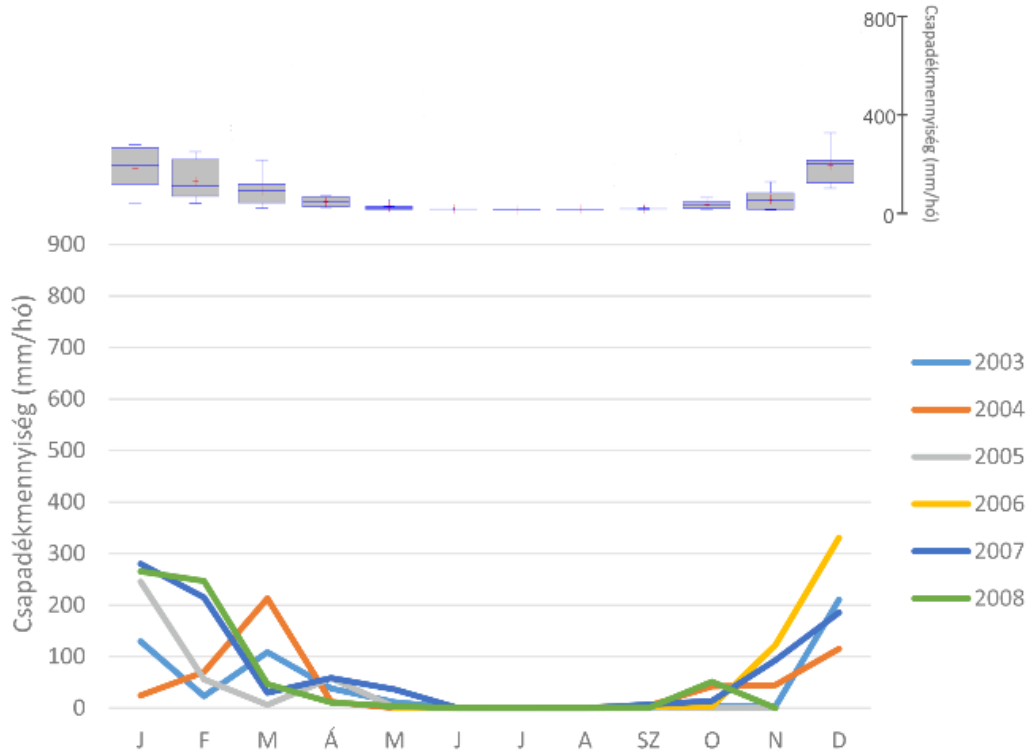
9. ábra Az Antananarivora (1) vonatkozó box-whisker plotok (fent) és havi csapadék értékek mm-ben (lent; NOAA, 2015).



