

Szent István Egyetem
Állatorvos-tudományi Kar
Biomatematikai és Számítástechnikai Tanszék

**A kék vércse (*Falco vespertinus*) fészekaljméretének
vizsgálata**

Készítette: Lázár Bence

Témavezetők: Dr. Harnos Andrea, egyetemi docens
Fehérvári Péter, PhD hallgató

Budapest

2010

Tartalomjegyzék

1	Bevezetés és célkitűzések.....	3
2	Anyag és módszerek.....	9
2.1	Mintaterület elhelyezkedése.....	9
2.2	Kék vércse költés - monitoring adatok.....	10
2.3	Lokális időjárás adatok.....	13
2.3.1	Felhasznált meteorológia adatok forrásai.....	13
2.3.2	Lokális időjárási adatokból képzett változók.....	13
2.3.3	Lokális időjárási változók.....	14
2.4	A változók várt hatásai.....	14
2.5	Statisztikai módszerek.....	16
2.5.1	Kék vércse fészekaljméret évenkénti becslése.....	16
2.5.2	Random forest.....	20
3	Eredmények.....	22
3.1	Fészekaljméret becslése a Poisson eloszlás lambda paraméterével.....	22
3.2	Releváns változók meghatározása.....	23
4	Diszkusszió.....	26
5	Összefoglaló.....	29
6	Summary.....	30
7	Köszönetnyilvánítás.....	31
8	Irodalomjegyzék.....	32

1 Bevezetés és célkitűzések

A kék vércse térségünk egyetlen telepesen költő, kis testű ragadozó madár faja, a sólyomfélék családjába (*Falconidae*) és a sólyom-alakúak rendjébe (*Falconiformes*) tartozik. Hazánkban fokozottan védettnek minősül. Az IUCN (International Union for Conservation of Nature) vörös listás, csaknem veszélyeztetett kategóriába sorolja (www.falcoproject.hu). Az EU a fajt a Birds Directive Annex I csoportjába sorolja.

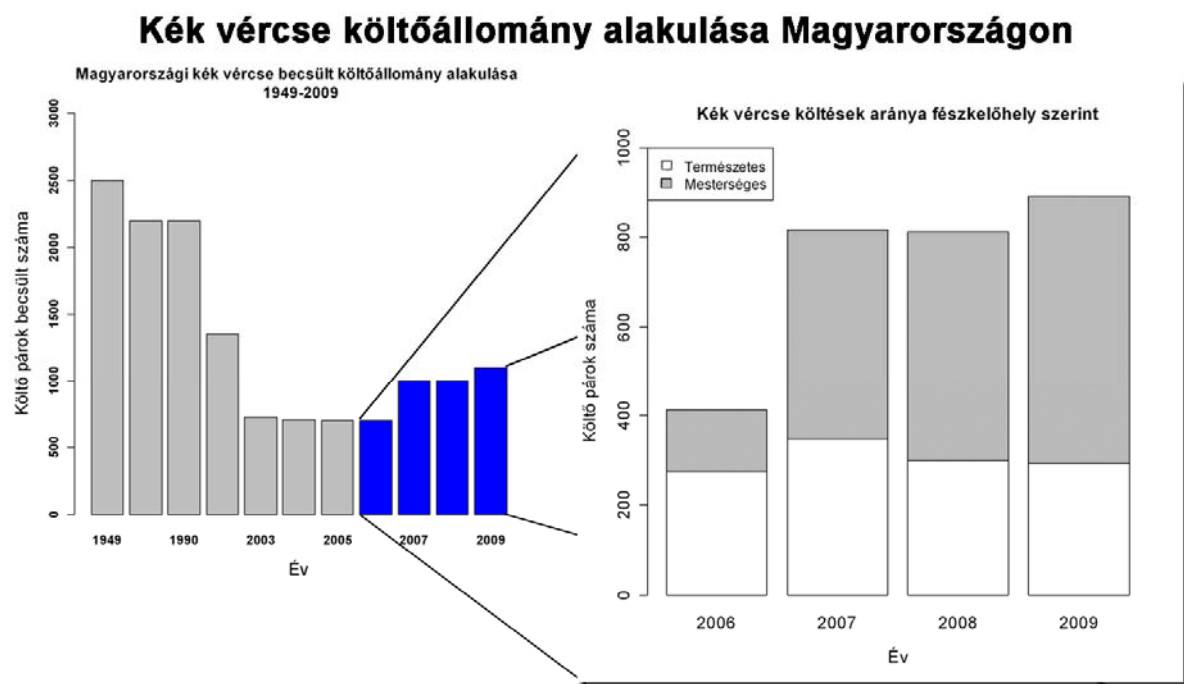
A kék vércsék obligát-transzkekvatoriális vonulók, a telet Afrika egyenlítőől délre eső területein töltik (Csörgő et al. 2009). A vonulás megkezdése előtt általában a madarak a fészkelő területen belül kóborolnak, napközben kis csoportokban vadásznak, míg az éjszakákat akár több ezres gyülekezőhelyeken töltik. Ezen gyülekezőhelyekről kezdődik meg később a vonulás is (www.falcoproject.hu). 2009-ben 8 madár lett műholdas jeladókkal felszerelve, ezen vizsgálatból kiderült, hogy a kék vércsék feltehetően Angola déli és Namíbia északi területeit részesítik előnyben a teletelés során (www.falcoproject.hu).

Elterjedése Közép-Kelet-Európától egészen a Bajkál-tó vonaláig húzódik, nagyobb fészkelő állománya azonban Európán belül csak Magyarországon, Romániában, Ukrajnában és Oroszországban alakult ki. Így hazánk tekinthető a faj nyugati elterjedési határának (Del Hoyo 1994). Fontos kiemelni, hogy Magyarország az elterjedési területhez képest ugyan kis területet képvisel, mégis jelentős költőállománnyal rendelkezik, így nem elhanyagolható védelmi szempontból (Bagyura & Palatitz 2004). Hazánkban, napjainkban a Tiszántúlon illetve a Duna-Tisza közén költ rendszeresen (Fehérvári et al. 2009b). Általánosságban elmondható, hogy az alacsony tengerszint feletti magasságon elterülő nyílt, kis erdőfoltokkal, bokrokkal tarkított élőhelyeket preferálja (www.falcoproject.hu).

A kék vércsék a legtöbb sólyomféléhez hasonlóan nem építenek fészket, helyette más fajok fészkeit foglalják el költésük során (Ferguson-Lees et al. 2001). Leggyakrabban varjúfélék, leginkább a vetési varjak (*Corvus frugilegus*) elhagyott telepeit használják (Horváth 1964; Purger & Tepavcevic 1999). A kék vércsék mind telepes, mind szoliter módon költenek (Haraszthy & Bagyura 1993).

Az 1990-es évektől a teljes költőterületen erős csökkenés figyelhető meg a költő párok számában, melynek okai között a vetési varjak fogatkozása miatt fellépő fészkelőhely-hiány feltehetően jelentős szerepet játszott (www.falcoproject.hu). Magyarország területéről részletes költési paraméterek 2006-tól állnak rendelkezésünkre. Ebben az évben vette kezdetét a „A kék vércse védelme a Pannon-régióban” elnevezésű LIFE Nature projekt (Palatitz et al.

2006). A kék vércsék számára ez az év különösen rossz volt, időjárási és táplálék ellátottsági szempontból egyaránt (Fehervári pers. comm.). A 2006-os mélypont után a magyarországi állomány növekedésnek indult, feltehetően az aktív védelmi munkáknak is köszönhetően (Palatitz et al. 2008) (1. ábra). Mivel hazánkban a fogyatkozás egyik lehetséges oka a fészkelőhely hiánya volt, így a projekt során számos (~3000 db) mesterséges költőláda került kihelyezésre. Ennek köszönhetően elkezdett nőni a vércsék számára rendelkezésre álló fészkelőhely, továbbá ez azt is eredményezte, hogy mára a hazánkban költő kék vércsék 70%-a mesterséges ládában költ (Palatitz et al. 2008). Tehát a faj a jövőben is aktív és folyamatos védelemre szorul a jelenlegi költő populáció fenntartásához.



1. ábra: Kék vércse költőállomány alakulása Magyarországon

A bal oldali ábrán a foglaló párok számából becsült költő párok száma látható egyes időszakokban, 1949 és 2009 között Magyarországon. A jobb oldalt látható oszlopdiagram kiemelve ábrázolja a 2006 és 2009 közötti időszakot: itt az ismert fészkelőhelyek költő párjainak száma van feltüntetve, valamint az, hogy az egyes években milyen arányban költöttek a madarak természetes illetve mesterséges fészkekben. Kék színnel jelöltük a LIFE Nature projekt időtartamát.

Korábbi vizsgálatokból is kiderült, hogy milyen jelentős hatása lehet az időjárásnak a madarak költésére (Rodríguez & Bustamante 2003; McDonald et al. 2004; Morrison et al. 2007).

Fontos tényező a csapadék, amely több aspektusból is jelentős lehet a madarak életében. Vörösvállú ölyveken (*Buteo lineatus*) végzett vizsgálatok kimutatták, hogy a költési időszakban lehullott nagy gyakoriságú csapadéknak negatív hatása van a költéskezdesre, későbbre tolja azt, mely kisebb fészekaljméretet és kisebb sikerességet eredményez (Morrison et al. 2007). Egy másik kutatásban hosszúlábú sólymok (*Falco berigora*) költési sikerességét vizsgálták az időjárás függvényében. Eredményeik szerint a szaporodási sikerre és az öreg tojó madarak túlélésére egyaránt az erős, felhőszakadászerű csapadék gyakorisága volt a legnagyobb negatív hatással (McDonald et al. 2004). Fehérkarmú vércsék (*Falco naumanni*) vizsgálata alapján kiderült a költés sikerességét a téli csapadék pozitívan, míg a fiókás korban hullott nagyobb mennyiségű eső negatívan befolyásolja. A csapadék pozitívan hat továbbá az átlagos fiókaszáma a téli, a párválasztási és az inkubációs időszakban egyaránt. A kutatás szintén kimutatta az udvarlási és inkubációs időszakban hullott csapadék előnyös hatását a fiókák kondíciójára (Rodríguez & Bustamante 2003).

A csapadék mellett talán a legfontosabb időjárási tényező a hőmérséklet. Skóciai siketfajdok (*Tetrao urogallus*) vizsgálata során kiderült, hogy a tavaszi hőmérsékletnek komoly szerepe van a populáció méretének növekedésében vagy hanyatlásában. Úgy tűnik, ha áprilisban korábban kezd el emelkedni a hőmérséklet a tojók több fiókat képesek felnevelni. Ez valószínűsíthetően a növényzet korábbi fejlődésének tudható be. A május végén és június elején tapasztalható melegebb időjárás, valamint kevesebb csapadék szintén pozitív hatással volt a tojók által felnevelt fiókák számára (Moss et al. 2001). Ugyancsak pozitívan befolyásolja az átlagos minimum hőmérséklet a fehérkarmú vércsék (*Falco naumanni*) fészekfoglalását (Rodríguez & Bustamante 2003). Egy vörös vércsékkel (*Falco tinnunculus*) foglalkozó kutatás során pedig bizonyosságot nyert, hogy a territoriális denzitásra és a költő párok számára legerősebben ható tényező a téli hőmérséklet és a hóborítottság (Kostrzewa & Kostrzewa 1991). A tojásrakás előtti időszak átlaghőmérséklete is befolyásolhatja a madarak költésének sikerességét, erre jó példa a barna kánya (*Milvus migrans*). Ennél a fajnál a tojásrakás előtti 20 nap átlagos hőmérséklete bizonyult jelentős tényezőnek. Ez a paraméter pozitív összefüggést mutat a populációban mért kelési sikerrel és ezen keresztül a kikelt fiókák átlagos számával is. Ezt az összefüggést valószínűleg a szülő madarak magas dezertálási aránya okozza, amely feltehetően akkor következik be, ha a tojásrakást megelőző periódus hőmérséklete alacsonyabb az átlagosnál (Sergio 2003).

Más tanulmányok rámutatnak, hogy nem csak a fészkelőhely időjárási és minőségi paraméterei fontosak, hanem a telelőterület tulajdonságait is vizsgálnunk kell, hogy teljes

képet kapjunk az adott fajt érő hatásokról. A legyezőfarkú lombposzáta (*Setophaga ruticilla*) hímjei, ha jó minőségű területen telelnek nagy valószínűséggel jelentős többlet zsírt képesek felhalmozni (Greenberg & Marra 2005). Így hamarabb érkehetnek a fészkelő területre, ennek eredményeként több fiókat tudnak kirepíteni. A tojók átlagosan kétszer több fiókat képesek felnevelni és akár egy hónappal hamarabb, mint a rossz minőségű területről érkező társaik (Norris et al. 2004).