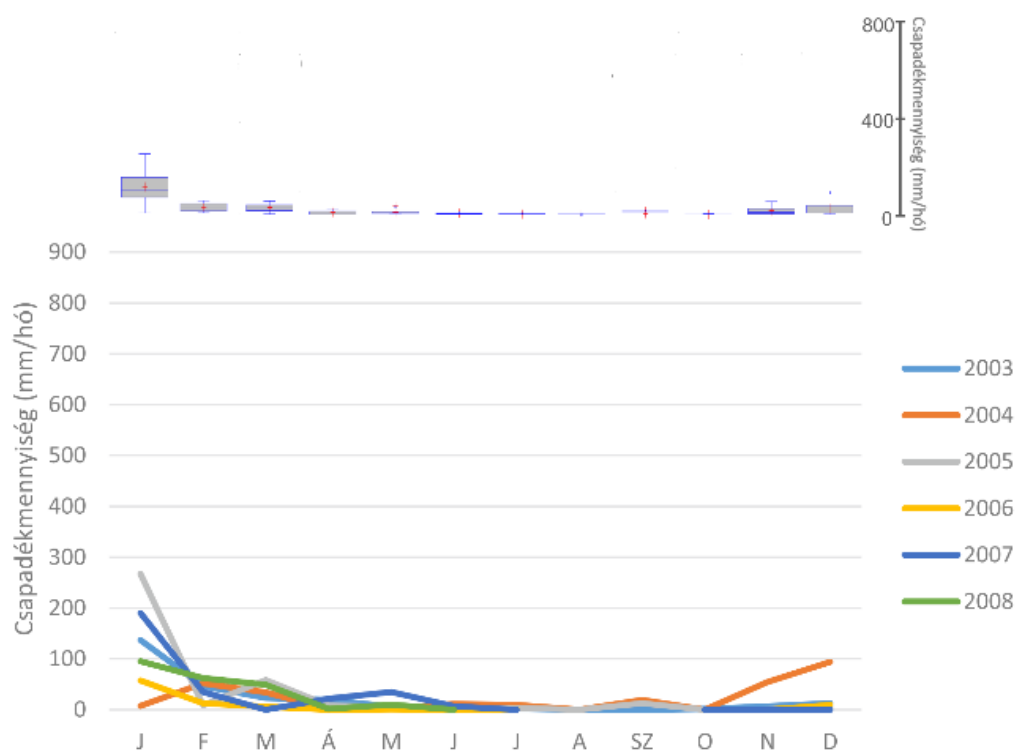
10. ábra A Maevatananára (2) vonatkozó box-whisker plotok (fent) és havi csapadék értékek mm-ben (lent; NOAA, 2015).



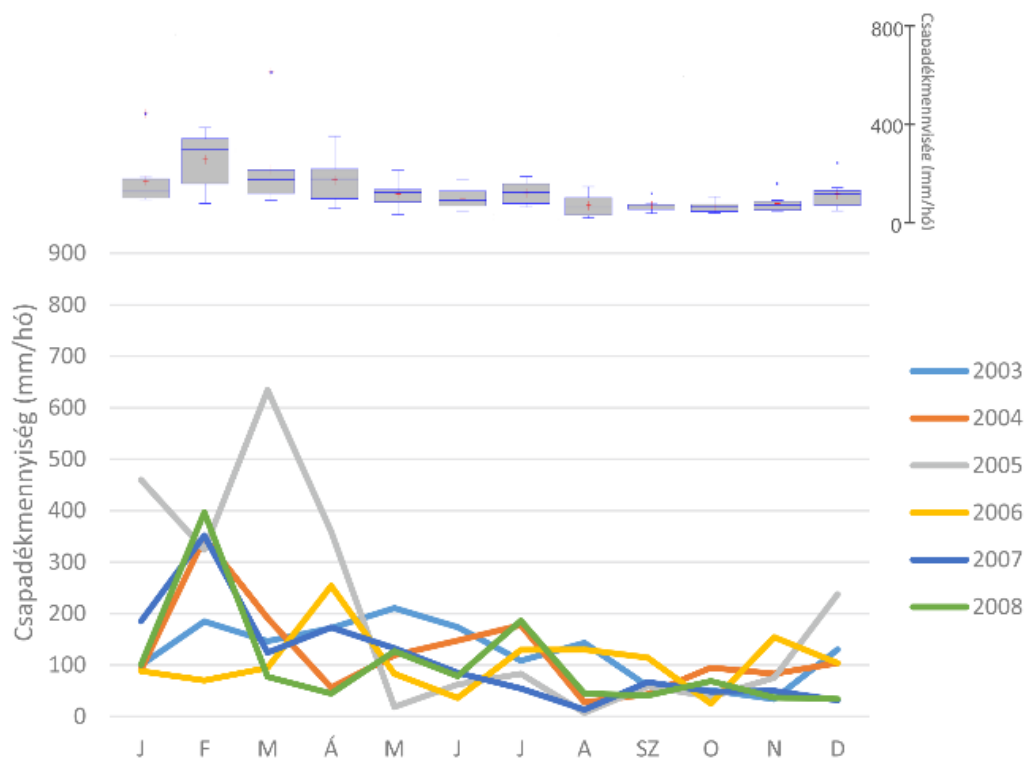
11. ábra A Majungára (3) vonatkozó box-whisker plotok (fent) és havi csapadék értékek mm-ben (lent; NOAA, 2015).



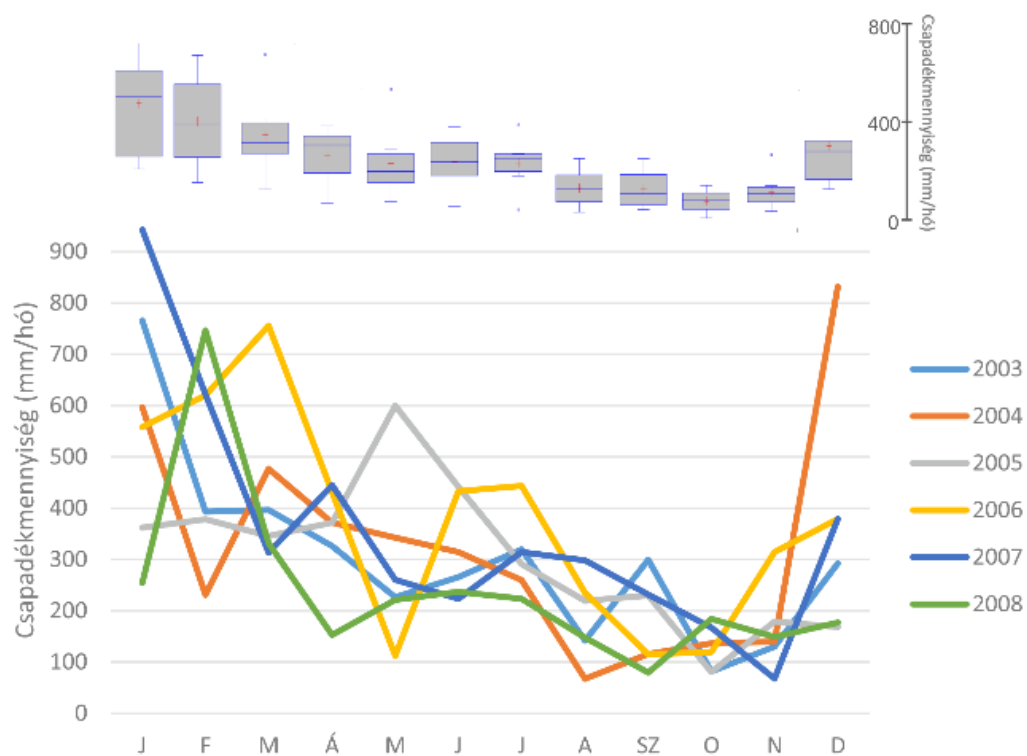
12. ábra A Ranohirára (4) vonatkozó box-whisker plotok (fent) és havi csapadék értékek mm-ben (lent; NOAA, 2015).