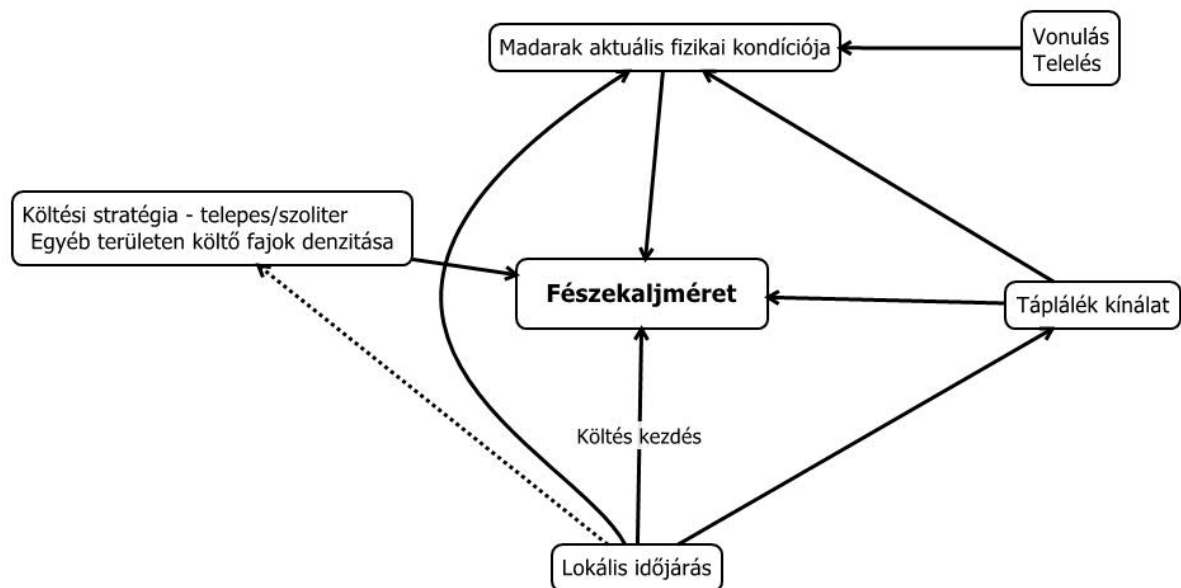
További fontos költést befolyásoló tényező az adott terület táplálék-ellátottsága. A vörös vércsék (*Falco tinnunculus*) esetében a költő párok száma mutat összefüggést a tavasszal elérhető pocok mennyiséggel (Kostrzewa & Kostrzewa 1991), míg a prérísólymok (*Falco mexicanus*) esetében a Townsend ürgék abundanciája a meghatározó paraméter, mely befolyásolja a madarak reprodukivitását (Steenhof et al. 1999).

Ahhoz, hogy eredményesen védhessük a kék vércsét, minél jobban meg kell értenünk azokat a hatásokat, amelyek befolyásolják az életmenet komponenseiket. Fontos ismernünk azokat a tényezőket, amelyek hatással vannak a fészkelés, a vonulás és a telelés során.

Jelen vizsgálatban arra a kérdésre keressük a választ, hogy a kék vércsék fészkeljelméretét milyen környezeti tényezők befolyásolják, és ezek hol és hogyan hatnak a madarak élete során (2. ábra). Szűkebb vizsgálati kérdésünk, hogy a környezet számos eleme közül a mintaterület lokális időjárási paraméterei, hogyan befolyásolják a vércsék fészkeljelméretét. Ez a paraméter határozza meg ultimálisan a madarak lehetséges utódszámát. A fészkeljelméret alatt ebben a vizsgálatban a madarak maximális tojásszámát értjük és nem azon tojások számát, amelyekből biztosan ki is kelt a fióka. Azért ezt a változót használtuk, mert így vizsgálható legjobban a vércsék szaporodási befektetése, vagyis ezen keresztül láthatjuk mennyi forrás állt a madarak rendelkezésére az adott költési időszakban. A szaporodási befektetés függ környezeti, endogén és exogén hatásoktól, populációs szinten azonban feltehetően a környezeti paraméterek a meghatározóak. Az időjárási tényezők egy része a madarakra hat, közvetlenül befolyásolva a fészkeljelméretet, míg más paraméterek a madarak prédaállataira hatnak, ezzel szabályozva a vércsék számára rendelkezésre álló táplálékmenyiséget.

A kék vércsék fészkeljelméretét számos tényező befolyásolhatja, ezek a komponensek gyakran egymáson keresztül, szinergista és antagonista módon hatnak. A lokális időjárásnak lehet közvetlen hatása, mivel a költéskezdetkor esetlegesen kialakult rossz körülmények későbbre tolhatják a költést, így rontják a magasabb tojásszámú fészkeljelméret kialakulásának

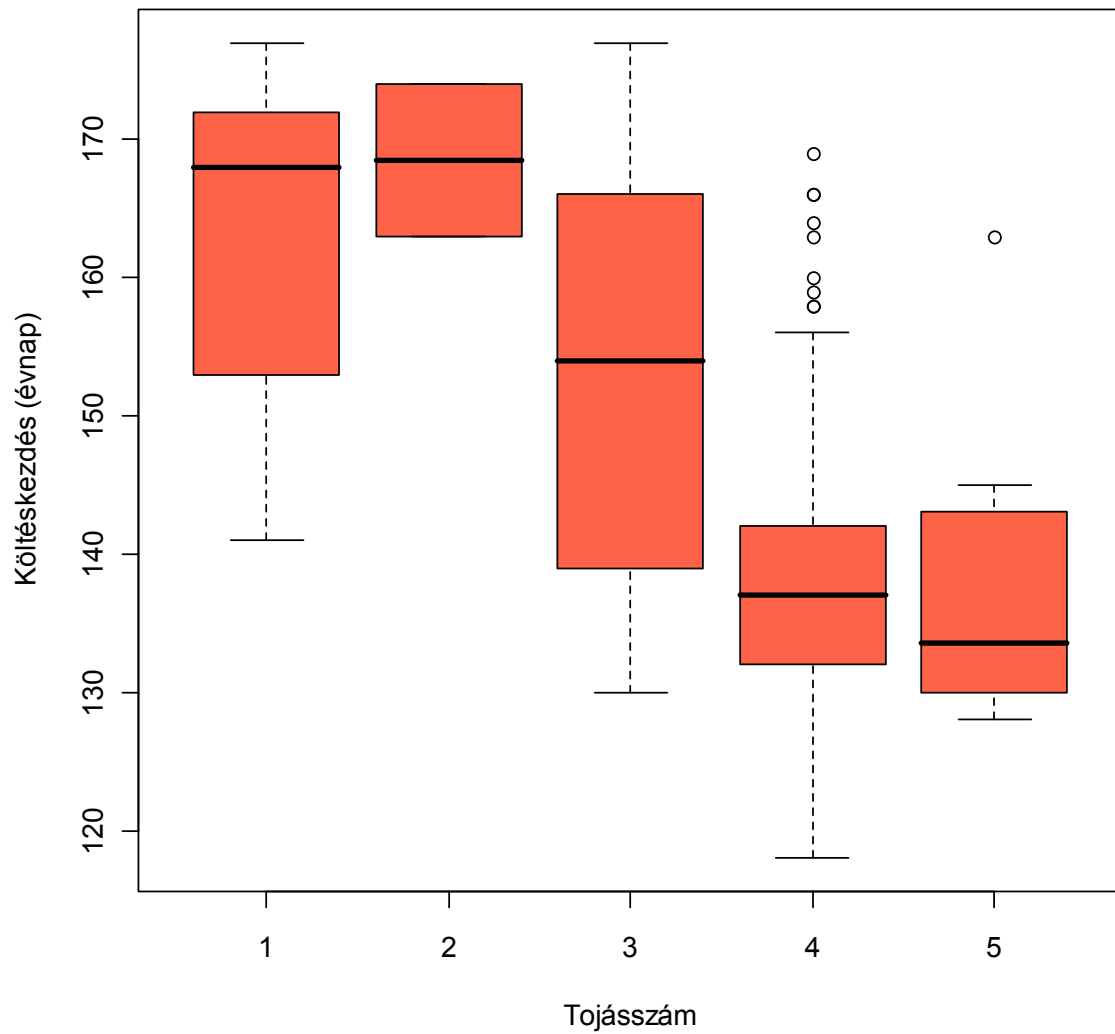
lehetőségét (3. ábra), illetve egyes ragadozó fajoknál azt is megfigyelték, hogy jellemzően csak az előző évben korán kikelt hímek kezdenek a következő évben költeni (Smallwood & Smallwood 1998). Az időjárás hathat közvetve is, például a táplálékkínálaton keresztül. Rossz időjárási körülmények között a vércsék nem találnak elég táplálékot és mindkét madárnak vadászni kell, így előfordulhat, hogy nem tudnak a tojások melegítéséhez elegendő ideig kotlani, ami a fészekalj egy részének pusztulásához vezethet. A táplálékkínálat hat a madarak fizikai kondíciójára, így azt is meghatározhatja, hogy a tojó madár milyen minőségű és mennyiségű tojást képes lerakni. Az aktuális fizikai kondíció kialakulásában fontos szerepe van a költési időszakot megelőző vonulási és telelési időszaknak is, ugyanis a vércsék útközben ért negatív hatások, illetve a telelő terület minősége nagy hatással lehet a tavaszi fizikai állapotukra. Úgy gondoljuk fontos továbbá az, hogy a madarak milyen költési stratégiát választanak (telepes, szoliter), illetve számottevő hatása lehet akár a területen költő egyéb fajok denzitásának is.



2. ábra: Fészekaljméretet befolyásoló tényezők

Az ábrán a kék vércsék fészekaljméretét befolyásoló tényezők és egymáshoz való viszonyaik láthatóak. A nyilak jelölik a kapcsolatokat és azok irányát.

A lokális időjárás direkt módon hat a fészekaljméretre a költés kezdési idejének módosításán keresztül, és indirekt módon a madarak fizikai kondícióján és a táplálékkínálaton keresztül. Az utóbb említett két tényezőnek közvetlen hatása is van a tojásszámra, illetve a táplálékkínálat a kondíción keresztül közvetve is hat. A vonulási és telelési időszak szintén befolyásolja a vércsék fészekaljméretét, ugyanis erős hatással vannak a madarak tavaszi fizikai állapotára. További fontos tényező, hogy a vércsék szoliter vagy telepes módon költenek, ez szintén befolyásolhatja, hogy mekkora lesz a madarak tojásszáma.



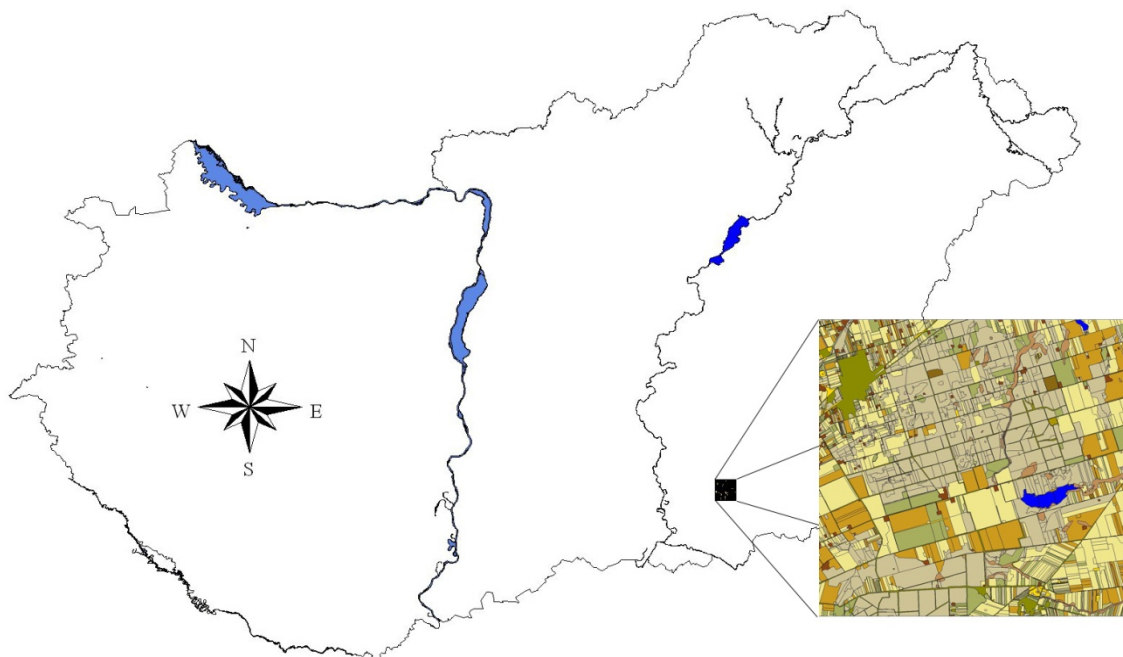
3. ábra: A kék vércsék költséskézdésének boxplotjai tojásszámonként

A fenti boxploton a kék vércsék költséskézdésének eloszlását láthatjuk a tojásszám függvényében. A költséskézdést évnapiakban ábrázoltuk, a vastag fekete vonal a mediánt jelöli.