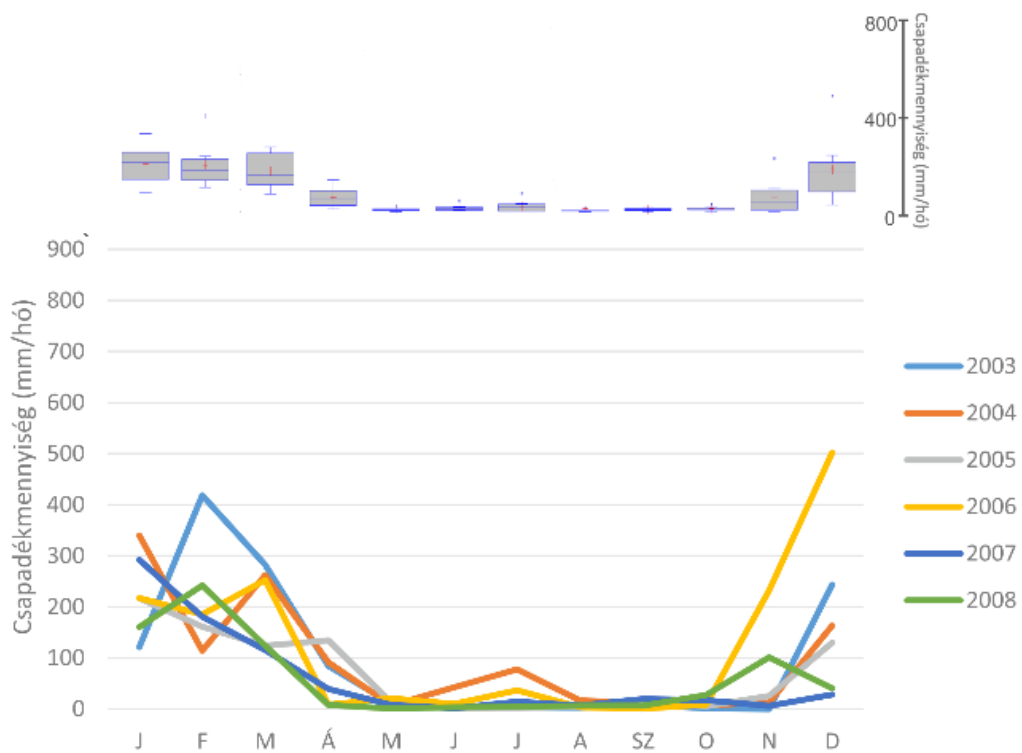
13. ábra A Toliara-ra (5) vonatkozó box-whisker plotok (fent) és havi csapadék értékek mm-ben (lent; NOAA, 2015).



14. ábra A Taolagnaróra (6) vonatkozó box-whisker plotok (fent) és havi csapadék értékek mm-ben (lent; NOAA, 2015).



15. ábra A Toamasinára (7) vonatkozó box-whisker plotok (fent) és havi csapadék értékek mm-ben (lent; NOAA, 2015).



16. ábra Az Antsiranánára (8) vonatkozó box-whisker plotok (fent) és havi csapadék értékek mm-ben (lent; NOAA, 2015).

	J	F	M	Á	M	J	J	A	SZ	O	N	D
2. Maevatanana				■	■	■	■	■				■
3. Majunga					■	■	■					
4. Ranohira		■				■	■	■	■		■	
5. Toliara	■	■	■	■	■		■	■		■	■	■
6. Taolagnaro	■			■	■	■	■	■	■		■	
7. Toamasina	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■		
8. Antsiranana								■				

17. ábra Mann-Whitney hipotézis vizsgálat eredményei a havi csapadékadatokra vonatkozólag. A területek Antananarivo (1) havi csapadék adataival lettek összehasonlítva 2003 és 2008 között. A szürke négyzetek jelölik azokat az eredményeket ahol nem volt szignifikáns kapcsolat, így a minták feltehetőleg nem származnak azonos eloszlásból (Szabó *et al.*, 2015; in press).

7. Konklúzió

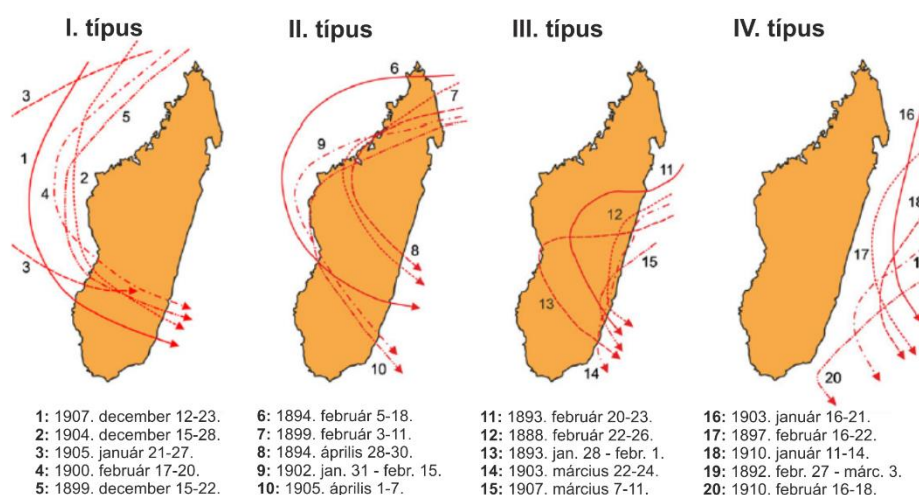
A csapadék időbeli eloszlásának vizsgálata során 8 területet vizsgáltam meg Madagaszkáron, hogy megmutassam az éghajlat és a lavakásodás közti kapcsolatot. Elkészítettem egy olyan adatbázist, amivel még korábbi tanulmányok nem foglalkoztak, melyben együttesen jelennek meg a csapadék-eloszlással kapcsolatos adatok és a lavakák területi eloszlása, valamint további területi karakterisztikák a lavakásodás folyamatának könnyebb megértéséhez. Ez a fajta összevetés lehetővé tette, hogy levonjuk az első következtetéseket.

A 8 terület közül a következő 4 helyen vannak lavakák. Antananarivo (1), Maevatanana (2), Majunga (3), Ranohira (4). Ezeken a területeken a csapadék eloszlása és az egyéb karakterisztikák hasonlóak. A száraz és nedves évszakok váltakozása szignifikáns.

Nem találtam lavakát azokon a területeken ahol a csapadék-eloszlás szinte egyenletes (Toamasina, 7), ahol a csapadék mennyiség alig néhány mm (Toliara, 5) valamint nem alakultak ki lavakák a növényzettel sűrűn borított felszínen sem (Taolagnaro, 6; Toamasina, 7). Antsiranana (8) kivételt képez, ugyanis bár ott megjelenik a markáns évszakai váltás, mégsem alakultak ki lavakák. Ennek oka lehet többek között, hogy a száraz téli időszak során megfigyelhető a csapadékdiagramon egy kiemelkedő érték. Ez alapján feltételezhető, hogy nincs olyan kellően száraz időszak, ami a lavakásodáshoz szükséges repedések megjelenéséhez vezetne a talajon. Feltételezhető továbbá, hogy egyéb, lavakásodás szempontjából lényeges tényezők, mint például a topográfiai viszonyok, nem megfelelőek.

A lavaka-eloszlás vizsgálata során kapott eredmények azt mutatják, hogy a lavakák számában egyedül Majungánál (3) következett be változás. Az eloszlásbeli növekedést az okozhatta, hogy ezen a területen a trópusi ciklonok is fokozták az eróziót.

Ezt az eredményt támasztja alá egy tanulmány, melyben a Madagaszkárt érintő trópusi ciklonok útvonalait és erősségét vizsgálták. Maevatanana (2) az I. típusú jellemző ciklonútvonalba esik bele (18. ábra), mely a 3. táblázat alapján a trópusi ciklonok által leggyakrabban leírt trajektória.



18. ábra Madagaskárt érintő trópusi ciklonok útvonala 1888 és 1910 között. A ciklonok osztályozása 4. csoportba Colin (1913) alapján (Nash et al.; 2014).

3. táblázat A Madagaskárt érintő trópusi ciklonok száma, és százalékos aránya a négy ciklonútvonalra vonatkoztatva 1862-1900 valamint 1970-2012 között (Nash et al.; 2014).

Év		Ciklon útvonal			
		I.	II.	III.	IV.
1862-1900	db	2	9	4	3
	%	11	50	22	17
1970-2012	db	6	13	9	8
	%	17	36	25	22

Megfigyelhető, hogy az utolsó 4 terület (5-8), ahol nem találtam lavakákat, beleesik a ciklonok jellemző útvonalába. Ez az eredmény alátámasztja, hogy bár lényeges a csapadék sajátos eloszlása, más előfeltételek is szükségesek a lavakák kialakulásához. Toliara (5) és Antsiranana (8) területén a topográfia és a talaj nem kedvez a lavakásodás megkezdődéséhez, míg Taolagnaro (6) és Toamasina (7) területét sűrűs növényzet borítja, mely megvédi a talajt az eróziótól.