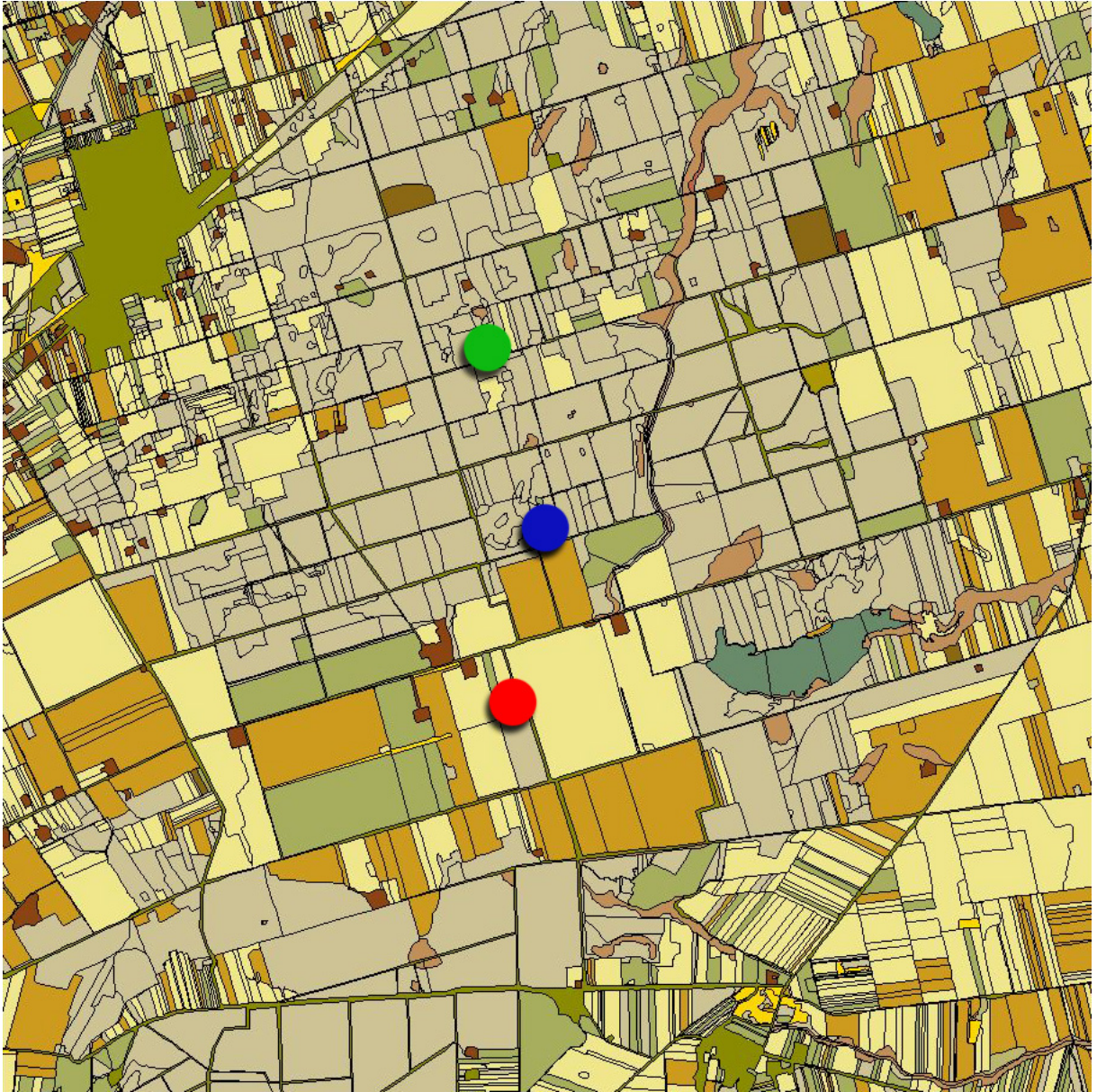
2 Anyag és módszerek

2.1 Mintaterület elhelyezkedése

A kék vércsék költésére vonatkozó adatok a Vásárhelyi-pusztákról származnak, ez a terület Magyarország délkeleti régiójában, a Tiszántúlon helyezkedik el (4. ábra). A vizsgálatban három nagy vércsetelep adatai szerepelnek, melyek a Kardoskúti Fehér-tó tágabb környezetében helyezkednek el, az Orosháza, Székkutas, Békéssámson és Kardoskút települések által közrefogott négyszögben (5. ábra). A tájegység 1966 óta természetvédelmi terület, 1997 óta pedig a Körös-Maros Nemzeti Park Igazgatóságának (KMNP) hatáskörébe tartozik (<http://kmnp.nemzetipark.gov.hu/>). Jellemzően szikes puszta típusú élőhely, viszonylag egyedi mikroklímával.



4. ábra: A mintaterület Magyarországon belüli elhelyezkedése



5. ábra: A mintaterületen található három telep elhelyezkedése

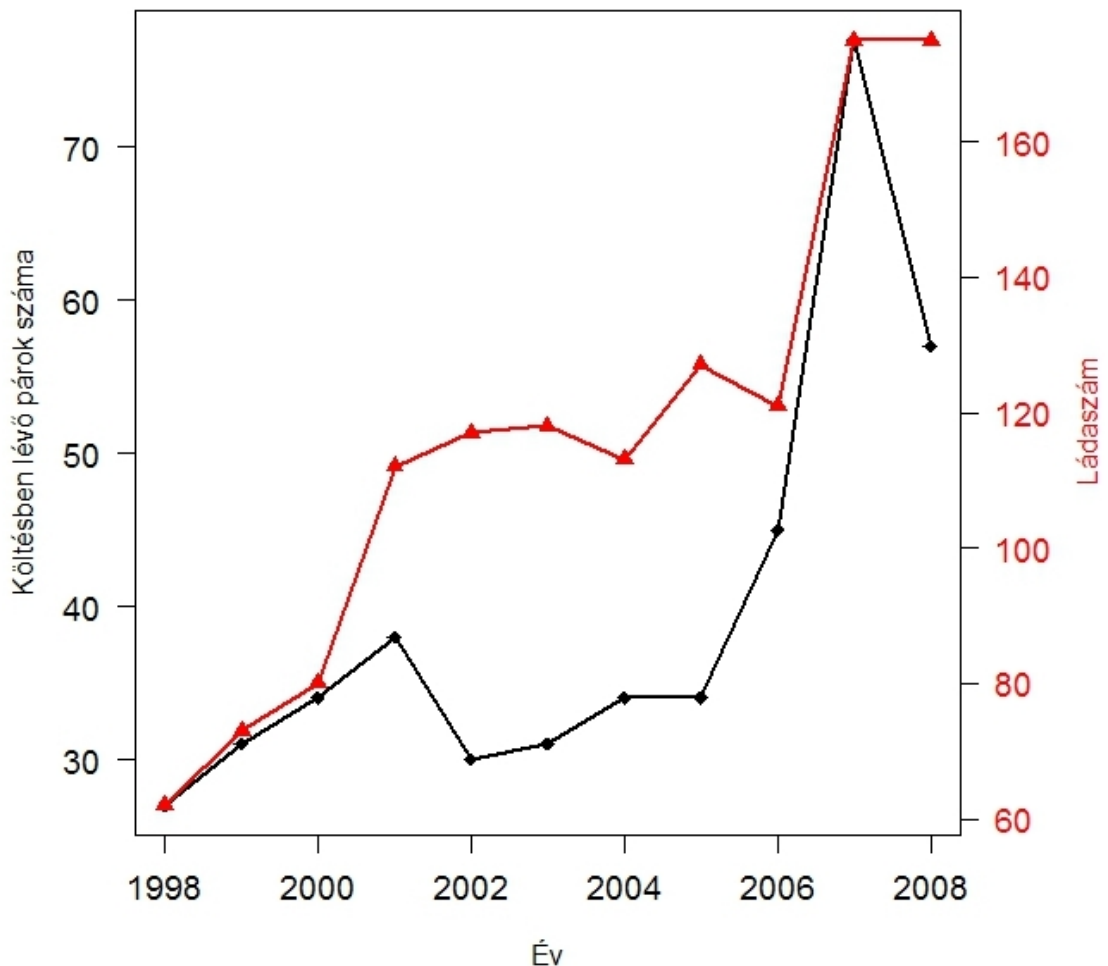
A térképen látható színes körök a Vásárhelyi-pusztákon található három nagy kék vércse telepet jelölik. Mellettük jobbra kékes zöld színnel a Kardoskúti Fehér-tó látható. Zöld körrel jelölve a csajági telep, kék körrel jelölve a ficséri telep és piros körrel jelölve a peczércési telep.

2.2 Kék vércse költés - monitoring adatok

A Vásárhelyi-pusztákon 1995 előtt a kék vércsék nem költöttek, feltehetően nem voltak megfelelő körülmények a faj számára, elsődlegesen gondolva itt az alkalmas fészkelőhely hiányára. Ebben az időszakban a költő varjak jelenléte egyáltalán nem volt jellemző a területre. 1995-ben került sor az első mesterséges fészkelő ládák telepítésére, Kotymán László, Körös-Maros Nemzeti Park Igazgatóságának munkatársa jóvoltából

(Kotymán 2001). Ebben az évben 6 láda került kihelyezésre, ezeket a vércsék meglepően hamar elfoglalták. Az ezt követő években - egészen napjainkig - folytatódott a mesterséges fészkelőhelyek számának gyarapítása, és ezzel párhuzamosan a területen költő kék vércsék száma is emelkedni kezdett (6. ábra). Mára a ládák száma 150 db fölött van, három nagy ládaközösséget és számos szoliter fészkelő helyet alkotva. További érdekesség, hogy az egyre növekvő vércse és ládaszám mellett az utóbbi időben (főként 2009-től) a vetési varjak (*Corvus frugilegus*) is megjelentek a területen, és számuk szintén növekedést mutat. Ez a folyamat Magyarország területén máshol is megfigyelhető volt, ami természetvédelmi szempontból azért fontos, mert így a jövőben a mesterséges telepeken költő kék vércsék számára újra elérhetővé válnak a természetes varjútelepek, így a faj kevésbé lesz kiszolgáltatva az aktív védelmi munkának.

Költésben lévő párok száma és ládaszám évenként



6. ábra: Költő párok és fészekládák száma 1998 és 2008 között

Az ábrán a Kardoskúti mintaterület 3 telepén és környezetükben költő kék vércse párok száma feketével látható, míg az adott évben a madarak rendelkezésére álló ládák száma piros színnel van jelölve.

Az 1995 és 2005 közötti időszakban Kotymán László és munkatársai végezték a fészkek monitorozását. 2006-tól kezdetét vette a „A kék vércse védelme a Pannon-régióban” LIFE Nature projekt, melynek keretében jobb felbontású adatgyűjtésre nyílt lehetőség (a plusz anyagi háttér biztosította többlet munka által), így ebből az időszakból részletesebb információink vannak a madarak költésére vonatkozóan.

A fészkelési paraméterek gyűjtése a 1995-1997 közötti periódusban évente 2-7 alkalommal történt, 1998 és 2005 között pedig jellemzően 5-15 ellenőrzés zajlott évente. A LIFE projekt időtartama alatt (2006-2009) ez a szám 24-42 közé tehető. Fontos hangsúlyozni, hogy ezek az adatok az egy évben fészkekellenőrzéssel töltött napok számára értendők, így nem feltétlenül az összes ládára vonatkozó ellenőrzések számát jelentik (1. Táblázat).

1. Táblázat: A költési időszakban elvégzett ellenőrzések száma havi bontásban, évente

	Tojásrakás, kotlás		Fiókanevelés		
	Április	Május	Június	Július	Augusztus
1995	1	1	0	0	0
1996	0	1	1	3	0
1997	2	2	1	2	0
1998	1	2	5	4	0
1999	1	2	3	3	0
2000	1	1	1	2	0
2001	3	2	5	5	0
2002	1	3	3	3	2
2003	1	3	2	1	0
2004	1	2	2	1	1
2005	3	2	1	2	1
2006	0	3	5	12	4
2007	2	10	9	12	2
2008	2	6	6	19	9

A táblázat fejlécében látható a hónapok felosztása az általában akkor jellemző költési periódus szerint. A kotlási és fiókanevelési időszak legtöbbször június hónap folyamán váltja egymást, ezért látható itt mindkét jelölés egy cellában. A világosszürke táblázatrész a LIFE Nature projekt időtartamát jelöli, míg a világos- és sötétszürke részek együttesen jelen vizsgálat intervallumát hivatottak szemléltetni.

(Fontos kiemelni, hogy a táblázatban nem feltétlenül az összes ládára vonatkozó ellenőrzések száma látható.)

A fészkekellenőrzések során minden esetben rögzítésre került a dátum, a láda fészkekazonosító száma, a fészekláda típusa, állapota, és - attól függően, hogy a költési időszak melyik periódusában történt az ellenőrzés - a foglaló pár faja, a tojások vagy a fiókák száma, továbbá - amennyiben ez lehetséges volt - megállapították a fiókák korát is. Általában a

mesterséges telepeken a kék vércsén kívül más fajok is fészkelnek, legjellemzőbbek a vörös vércse (*Falco tinnunculus*), a csóka (*Corvus monedula*) és az erdei fülesbagoly (*Asio otus*). Ezen fajok kisebb vagy nagyobb számban, de általában minden évben képviseltették magukat a három nagy telep valamelyikében vagy akár mindháromban.

Jelen szakdolgozat elemzéseiben az 1998 és 2008 közötti költésadatokat használtuk, mert a korábbi évekből - főként a költő vércse párok alacsony száma miatt - nem áll rendelkezésre elég pontos adatsor, amely egyben azt is jelenti, hogy nem tudjuk elég pontosan becsülni az átlagos fészkealjméretet (1. Táblázat).

2.3 Lokális időjárás adatok

2.3.1 Felhasznált meteorológia adatok forrásai

A vizsgálat során használt meteorológiai adatok több forrásból származnak. Rendelkezésünkre állt Szegedről, Békéscsabáról és Orosházáról napi minimum-, maximum- és átlaghőmérséklet valamint napi csapadék és szélsébség az Országos Meteorológiai Szolgálat (OMSZ) révén, az 1998-2008 közti időszakból. Továbbá használtuk az Alsó-Tisza vidéki Környezetvédelmi és Vízügyi Igazgatóság (ATIKÖVIZIG) lokális csapadékadatát Békéssámson, Székkutas és Kardoskút településekről, szintén az 1998-2008 közti időszakból. Ezekon kívül a Körös-Maros Nemzeti Park Igazgatóságának Sóstói-telepéről (helyi állatelep) származó csapadékadatok álltak még rendelkezésünkre, azonban ezeket az adatokat csak 2005-től kezdték rögzíteni, tehát a vizsgált időszak jelentős része adathiányos.

2.3.2 Lokális időjárási adatokból képzett változók

Az őszi és téli periódus jellemzésére összevontan kezeltük október, november, december, január és február adatait. Változóként használtuk az elemzések során ezen hónapok összesített csapadékmennyiségét évenként (milliméterben), valamint kiszámoltuk a napi hőmérséklet adatokból a periódusra jellemző átlagos minimum hőmérsékleteket, szintén éves bontásban. Őszi-téli időjárást jellemző változóként használtuk továbbá a 0 °C -nál alacsonyabb hőmérsékletű napok számát, valamint a csapadékos napok számát, melyeket - hasonlóan a többi változóhoz - évenként vizsgáltunk.

Míg a téli adatok esetében elégségesnek ítéltük meg a globális változók használatát, a tavaszi időjárás vizsgálatánál fontos volt, hogy részletesebb betekintést nyerhessünk a változásokba, így havi bontásban elemeztük a március, április és május hónapokat.

Mindhárom hónap esetében három változót határoztunk meg az időszak jellemzésére. Vizsgáltuk az összesített csapadékmennyiséget évenként, milliméterben, a napi hőmérséklet adatokból számolt havi átlaghőmérsékletet évenkénti bontásban, valamint a csapadékos napok számát minden hónap esetében.

Az elemzések során az OMSZ-től kapott orosházi meteorológiai adatokat használtuk a hőmérsékletre vonatkozó változók kialakításánál. A csapadékadatok esetében rendelkezésünkre állt a vizsgált területhez közelebb eső adatforrás, így ezeknél a változónál az ATIKÖVIZIG székkutasi napi csapadék-adataira támaszkodtunk.

2.3.3 Lokális időjárási változók

A már kiszámolt időjárási változóink folytonos skálán mért számszerű értékeket tartalmaznak, azonban mi nem arra voltunk kíváncsiak, hogy mi az esetleges konkrét értékek hatása, hanem arra, hogy az átlagostól való eltérés hogyan befolyásolja a fészekaljméretet. Ezért minden változó esetében kategorizáltuk az adatokat. Természetes csoportokat képeztünk egy klaszter elemzéssel a változók évenkénti értékeiből, jelen esetben minden változónál 3 kategóriát állapítottunk meg: alacsony, átlagos és magas. Ennek eredményeként a továbbiakban a változóink 1, 2 vagy 3 értékeket vehetnek fel attól függően, hogy az adott év a vizsgált változó szempontjából melyik csoportba tartozik. Ez a módszer alkalmas annak meghatározására, hogy bizonyos évek például enyhén, közepesen vagy nagyon csapadékosak voltak-e, eltekintve a konkrét milliméterben vett számértékektől.

2.4 A változók várt hatásai

Az őszi és téli időszakot jellemző változóktól alapvetően azt várjuk, hogy a tavaszi táplálékkínálatot befolyásolják. Ha sok csapadék hullik, alacsony a téli átlagos minimum hőmérséklet, magas a 0 °C alatti napok aránya, vagy a téli periódus napjai közül sok a csapadékos, akkor feltételezéseink szerint kevés pockok várható tavasszal. Az említett tényezők feltehetően csökkentik a pockok téli túlélését, így a költési periódusra nem maradnak meg olyan sűrűségben, amely a vércsék számára optimális táplálékot tudna nyújtani. Ennek következtében a madarak csökkentik a költésbe fektetett energia mennyiségét, így feltételezéseink szerint, ha ezen őszi-téli változók valamelyike az átlagosnál rosszabb, az a táplálékkínálaton keresztül hathat a madarak fészekaljméretére is.

A tavaszi időjárást jellemző változók feltételezéseink szerint részben közvetlenül a költésre hatnak, részben szintén a táplálékkínálaton keresztül. A tavasszal hullott csapadék

mennyisége közvetlenül hat a növényzet fejlődésére. A kék vércse nyílt, füves élőhelyein ez a csapadék fontos szerepet játszik a lágyszárú növények növekedésében. Ha a költési időszakban a fű túl magasra nő, a vércsék nem képesek olyan hatékonyan észrevenni a pockokat, így kevesebb zsákmányt tudnak elérni, még akkor is, ha egyébként táplálékabőség van. A tavaszi átlaghőmérséklet főként a tojások és a fiókák miatt lehet fontos. A túl hideg időjárás következtében a szülőknek többet kell kotlania, melynek következtében kevesebb időt tudnak vadászattal tölteni. Ezt a hatást erősíti, ha közben a csapadék mennyisége is számottevő, illetve elnyújtott az eloszlása. Tehát feltételezéseink szerint a madarak szempontjából az a legrosszabb, ha egyszerre van hideg és csapadékos időjárás.

További fontos változó az adott évre jellemző pocokmennyiség. Mivel a kék vércsék egyik fő gerinces táplálékforrása a mezei pocok (*Microtus arvalis*), így a faj évenkénti mennyisége is nagyban befolyásolhatja a vércsék költésének sikerességét és fészekaljméretet is. A már említett tényezők (téli időjárás hatása a tavaszi pocok mennyiségre; tavaszi időjárás hatása a növényzetre, ezen keresztül pedig a táplálékállatok észrevehetőségére) képezik feltételezésünk szerint a két fő paramétert, melyek befolyásolják, hogy a madarak mennyi pockot képesek zsákmányolni a költési periódusban. A pockok mennyiségére vonatkozóan nem állnak rendelkezésünkre pontos adatok, viszont azt tudjuk, hogy melyik évben volt extrém pocok gradáció (Kotymán László pers. comm.) (2. Táblázat), így az elemzések során ezt az információt is változóként használtuk fel.

2. Táblázat: Pocok gradációs évek 1998 és 2008 között

Év	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008
Pocok gradáció	Nincs	Van	Nincs	Nincs	Van	Van	Van	Nincs	Nincs	Van	Van

Az alábbi táblázatban foglaltuk össze, hogy milyen irányú kapcsolatot várunk az egyes változók és a fészekaljméret összefüggésében (

3. Táblázat).

3. Táblázat: Az egyes változók és a fészekaljméret összefüggéseinek irányai

Változók	Összefüggés feltételezett iránya
Téli összes csapadék	-
Téli minimum hőmérséklet	+
Téli 0 °C alatti napok száma	-
Téli csapadékos napok száma	-
Márciusi összes csapadék	-
Márciusi átlag hőmérséklet	+
Márciusi csapadékos napok száma	-
Áprilisi összes csapadék	-
Áprilisi átlag hőmérséklet	+

2.5 Statisztikai módszerek

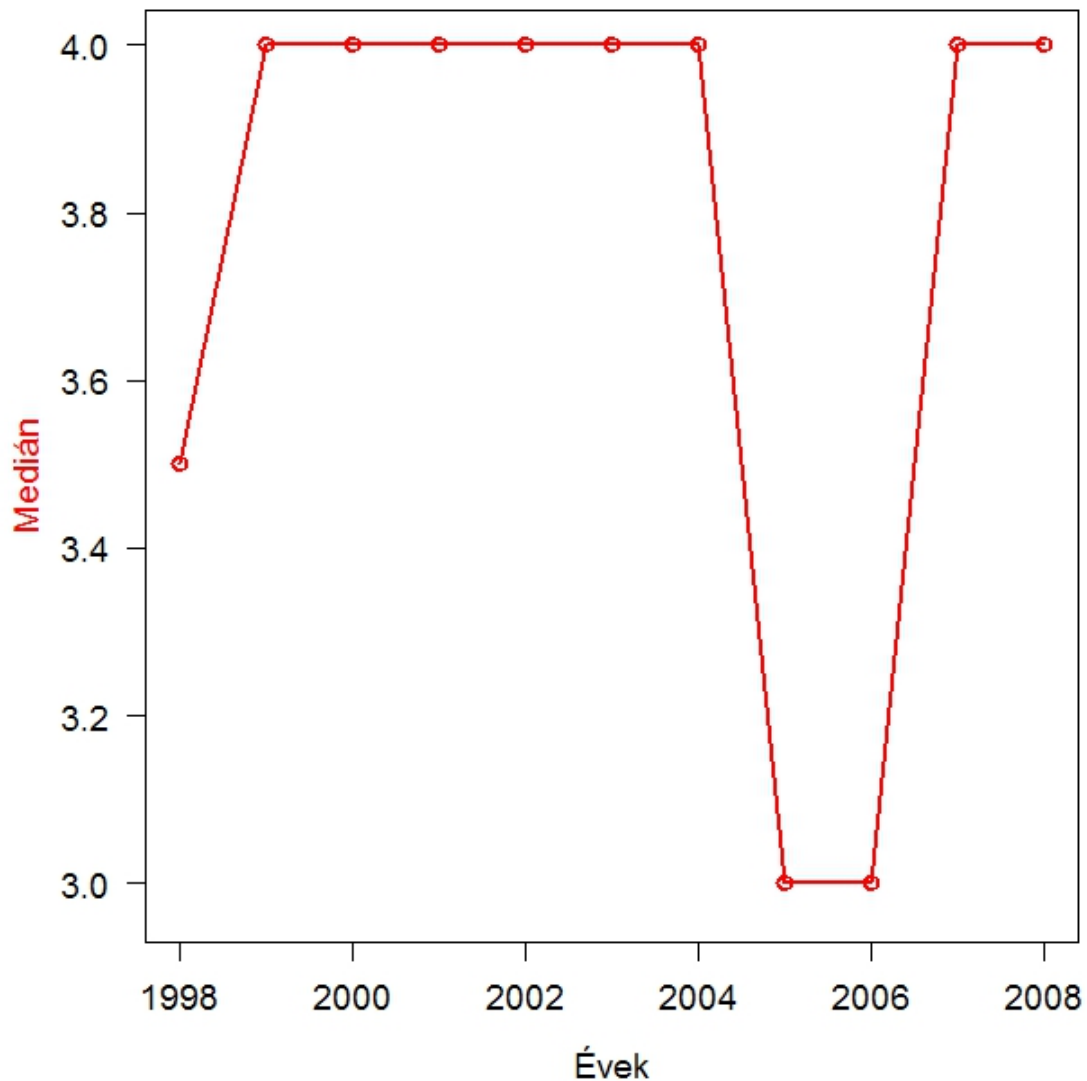
A statisztikai elemzésekhez az R 2.9.0. verzióját, és a party, Rcmdr, epitools, Brugs és R2WinBUGS csomagokat (R Development Core Team 2009), a bayesi modellekhez a WinBUGS 1.4-et használtuk.