Azokon a területeken ahol a topográfia és a növényzet és a további tényezők elősegítik az erózió megindulását, a trópusi ciklonok áthaladása tovább fokozhatja a folyamatot. Ezt támasztja alá a Chezda ciklon, mely 2015 januárjában érte el Madagaskárt és folyományaként lavakák keletkeztek (3. kép).



3. kép A 2015. januárjában Madagaszkárt is érintő Chezda-ciklon pusztítása után újabb lavakák keletkeztek a szigeten. A: Randria, 2015 és B: Andrianasolo, 2015.

Különböző típusú talajon találtunk lavakákat, de ezeken a területeken a leggyakrabban előforduló talaj nem a laterit volt, annak ellenére, hogy korábbi kutatásokban ez a típus volt a lavakásodásra hajlamos talajként lett megjelölve (Riquier, 1955).

Összességében azokon a területeken ahol találtam lavakákat, a kőzet és a talaj kevésbé volt meghatározó tényező, mint a csapadék intenzitása.

A feltételezés szerint a lavakák eloszlásának alakulásában jelentős szerepet játszik a sziget egyedi éghajlata, főként a csapadék időbeli eloszlása, amely rendkívül változatos. Az eredmények megerősítették, hogy a lavakásodást a csapadék azokon a területeken segíti elő ahol a száraz és nedves időszakok igen markánsan váltakoznak. A kutatásom során igyekeztem alátámasztani, hogy a korábban meghatározott (Cox *et al.*, 2010; Wells és Andriamihaja, 1993), lavakásodást kiemelten befolyásoló tényezők mellett egy további faktor, a trópusi ciklonok heves esőzéseinek erodáló hatása is fontos szerepet játszhat a lavakásodásban (Cox *et al.*, 2010). Ennek a befolyásoló hatásnak a vizsgálata és az adatbázis bővítése további interdiszciplináris kutatások keretében elengedhetetlen a lavakásodás folyamatának megértéséhez és modellezéséhez.

8. Kitekintés

A kutatómunkám folytatása során célom egy olyan index elkészítése, amelynek segítségével a lavakásodás valószínűsége megbecsülhető. Ehhez szükség van a lavakásodást elősegítő kritikus értékek (csapadékmennyiség, lejtőszög) és jellemzők (talajtípus, növényzet) minél pontosabb meghatározására. Ezeket egészíteném még ki a Nemzeti Éghajlati Adatközpontból letölthető trópusi ciklonok paramétereit tartalmazó adatbázis feldolgozásával (*NOAA, NCDC, IBTrACS*; 2015). Ennek segítségével pontosabban megtudnám határozni a trópusi ciklonok szerepének mértékét a lavakásodás folyamatában. Az így készített térkép alkalmas lenne az eróziós kockázat értékelésére, hogy az infrastruktúra kialakítása során figyelembe tudják venni.

9. Köszönetnyilvánítás

Köszönöm témavezetőmnek Raveloson Andreának a végtelen sok időt, türelmet valamint a rengeteg új élményt és tudást, amit a közös munka során kaptam tőle. Köszönöm konzulensemnek dr. habil. Ács Ferencnek a dolgozat megírásához adott segítséget és lelkesítést, és a konzultációk során kapott számtalan ötletet, amelyek hozzájárultak a kutatás teljességéhez. Külön köszönöm továbbá Székely Balázsnak, aki megtisztelt azzal, hogy részt vehettem a kutatócsoport munkájában, és segítségével megismerhettem a kutatói munka nyújtotta lehetőségeket. És nem utolsósorban köszönöm a családomnak és a barátaimnak, akik velem voltak a kutatás szép és nehéz pillanataiban egyaránt.