2.5.1 Kék vércse fészekaljméret évenkénti becslése

2.5.1.1 Medián

Ahhoz, hogy vizsgálhassuk a különböző időjárási paraméterek hatását a kék vércsék fészekaljméretére, valamilyen évenkénti változót kell definiálnunk a rendelkezésünkre álló fészkenkénti tojásszám adatokból. A kék vércsék fészekaljmérete 1 és 5 között változhat, a 4 tojásos fészekaljok a leggyakoribbak, míg 1, 2, 3 és 5 tojásos fészkekkel ritkábban találkozhatunk. Először kiszámoltuk a minta évenkénti mediánját, azonban véleményünk szerint ez nem adott elég szenzitív képet a fészekaljméret változásáról (7. ábra). Ezért keresnünk kellett valamilyen módszert, amely érzékenyebb képet ad a vércsék évenkénti átlagos fészekaljméretéről.

Kék vércsék medián fészekaljmérete 1998 és 2008 között



7. ábra: A kék vércsék medián fészekaljmérete

Az ábrán a tojásszámok évenkénti medián értékeit láthatóak az 1998 és 2008 közötti időszakban.

2.5.1.2 Poission eloszlás lambda paraméterének beclése bayesi-megközelítéssel

A Bayes-statisztikának nevezett, hagyományostól eltérő megközelítés a XX. század közepétől kínál alternatív megoldásokat a statisztikai elemzések világában. Bár ma még viszonylag ritkán használt adatelemzési megközelítés az ökológiai típusú vizsgálatokban, flexibilitása és számos más előnye miatt várható az elterjedése a jövőben (McCarthy 2007a).

Alapvetően abban különbözik a hagyományos, frekventista statisztika világától, hogy nincs hipotézistesztelés (nincs p-érték) vagyis nem az adatok, illetve annál extrémebb értékek valószínűségét határozzuk meg a hipotézis függvényében, hanem pont fordítva a modell valószínűségét becsüljük az adataink tükrében. Jelentős előnye a módszernek, hogy minden fellelhető (prior) információ beépíthető, kombinálható az adatokkal (Hilborn & Mangel 1997).

A bayesi statisztika a Bayes tételén alapul. Tételezzük fel, hogy egy H eseménynek egy D eseményre vonatkoztatott feltételes valószínűségére (H esemény bekövetkezése, feltéve hogy D bekövetkezett) vagyunk kíváncsiak. A Bayes-tétel alapján ez kifejezhető, mint $P(H|D)=P(H)*P(D|H)/P(D)$, ahol a | szimbólum a feltételes bekövetkezést jelöli. Legyen P(H) annak a valószínűsége, hogy a H hipotézis igaz, a P(D) pedig jelölje a vizsgálatunkban mért adatok valószínűségét. Az egyenlet két feltételes valószínűségi tagja kifejezi, hogy mekkora valószínűséggel mérjük D adatot, ha H hipotézis igaz P(D|H) (ezt a tagot szokták a bayesi környezetben likelihood-nak nevezni, azaz ez az adataink valószínűsége egy H hipotézis esetén), illetve, hogy mekkora a valószínűsége a H hipotézisnek, ha D adatunk van (P(H|D)). Ez utóbbi a posterior valószínűség, amelyet egy prior valószínűségnek (P(H)) az adatok likelihoodjával történő súlyozásával kapunk. A Bayes-tétel véges számú (H_j) hipotézis esetén azt mutatja meg, hogy mekkora a a H_i hipotézis valószínűsége feltéve, hogy a mért adatokat kaptuk:

$$P(H_i | D) = \frac{P(H_i) * P(D | H_i)}{\sum_j P(H_j) * P(D | H_j)}$$

A képlet folytonos esetre is felírható, akkor összegzés helyett integrálok vannak a képletben.

A nevező az esetek túlnyomó többségében numerikusan nagyon nehezen kiszámítható, de mivel egy konstans ezért elhagyható. Így tekintve az egyenletet, megfogalmazhatjuk úgy is, hogy az a posteriori valószínűség arányos az a prior valószínűség és a likelihood szorzatával.

A posterior eloszlások meghatározására (amennyiben analitikusan nem meghatározható) a Markov Chain Monte Carlo (MCMC) módszere ad lehetőséget (Lunn et al. 2000; McCarthy 2007b; Stauffer 2008; Ntzoufras 2009). A módszer nevében szereplő Monte Carlo tag a véletlenszerű mintavételt takarja, míg a Markov Chain (Markov lánc) a mintavételezés technikáját. A vizsgálandó paraméterek valamilyen prior eloszlásából (ebben benne lehet minden előzetes tudásunk a paraméterekről, ha semmit nem tudunk, akkor

uninformatív), az adatokból és a modellünkből kiindulva, az MCMC iteráltatásával előállítjuk a paraméterek posterior eloszlását. Ez azt jelenti, hogy a frekventista statisztikával ellentétben - amikor a hipotézisünk a paraméterek feltételezett hipotetikus értékei mellett határozzuk meg a megfigyeléseink, vagy még extrémebb megfigyelések valószínűségét (p-érték) - itt az adatokra alapozva határozzuk meg a paraméterek tapasztalati valószínűségi eloszlását.

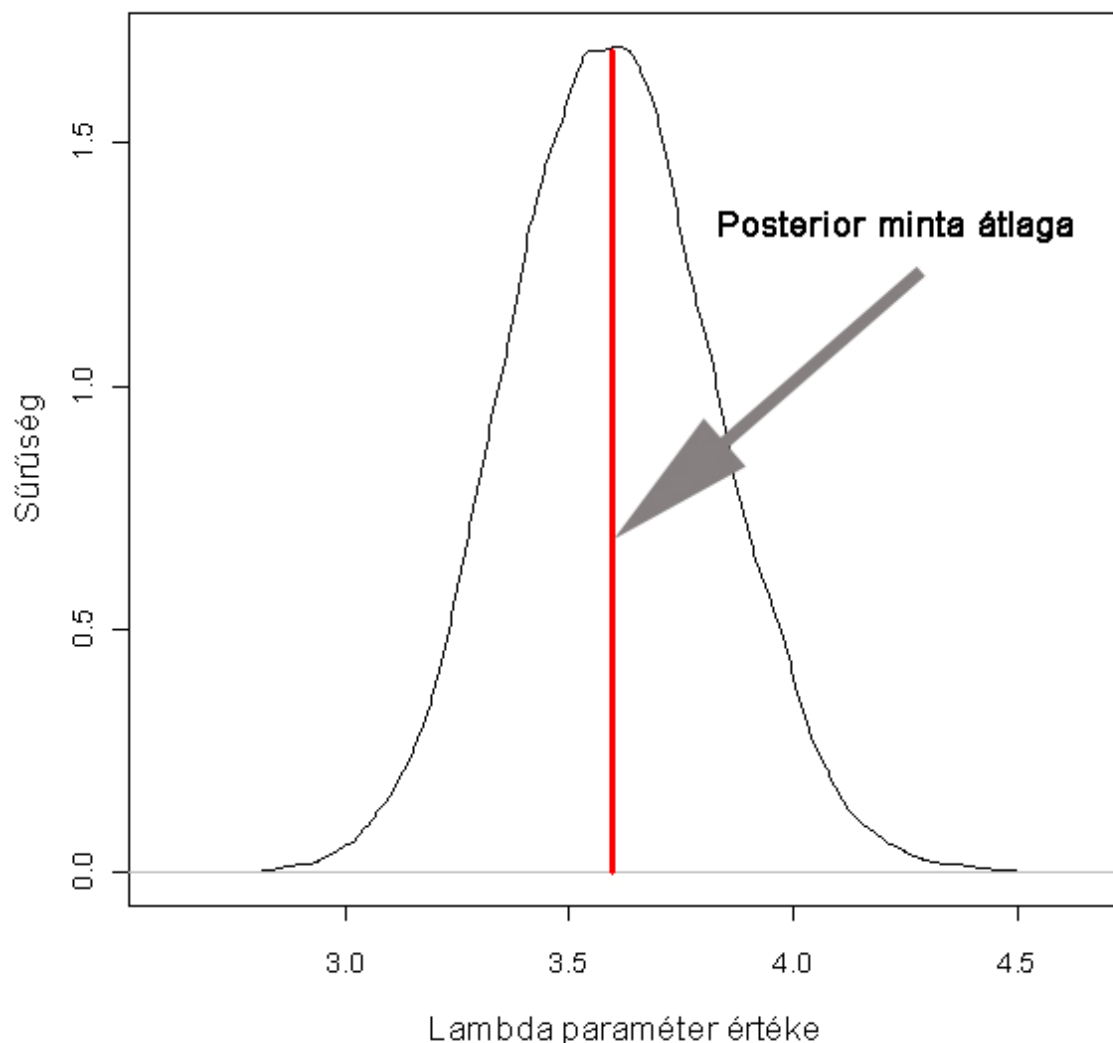
Most, hogy látjuk, hogy hogyan keletkezik egy prior eloszlásból, az adatokból és a modellből a posterior eloszlása a becsülni kívánt paramétereknek, nézzük meg, hogy a kék vércse évi átlagos tojásszámát hogyan lehet jellemezni a fent vázolt keretben. A kék vércsék jellemzően 1, 2, 3, 4 vagy ritkán 5 tojásos fészekaljakkal rendelkeznek. Mivel ezek diszkrét pozitív értékek, ezért feltételezhetően Poisson eloszlást követnek. A Poisson eloszlás az alábbi képlettel írható le :

$$P(X = x) = \frac{e^{-\lambda} \lambda^x}{x!},$$
 ahol az X a véletlen valószínűségi változó, a λ az eloszlás paramétere, ami

egyenlő az átlaggal is és a szórással is, és x pedig a valószínűségi változó konkrét értéke. A fenti képletből jól látszik, hogy az eloszlást egyetlen paraméterrel, a λ -val le lehet leírni.

Az évenkénti tojásszám λ paraméterének becslését a prior definiálásával kezdtük. Mivel a vércsék nem raknak többet 5 tojásnál, ezért a λ paraméter priorját úgy határoztuk meg, hogy egy olyan egyenletes (uniform) eloszlásból származik, ami 1 és 5 között tetszőleges értéket vehet fel egyenlő valószínűséggel. Ez tulajdonképpen tekinthető nem informatív priornak - nincs benne többlet információ a paraméter értékére vonatkozóan - csak arra szolgál, hogy a posterior eloszlásunk biológiailag értelmes keretek között maradjon. Az adatok a vércse fészekaljak tojásszámai voltak, míg a modell likelihood része kifejezte, hogy az adatok Poisson eloszlásból származnak. Az MCMC algoritmust 100 000-szer iteráltatva (burn in: 10 000, thinning: 5) minden évre kaptunk egy posterior eloszlást a λ paraméterre (8. ábra). Ennek az eloszlásnak az átlagát használtuk az évenkénti átlagos fészekalj méretek jellemzésére.

Lambda paraméter posterior eloszlása (2008)



8. ábra: Lambda paraméter posterior eloszlása a 2008-as évre

2.5.2 Random forest

Random forest módszert (Breiman 2001) használtunk, hogy meghatározhassuk a korábban bemutatott környezeti változók közül melyeknek van befolyásoló szerepe a fészekaljméretre.

A random forest egy olyan klasszifikációs módszer, amit az utóbbi időben széles körben alkalmaznak úgynevezett „kis n, nagy p” adatsorok elemzésére. Ezek az adatsorok jellemzően kis mintaszámokon megfigyelt rengeteg, akár több ezer változót tartalmaznak. Tipikusan ilyen jellegű probléma például a DNS chipkből származó microarray adatsorok

(pl. Archer & Kimes 2008; Strobl et al. 2008) vagy proteomikai adatok (pl. Weissinger et al. 2004), illetve távérzékelési módszerekből származó reflektancia értékeket tartalmazó adatsorok (Ham et al. 2005).

A módszer előnye, hogy szemben a hagyományos klasszifikációs módszerekkel, kevésbé érzékeny az alacsony mintaszámra és ilyen adatsorok esetében hatékonyabban képes a változók szerepének becslésére (Svetnik et al. 2003).