10. Irodalomjegyzék

- Andriamampianina, N., 2006: L'érosion en lavaka: Processus et utilisation par les paysans d'Ampasimbe, Madagascar. In: *Efficacité de la gestion de l'eau et de la fertilité des sols en milieux semi-arides* (szerk.: Roose, E.). AUF, EAC et IRD, Paris, 256-261.
- Ashwal, L.D. és Tucker, R., 1999: Geology of Madagascar: A brief outline, *Gondwana Research* 2(3), 335-339.
- Balázs, D., 1983: Bozóttaxival Madagaszkáron. *Világjárók sorozat*, Gondolat, Budapest
- Besairie, H., 1946: Essai d'une carte des sols de Madagascar. Service des Mines de Madagascar, Madagascar
- Blanco, H. és Lal, R., 2008: Principles of Soil Conservation and Management. *Springer Science és Business Media B. V.*, 256 p.
- Burney, D. A., 1987: Late Quaternary Stratigraphic Charcoal Records from Madagascar. *Quaternary Research* 28, 274-280.
- Burney, D.A., 1993: Late Holocene environmental changes in arid southwestern Madagascar. *Quaternary Research* 28, 98-106.
- Cornet, A., 1972: Carte bioclimatique de Madagascar. Service Cartographique de l' O.R.S.T.R.O.M, Madagascar
- Cox, R., Rakotondrazafy, M.A.F., Rakotondramazava, H.T., 2004: Geological versus human controls on lavaka formation and extreme erosion in Madagascar. In: *2004 GSA Denver Annual Meeting*, Geological Society of America, Denver, 66, 7.
- Cox, R., Zenter, D.B., Rakotondrazafy, A., Rasoazanamparany, C.F., 2010: Shakedown in Madagascar: Occurrence of lavakas (erosional gullies) associated with seismic activity. *Geology* 38(2), 179-182.
- Du Puy D. és Moat J., 1998: Vegetation mapping and classification in Madagascar (using GIS): implications and recommendations for the conservation of biodiversity, *Chronology, taxonomy and Ecology of the African and Madagascar floras*.
- Donque, G., 1972: The climatology of Madagascar. In: *Biogeography and Ecology in Madagascar* (szerk.: Battistini, R. és Richard-Vindard, G.), *Springer Netherlands, Monographiae Biologicae* 21, 87-144.
- Humbert, H., 1927: La destruction d'une flore insulaire par le feu. Principaux aspects de la végétation à Madagascar. *Mémoires de l'Académie malgache* 5, 1-78.
- Ingram, J.C., 2005: Climate change impacts and vegetation response on the island of Madagascar, *Philosophical Transactions of the Royal Society* 363, 55-59.
- Jury, M.R., 2003: The climate of Madagascar. In: *The Natural History of Madagascar* (szerk.: Goodman S. M. és Benstead, J.), The University of Chicago Press, 75-87.
- Koechlin, J., 1972: Flora and vegetation of Madagascar. In: *Biogeography and Ecology in Madagascar* (szerk.: Battistini, R. és Richard-Vindard, G.), The Hague: Junk, 145-190.
- Kull, C.A., 2000: Deforestation, Erosion, and Fire: Degradation Myths in the Environmental History of Madagascar. *Environment and History* 6, 423-450.
- Mietton, M., Cordier, S., Frechen, M., Dubar, M., Beiner, M., Andrianaivoarivony R., 2014: New insights into the age and formation of the Ankarokaroka lavaka and its associated sandy cover (NW Madagascar, Ankarafantsika natural reserve). *Earth Surface Processes and Landforms* 44, 1467-1477.
- Mulder, H. és Idoe, O., 2004: Lavaka the "hole" story: Analyses and design of an integrated bio-physical and socio-economic ESWC management approach to the lavaka phenomenon in Madagascar. Wageningen University, *Environmental Sciences*, 1-121.
- Muntz, A., és Rousseaux, F., 1901: Etude sur la valeur agricole des terres de Madagascar. *Revue de Madagascar* 3(1), 29-41.

- NASA, 2015: Tropical cyclones hitting Madagascar. Elérhető: <http://earthobservatory.nasa.gov/NaturalHazards> (utoljára elérhető: 2015.01.04).
- NOAA, NCDC, 2015: Climatic data. Elérhető: <http://www7.ncdc.noaa.gov/CDO> (utoljára elérhető: 2015.01.07).
- Oldemann, L.R., 1988: Carte agroclimatologique de Madagascar. International Soil and Information Centre, Netherlands
- ONE, 2008: La pluviometrie moyenne de Madagascar. ONE, Madagascar
- ONE, 2008: Classification des districts par rapports aux risques cycloniques. ONE, Madagascar
- Quéméré, E., Amelot, X., Pierson, J., Crouau-Roy, B., Chikhi, L., 2012: Genetic data suggest a natural prehuman origin of open habitats in northern Madagascar and question the deforestation narrative in this region. Univeristy of Wisconsin, *PNAS*, 1-6.
- Randriamanga, S., Bellan, M., Blasco, F., 2006: Application de la télédétection et d'un sig á la typologie des lavakas sur lest hautes terres de Madagascar. *Télédétection*, 6, 277-290.
- Razanatseheho, M.O., Rakotondrazafy, A.F.M. és Cox, R., 2010: Investigating Lavaka (gully) erosion in Madagascar: lithologic controls In: *2010 GSA Denver Annual Meeting*, 171-6.
- Raveloson, A., 2011: Eróziós formák vizsgálata és fotogrammetriás modellezése Madagaszkáron. EÖTVÖS LORÁND TUDOMÁNYEGYETEM TERMÉSZETTUDOMÁNYI KAR, 70 p.
- Raveloson, A., Ludván, B., Székely, B., 2014: Quantifying lavaka density and extension in relation with soil properties and topography (using high resolution satellite imagery and GIS). *Geophysical Research Abstracts* 16, EGU2014-754.
- Riquier, J., 1955: Procédés de fixation d'une érosion en lavaka et de régénération d'un terrain extrêmement érodé. *Mémoires de l'Institut Scientifique de Madagascar* 6, 169-189.
- Sussman, R. W., Green, G. M., Sussman, L. K., 1994: Satellite imagery, human exology, anthropology, and deforestation in Madagascar. *Human Ecology* 22(3), 333-354.
- Szabó, A.I., Raveolson, A., Székely, B., 2015 : Landscape evolution and climate in Madagscar: Lavakization in the light of archive precipitation data. *Cuadernos de Investigacion Geográfica* 41 (1) (in press)
- Szendrei, G., 1998: Talajtan, Egyetemi jegyzet ELTE Eötvös Kiadó, Budapest
- Unruh, J., McConnell, B., Rodman, J., 2010: Environmental change and adaptation in degraded agro ecosystems: The case of highland Madagascar, *Area* 42.3, 359-368.
- Voarintsoa, N.R., Cox, R., Razanatseheho, M.M.O., Rakotondrazafy, A., 2012: Relation between bedrock geology, topography and lavaka distribution in Madagascar. *South African Journal of Geology* 115, 225-250.
- Wells, N.A., Andriamihaja, B., 1993: The initiation and growth of gullies in Madagascar: are humans to blame? *Geomorphology* 8(1), 1-46.
- Wells, N.A., 2003: Some Hypotheses on the Mesozoic and Cenozoic Paleoenvironmental History of Madagascar. In: *The Natural History of Madagascar* (szerk.: Goodman, S.M., és Benstead, J.), The University of Chicago Press, 16-34.
- Zavada, M.S., Wang, Y., Rambolamanana, G., Raveloson, A., Razanatsoa, H., 2009: The significance of human induced and natural erosion features (lavakas) on the central highlands of Madagascar. *Madagascar Conservation and Development* 4, 120-127.