A random forest (véletlen erdő) neve beszédes: a módszer tulajdonképpen mind a változókból, mind a megfigyelésekből bootstrap mintákat (visszatevéses minta a mintából) képez, amelyekre döntési fákat illeszt. A klasszifikációs döntési fa egy olyan többváltozós statisztikai módszer, ahol nincs előre kitalált modell, a fa építésekor az algoritmus rekurzív módon a megfigyeléseket egy fa ágaira osztja szét a predikciók pontosságának növelése érdekében (Faraway 2006). A változók klasszifikációs szerepére (egy itt bővebben be nem mutatott algoritmus segítségével) minden egyes növesztett fa „szavaz”. A random forest egyik hatalmas előnye, hogy képes becsülni az egyes változók fontosságát (Variable Importance Measure vagy VIM) (Archer & Kimes 2008), mégpedig az alábbi elv szerint: Az out-of-bag (oob) minták (azok a megfigyelések, amelyek az adott fa bootstrap mintájába nem kerültek bele) képzik a természetes tesztcsoportját az adott fának, vagyis minden egyes növesztett fának az oob mintára vonatkoztatott predikcióival vizsgálja az illeszkedését. Ezeknek az illeszkedés értékeknek a segítségével lehet a változó szerepét becsülni. Fontos észrevenni, hogy a VIM hasonlít a lineáris regresszió béta paraméter becslésére, de annál több információt tartalmaz, mert a változó interakciós szerepét is koherensen tartalmazza.

Jelen vizsgálat esetében a megfigyelt 11 évnyi kék vércse fészekaljméretek meglehetősen kis mintaszámot képviselnek, ezért a random forest jó választásnak tűnik a sok környezeti változó szerepének meghatározására. Fontos azonban hangsúlyozni, hogy nincs az a statisztikai módszer, ami képes lenne a kevés adat okozta információhiányt jól kezelni, ezért eredményeinket fenntartással kell kezelni.

3 Eredmények

3.1 Fészekaljméret becslése a Poisson eloszlás lambda paraméterével

A következő táblázatban láthatóak az évenkénti Poisson eloszlás lambda paraméterének becslései (4. Táblázat), valamint a szórás és a standard hiba. A magas iterációs számnak köszönhetően a becsléseink elég pontosnak bizonyultak, ez a standard hiba alacsony értékein is jól látszódik.

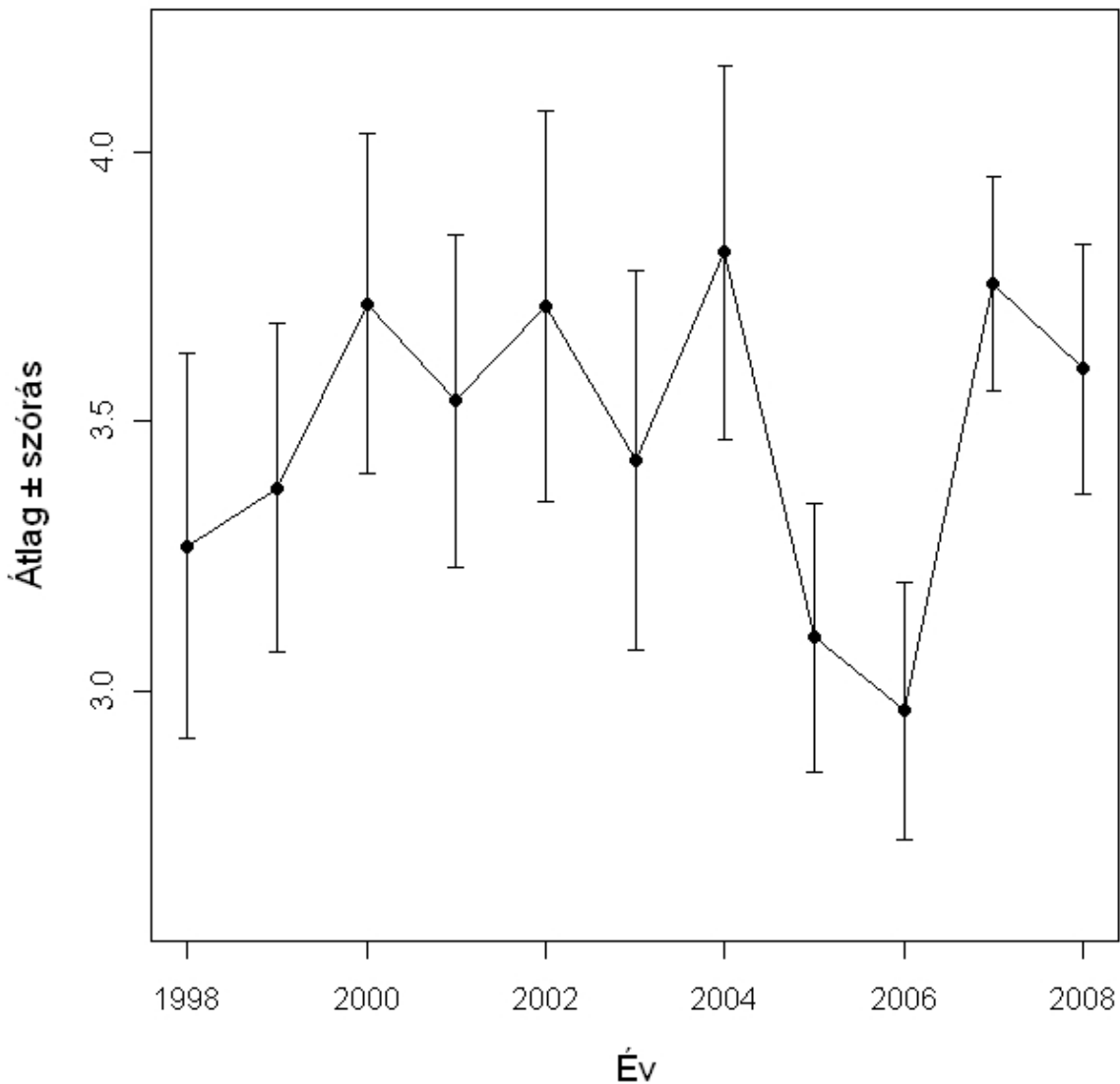
4. Táblázat: A Poisson eloszlás lambda paraméterének becslései

Év	Átlag	Standard hiba	Szórás
1998	3,267	0,00241	0,358
1999	3,376	0,00227	0,304
2000	3,718	0,00217	0,314
2001	3,538	0,00207	0,309
2002	3,714	0,00310	0,362
2003	3,427	0,00246	0,352
2004	3,813	0,00292	0,345
2005	3,098	0,00170	0,249
2006	2,962	0,00190	0,239
2007	3,755	0,00151	0,199
2008	3,596	0,00179	0,231

A fenti táblázatban láthatóak a Poisson eloszlás lambda paraméterének becslései, valamint a szórás és a Standard hibák. Érdemes megfigyelni, hogy a Standard hibák minden esetben alacsonyak.

Így tehát minden évre kaptunk egy becslést a fészekaljméretre vonatkozóan. Az alábbi ábrán (9. ábra) ezen értékeket szemléltettük, illetve a lambda paraméter posterior eloszlásának szórásait.

Lambda paraméter posterior eloszlásainak átlaga és szórása

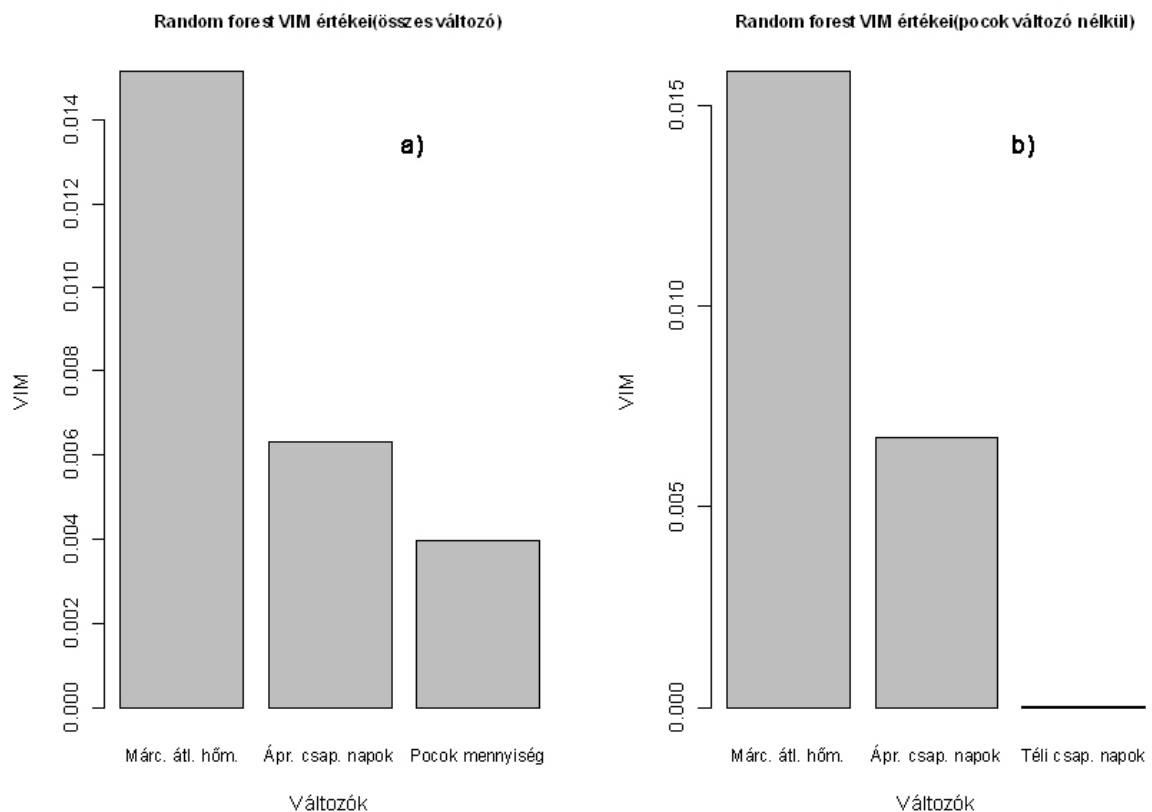


9. ábra: Lambda paraméter posterior eloszlásainak átlagai és szórásai

3.2 Releváns változók meghatározása

A releváns változók meghatározására két random forest elemzést végeztük. Az egyikben az időjárási változók, valamint a pockok mennyiségére vonatkozó adatok is szerepeltek, míg a másikkól az utóbbi információkat kivettük. A pockok mennyiségére vonatkozó adatok ugyan nem elég pontosak, mégis fontosnak tartottuk megvizsgálni milyen hatással van a vércsékre, ha az adott évben a területen sok a táplálék. A második elemzésre azért volt szükség, hogy lássuk a pockok számának hatása nélkül melyik időjárási változó

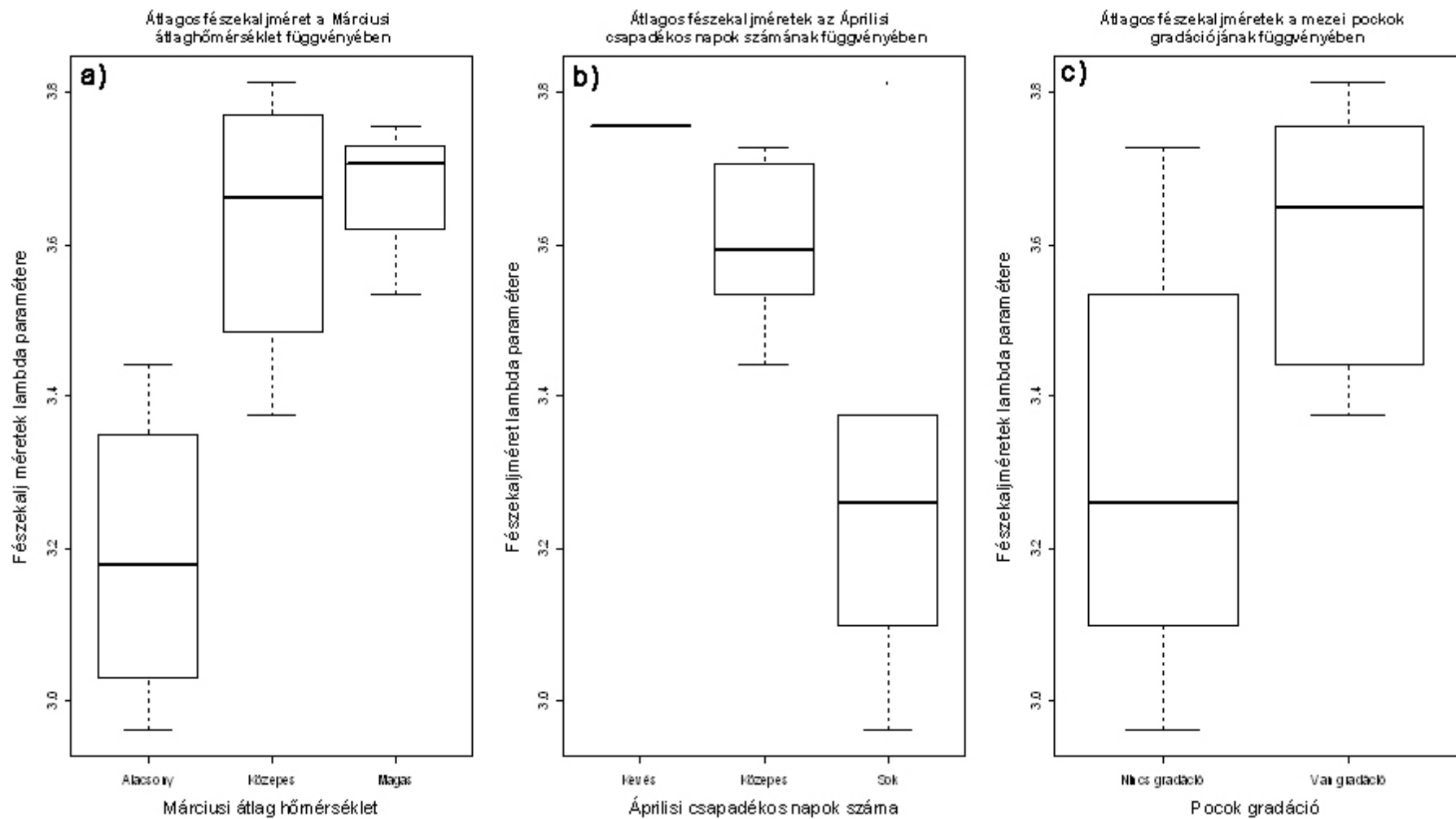
befolyásoló szerepe változik. A eredmények értékelése során az első három legrelevánsabb változót vizsgáltuk. Mindkét esetben a márciusi átlaghőmérséklet valamint az áprilisi csapadékos napok száma bizonyult a legnagyobb hatású paraméternek, amint a VIM értékeiből kiderült. Az összes változóval futatott esetben a harmadik releváns változó a pocok mennyisége volt, míg a második random forest elemzés során a két már említett változón kívül (márciusi átlaghőmérséklet és áprilisi csapadékos napok száma) a többi nem mutatott jelentős hatást (10. ábra).



10. ábra: A random forest elemzés eredményei

A fenti két ábrán a két random forest VIM becslési eredményei láthatóak. Az a, ábra szemlélteti az összes változóra lefutott, míg a b, ábra a pocok változó kihagyásával készült modellt. Az y tengelyen a VIM értékei láthatóak, ami a változó fontosságát becsli. Jól látszik, hogy mindkét esetben a márciusi átlag hőmérsékletnek és az áprilisi csapadékos napok számának valószínűsíthető a legnagyobb hatás.

A random forest elemzés által három legrelevánsabbnak ítélt változót az alábbi boxplotokon ábrázoltuk (11. ábra).



11. ábra: A fészekalj méret lambda paramétere a random forest által legnagyobb hatásúnak ítélt három változó függvényében

Látható, hogy a márciusi átlag hőmérséklettel pozitívan korrelál a fészekaljméret (11. ábra/a). A hőmérséklet emelkedésével az átlagos fészekaljméret is növekszik. Fordított kapcsolatot sikerült feltárni az áprilisi csapadékos napok száma és az átlagos fészekaljméret között (11. ábra/b), minél több az esős nap április hónapban, úgy tűnik annál kisebb lesz az adott évre jellemző átlagos fészekaljméret. A pocok mennyisége a márciusi átlag hőmérsékletéhez hasonlóan pozitív összefüggést mutat a fészekaljmérettel (11. ábra/c), tehát ha nagy mennyiségben áll rendelkezésre pocok a költési időszakban akkor várhatóan a fészekaljméret is nagyobb lesz.

4 Diszkusszió

Az időjárás és a táplálékkínálat azon fő faktorok közé tartoznak, melyek nagy hatással vannak az élőlények eloszlására a Földön (Rodriguez & Bustamante 2003). A különböző időjárási paraméterek befolyásolhatják a túlélést, a reprodukciót és a demográfia szabályozásán keresztül hatással vannak arra, hogy hol alakulhat ki egy fajnak stabil populációja (Rodriguez & Bustamante 2003). Jelen vizsgálat arra keresi a választ, hogy milyen környezeti tényezők hatnak a kék vércsék fészekaljméretére és ezek, hogyan befolyásolják annak változásait.

A kék vércsék kutatásában mi dolgoztunk először középtávú adatsorral. A világon máshol nem áll a kutatók rendelkezésére ilyen hosszúságú költésre vonatkozó információ erről a fajról, továbbá ilyen szempontú vizsgálatokat eddig még nem folytattak kék vércséken. Jelenlegi tudásunk szerint mi használtuk először a fészekaljméret becslésének a dolgozatban tárgyalt megközelítését.

A rendelkezésünkre álló költési információk elemzése és értelmezése különösen fontos, mert a faj állományának világtrendje jelenleg negatív, így fontos megismernünk a szaporodási sikert befolyásoló tényezőket, ugyanis ez az egyik kulcs momentum a faj életképességének fenntartásában. Jelen vizsgálat csak a lokális időjárás, továbbá egy plusz változó - a pocok gradációs évek - hatásait hivatott elemezni, noha tudjuk, hogy ennél sokkal több befolyásoló faktor hat a madarak élete során. Távlati terveink között szerepel a vizsgált változók körének bővítése, és a telelőterület adottságainak, az ott töltött periódus hatásának elemzése.

A szakdolgozatban vizsgált évek száma (11) kevésnek mondható, azonban fontos kiemelni, hogy az általunk használt eljárások jól működtek az adott kérdés elemzésére. Ezek a módszerek további adatgyűjtés után alkalmasak lehetnek a kék vércsék (és hasonló jellegű problémák) további kutatásában.

Az eredményeink biológiailag értelmezhetőek és magyarázhatóak és a kis mintaelemszám ellenére értelmeznünk is kell őket, mindamelllett fontos hangsúlyozni, hogy a vizsgálat fő érdeme a kérdés megválaszolásának módszertani kidolgozása, és a kapott eredmények alapján jelentősnek bizonyult tényezők hangsúlyozása a további vizsgálatok számára. Az általunk használt módszereket lehet és kell is finomítani a továbbiakban, azonban jó alapot teremtenek a kérdéskör további vizsgálatához.

Az elemzések során a legmagasabb VIM értéket kapó változó a márciusi átlaghőmérséklet volt. Előzetesen pozitív összefüggést valószínűsítettünk a változó és a fészekaljméret között, amely az eredménynek értékelése során megerősítést nyert (ld. 11. ábra). A kék vércsék április második felében érkeznek meg hazánkba, így látható, hogy ez a változó nem a vércsékre gyakorolt direkt hatást méri, hanem feltételezéseink szerint a táplálékkinálaton keresztül befolyásol. A márciusi időszak a pusztákon a biológiai tavasz kezdete. Más fajok vizsgálata során is bizonyítást nyert, hogy kapcsolat van a márciusi hőmérséklet illetve a préda állatok denzitása között (Visser et al. 2006). Ebben az időszakban kezdenek előjönni téli nyugalmi periódusukból az ásóbékák (mely a pockok mellett a kék vércsék másik fő táplálék forrása) és ekkor indul be a rovarok aktivitása is. Korábbi tanulmányokból tudjuk, hogy a minimumhőmérséklet összefüggést mutat az ásóbékák aktivitásával, míg a maximumhőmérséklet korrelál a békák fizikai állapotával (Lizana 1994). Valószínűsíthető továbbá, hogy nagy hatással van március hónap hőmérséklete a pockokra is, gondolva itt arra, hogy mikor tudják elkezdni a szaporodást és ezáltal milyen mennyiségű táplálékot jelentenek az áprilisban visszatérő vércséknek (Heikura 1977). Összegezve úgy gondoljuk, ha márciusban az átlagosnál alacsonyabb a hőmérséklet az hat a kék vércsék fő táplálék forrásaira, azok később kezdik meg tavaszi aktív periódusukat és ennek következtében a vércsék számára a költési időszakban kevesebb az elérhető táplálék, így a kedvezőtlenebb körülményekre optimalizálva kevesebb tojást raknak.

Az elemzés eredményeként kapott második legnagyobb hatóerővel rendelkező változó az áprilisi csapadékos napok száma volt. Számos korábbi kutatás rámutatott a tavaszi csapadék negatív hatásaira (Rodríguez & Bustamante 2003; McDonald et al. 2004; Morrison et al. 2007). Előzetesen mi is negatív korrelációt valószínűsítettük a fészekaljméret és a

csapadékos napok száma között, ezt a Random forest módszer is alátámasztotta (ld. 11. ábra). Magyarország területére április hónapban érkeznek meg a vércsék, így ez a tényező a madarakat már direkt módon is érintheti. Ha áprilisban sok a csapadék az nagy hatással van a növényzet fejlődésére, magasabbra nő a fű és ennek következtében jelentősen csökkenhet a préda detektálhatósága. Korábbi telemetria vizsgálatokból tudjuk, hogy egyes préda taxonok esetében fontosabb a préda hozzáférhetősége, mint a denzitása (Fehérvári et al. 2009a). További fontos tényező, hogy az egyébként rövid fűvű legeltetett területeken is a gyp gyors növekedésével lehet számolni, ami a vadászterületek beszűkülését eredményezheti. Ezen hatások eredményeként a vércsék - feltételezéseink szerint kevesebbet fektetnek a szaporodásba, mely a költési paraméterek - többek között a fészekaljméret - romlásához vezethet. Az átlagnál több áprilisi csapadék másik lehetséges hatása, hogy az Afrikából korábban érkező madarak is később kezdik meg a költést, amely pedig a magasabb tojásszámú fészekaljak kialakulásának lehetőségét csökkenti (3. ábra) (Morrison et al. 2007). Összességében tehát azt feltételezzük a kapott eredményeink alapján, hogy ha áprilisban az átlagnál több napon esik eső, az a rendelkezésre álló vadászterületek csökkenésén, a zsákmány rossz detektálhatóságán valamint a költéskezdés eltolásán keresztül csökkenteni fogja a vércsék fészekaljméretét.

Az összes változó használatával végzett Random forest harmadik releváns változója a pocok mennyiségéről rendelkezésünkre álló adatokat tartalmazta. Fontos hangsúlyozni, hogy csak arról volt információnk, melyik évben volt pocok gradáció, így a kimaradó évek pocok abundanciájáról nem tudtunk semmit. Más kutatások már tártak fel a madarak reprodukivitása és a pocokmennyiség közötti összefüggéseket (Kostrzewa & Kostrzewa 1991; Steenhof et al. 1999). Esetünkben is nagy hatása volt ennek a változónknak a fészekaljméretre, tehát úgy tűnik a gradációs éveknél jelentős a szerepe a kék vércsék költése során. Előzetesen azt vártuk, hogy gradációs éveknél nagyobb lesz a fészekaljméret, ezt a feltételezésünket a Random forest eredményei is támogatták (11. ábra).

Összességében tehát március és április időjárása valamint a táplálék ellátottság bizonyultak jelen vizsgálatban a kék vércsék fészekaljméretét leginkább befolyásoló tényezőknél. Véleményünk szerint a további vizsgálatok során érdemes odafigyelni ezekre a paraméterekre, hatásuk jól kivehetőnek bizonyult ebben a konkrét esetben. Továbbá fontosnak tartjuk még egyszer hangsúlyozni, hogy vizsgálati kérdésünk pontos megválaszolásához további adatgyűjtésre van szükség, illetve olyan változók pontos mérésére, mint például a mezei pocok, a barna ásóbéka és a gerinctelen préda taxonok

denzitása. És nem szabad elfeledkeznünk a vonulási és teletési időszak hatásairól, amelyeket jelen vizsgálatban nem állt módunkban elemezni, de szintén nagy befolyásoló szereppel bírhatnak (Norris et al. 2004; Greenberg & Marra 2005).

5 Összefoglaló

A kék vércse térségünk egyetlen telepesen költő, kis testű ragadozó madár faja. Hazánkban fokozottan védettnek minősül. Az 1990-es évektől a teljes költőterületen erős csökkenés figyelhető meg a költő párok számában. Fontos kiemelni, hogy Magyarország az elterjedési területhez képest ugyan kis területet képvisel, mégis jelentős költőállománnyal rendelkezik, így nem elhanyagolható védelmi szempontból.

Jelen vizsgálatban arra a kérdésre keressük a választ, hogy a kék vércsék fészekaljméretét milyen környezeti tényezők befolyásolják, és ezek hol és hogyan hatnak a madarak élete során. Szűkebb vizsgálati kérdésünk, hogy a környezet számos eleme közül a mintaterület lokális időjárási paraméterei és a pocok gradáció, hogyan befolyásolják a vércsék fészekaljméretét.

A kék vércsék költésére vonatkozó adatok a Vásárhelyi-pusztákról származnak, ez a terület Magyarország délkeleti régiójában helyezkedik el. A vizsgálatban három nagy vércsetelep adatai szerepelnek, melyek a Kardoskúti Fehér-tó tágabb környezetében találhatóak. Jelen szakdolgozat elemzéseiben az 1998 és 2008 közötti költésadatokat használtuk.

Ahhoz, hogy vizsgálhassuk a különböző időjárási paraméterek hatását a kék vércsék fészekaljméretére, valamilyen évenkénti változót kell definiálnunk a rendelkezésünkre álló fészkenkénti tojásszám adatokból. Egy bayesi módszert választottunk a fészekaljméret becslésére, amivel az évenkénti tojásszámok Poisson eloszlásának λ paraméterét határoztuk meg. Random forest módszert használtunk, hogy meghatározhassuk a korábban bemutatott környezeti változók közül melyeknek van befolyásoló szerepe a fészekaljméretre.

Az elemzések során a Random forest a márciusi átlaghőmérsékletet, az áprilisi csapadékos napok számát, valamint a pocok gradációs éveire vonatkozó változót találta legnagyobb hatásúnak. Előzetesen pozitív összefüggést valószínűsítettünk a márciusi átlaghőmérséklet, a pocok gradációk és a fészekaljméret között, míg negatív összefüggést feltételeztünk az áprilisi csapadékos napok esetében. Az elemzések során ezen összefüggések irányultsága a Random forest módszer eredményei által is beigazolódott.

Összességében tehát március és április időjárása valamint a táplálék ellátottság bizonyultak jelen vizsgálatban a kék vércsék fészekaljméretét leginkább befolyásoló tényezőknek. Véleményünk szerint a további vizsgálatok során érdemes odafigyelni ezekre a paraméterekre, továbbá fontosnak tarjuk hangsúlyozni, hogy vizsgálati kérdésünk pontos megválaszolásához további adatgyűjtésre van szükség.

6 Summary

The Red-footed falcon is the sole colonial raptor species of the Carpathian Basin. In Hungary these birds represent high nature conservation value and are strictly protected. A large scale breeding population decline was observed since 1990. Although, the Hungarian breeding area is small compared to the whole breeding range of the species, it still holds a considerable proportion of the European breeding population, thus it plays a major role in the protection of the species.

In the current study, we sought to identify environmental variables having significant effects on the average clutch size of these small predatory birds. To achieve our aims we first assessed local weather parameters and a variable defining field vole gradation and compared them to an 11 year long (1998-2008) dataset of Red-footed falcon breeding monitoring activities. These data were collected at the Vásárhelyi Plains in the south-eastern part of Hungary.

To describe annual average clutch size (i.e. average of the maximum number of laid eggs/nest) we estimated the poisson lambda parameter of the annual clutch size distribution in a Bayesian framework. We used Random Forests to measure variable importance of local environmental parameters playing a considerable role on the average annual clutch size.

Our results yield a new methodological framework for future studies. By combining Bayesian statistics and high level classification algorithms (Random Forests) , we were able to assess biologically relevant correlations between annual average clutch size, Mean temperature in March, the Number of rainy days in April, and field vole gradation.

The positive correlation of average clutch size with mean temperature in March may presumably indicate that these birds are sensitive to delayed spring through prey availability, while the negative correlation with the number of rainy days in April may show that higher precipitation caused higher vegetation reduces prey availability for this species. Field vole gradation also had positive effect on mean clutch size.

Although our results show interesting relationships between environmental variables and clutch size, we advise the readers to cautiously interpret these results, as only a relatively short time period was analysed (11 years). Nevertheless, our novel analytical design, and the fact that this is the first time that mid-term breeding data of Red-footed falcons have been analysed makes this current thesis read worthy for all interested in the topic.

7 Köszönetnyilvánítás

Elsősorban köszönöm a nélkülözhetetlen segítséget és a sok türelmet témavezetőimnek Dr. Harnos Andreának és Fehérvári Péternek. Továbbá köszönettel tartozom Kotymán Lászlónak, Palatitz Péternek, Solt Szabolcsnak, Horváth Évának és a Körös-Maros Nemzeti Park munkatársainak, hogy rendelkezésünkre bocsátották a kék vércsékre vonatkozó adatokat, illetve, hogy számos további fontos információval szolgáltak a korábbi évekről. Köszönöm Kocsis Péternek (KMNP), akitől a Sóstói csapadék adatok származnak. Hálás vagyok továbbá az OMSZ illetékeseinek, hogy elérhetővé tették számunkra a meteorológiai adataikat. Köszönöm édesapámnak, Lázár Miklósnak és az ATIKÖVIZIG többi munkatársának, hogy használhattuk a területre vonatkozó csapadék adataikat. Hálás vagyok továbbá Kovács Szilviának a statisztikai elemzésekre vonatkozó hasznos tanácsaiért. És köszönöm kedvesemnek, Bedi Dórának, aki támogatott a szakdolgozat megírásának időszakában.

8 Irodalomjegyzék

- Bagyura, J., és P. Palatitz. 2004. Fajmegőrzési tervek, Kék vércse (*Falco vespertinus*). KvVM TvH.
- Csörgő, T., Z. Karcza, G. Halmos, G. Magyar, J. Gyurác, T. Szép, A. Bankovics, A. Schmidt, és E. Schmidt. 2009. Magyar madárvonulási atlasz Kossuth Kiadó. Budapest.
- Del Hoyo, J. 1994. Handbook of the birds of the World. Vol. 2. New World vultures to guineafowl. Lynx Edicions, Barcelona, Spain.
- Faraway, J. 2006. Extending the Linear Model with R.
- Fehérvári, P., A. Harnos, Z. Lang, S. Solt, G. Szövényi, és P. Palatitz. 2009a, Augusztus 21. The effects of grassland mowing on the density of prey species and hunting efficiency of Red-footed Falcons. Zurich.
- Fehérvári, P., A. Harnos, D. Neidert, S. Solt, és P. Palatitz. 2009b. Modeling habitat selection of the Red-footed falcon (*Falco vespertinus*): A possible explanation of recent changes in breeding range within Hungary. Applied Ecology and Environment 7:59-69.
- Ferguson-Lees, J., D. A. Christie, K. Franklin, D. Mead, és P. Burton. 2001. Raptors of the World. Christopher Helm London.
- Greenberg, R., és P. P. Marra. 2005. Birds of two worlds: the ecology and evolution of migration. Johns Hopkins Univ Pr.
- Haraszthy, L., és J. Bagyura. 1993. A comparison of the nesting habits of the Red-footed Falcon (*Falco vespertinus*) in colonies and solitary pairs. Oldal 80 in Biology and conservation of small falcons: proceedings of the Hawk and Owl Trust Conference, hosted by the Durrell Institute of Conservation and Ecology at the University of Kent at Canterbury, 6th-8th September, 1991. Hawk and Owl Trust.
- Heikura, K. 1977. Effects of climatic factors on the field vole *Microtus agrestis*. Oikos 29:607-615.
- Hilborn, R., és M. Mangel. 1997. The ecological detective: confronting models with data. Princeton Univ Pr.
- Horváth, L. 1964. A kék vércse (*Falco vespertinus* L.) é s a kis örgébics (*Lanius minor* Gm.) élettörténetének összehasonlító vizsgálata II. A fiókák kikelésétől az őszi vonulásig. Vertebrata Hungarica VI. 1-2.

- Kostrzewa, R., és A. Kostrzewa. 1991. Winter weather, spring and summer density, and subsequent breeding success of Eurasian Kestrels, Common Buzzards, and Northern Goshawks. *The Auk* **108**:342-347.
- Kotymán, L. 2001. A vörös vércse (*Falco tinnunulus*) és a kék vércse (*Falco vespertinus*) telepítésének gyakorlata a Vásárhelyi-pusztán. *Túzok* **6(3)**:120-129.
- Lizana, M. 1994. Reproductive biology of *Pelobates cultripes* (Anura: Pelobatidae) in central Spain. *Journal of Herpetology* **28**:19-27.
- Lunn, D. J., A. Thomas, N. Best, és D. Spiegelhalter. 2000. WinBUGS-a Bayesian modelling framework: concepts, structure, and extensibility. *Statistics and Computing* **10**:325-337.
- McCarthy, M. A. 2007a. *Bayesian Methods for Ecology* Cambridge University Press.
- McDonald, P. G., P. D. Olsen, és A. Cockburn. 2004. Weather dictates reproductive success and survival in the Australian brown falcon *Falco berigora*. *Journal of Animal Ecology*:683–692.
- Morrison, J. L., M. McMillian, J. B. Cohen, és D. H. Caltin. 2007. Environmental correlates of nesting success in red-shouldered hawks. *The Condor* **109**:648–657.
- Moss, R., J. Oswald, és D. Baines. 2001. Climate change and breeding success: decline of the capercaillie in Scotland. *Journal of Animal Ecology* **70**:47–61.
- Norris, D. R., P. P. Marra, T. K. Kyser, T. W. Sherry, és L. M. Ratcliffe. 2004. Tropical winter habitat limits reproductive success on the temperate breeding grounds in a migratory bird. *Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences* **271**:59-64.
- Ntzoufras, I. 2009. *Bayesian modeling using WinBugs*. John Wiley & Sons, Inc., Hoboken, New Jersey.
- Palatitz, P., S. Solt, P. Fehérvári, és Á. Ezer. 2008. Kékvércse-védelmi Munkacsoport 2008. évi beszámolója. *Heliaca*:13-17.
- Palatitz, P., S. Solt, P. Fehérvári, D. Neidert, és P. Bánfi. 2006. Kékvércse-védelmi Munkacsoport 2006. évi beszámolója. *Heliaca*:16-24.
- Purger, J. J., és A. Tepavcevic. 1999. Pattern analysis of red-footed falcon (*Falco vespertinus*) nests in the rook (*Corvus frugilegus*) colony near Torda (Voivodina, Yugoslavia), using fuzzy correspondences and entropy. *Ecological Modelling* **117**:91-97.
- R Development Core Team. 2009. *R: A language and environment for statistical computing*. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria.
- Rodriguez, C., és J. Bustamante. 2003. The effect of weather on lesser kestrel breeding

- success: can climate change explain historical population declines? *Journal of Animal Ecology* **72**:793-810.
- Sergio, F. 2003. From individual behaviour to population pattern: weather-dependent foraging and breeding performance in black kites. *Animal behaviour* **66**:1109-1117.
- Smallwood, P. D., és J. Smallwood. 1998. Seasonal shifts in sex ratios of fledgling American kestrels (*Falco sparverius paulus*): the early bird hypothesis. *Evolutionary Ecology* **12**:839-853.
- Stauffer, B. H. 2008. Contemporary Bayesian and frequentist statistical research methods for natural resource scientists. John Wiley and Sons, Inc. Hoboken, New Jersey.
- Steenhof, K., M. N. Kochert, L. B. Carpenter, és R. N. Lehman. 1999. Long-term prairie falcon population changes in relation to prey abundance, weather, land uses, and habitat conditions. *Condor* **101**:28-41.
- Visser, M. E., L. J. M. Holleman, és P. Gienapp. 2006. Shifts in caterpillar biomass phenology due to climate change and its impact on the breeding biology of an insectivorous bird. *Oecologia* **147**:164-172.

NYILATKOZAT
a szakdolgozatról

Alulírott (név)

..... (évf., szak megnevezése)

kijelentem, hogy

.....
.....
.....

című szakdolgozatom saját kutató munkám eredménye. Hozzájárulok, hogy a szerzői jogok tiszteletben tartása mellett a SZIE Állatorvos-tudományi Könyvtárban és az egyetemi adattárban elhelyezett nyomtatott és elektronikus példányokat az érdeklődők felhasználják az alábbi feltételekkel: (Kérjük aláhúzással jelölni)

Nyomtatott másolható: részben / egészben

Elektronikus megjeleníthető: belső hálózaton / szabad hozzáféréssel, interneten

aláírás

Budapest,