



**T.C.
KIRIKKALE ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**TÜRKİYE'DEKİ *LEPUS EUROPAEUS* PALLAS, 1778
POPÜLASYONLARININ DIŞ VARYASYONUNA DAYALI
EPIGENETİK İLİŞKİLERİ**

**ARZU ALSAÇ
BİYOLOJİ ANABİLİM DALI**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

**Danışman
Prof. Dr. Yasin DEMİRBAŞ**

KIRIKKALE-2024



**T.C.
KIRIKKALE ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**TÜRKİYE'DEKİ *LEPUS EUROPAEUS* PALLAS, 1778
POPÜLASYONLARININ DIŞ VARYASYONUNA DAYALI
EPIGENETİK İLİŞKİLERİ**

**ARZU ALSAÇ
BİYOLOJİ ANABİLİM DALI**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

**Danışman
Prof. Dr. Yasin DEMİRBAŞ**

KIRIKKALE-2024

Arzu ALSAÇ tarafından hazırlanan “TÜRKİYE’DEKİ *LEPUS EUROPAEUS* PALLAS, 1778 POPÜLASYONLARININ DIŞ VARYASYONUNA DAYALI EPİGENETİK İLİŞKİLERİ” adlı tez çalışması, aşağıdaki jüri tarafından OY BİRLİĞİ ile Kırıkkale Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Biyoloji Anabilim Dalında YÜKSEK LİSANS TEZİ olarak kabul edilmiştir.

Danışman: Prof. Dr. Yasin DEMİRBAŞ

Biyoloji Anabilim Dalı, Kırıkkale Üniversitesi

.....

Bu tezin, kapsam ve kalite olarak Yüksek Lisans Tezi olduğunu onaylıyorum.

Başkan: Prof. Dr. Tarık DANIŞMAN

Biyoloji Anabilim Dalı, Kırıkkale Üniversitesi

.....

Bu tezin, kapsam ve kalite olarak Yüksek Lisans Tezi olduğunu onaylıyorum.

Üye: Dr. Öğretim Üyesi Ayça ÖZKAN KOCA

Gastronomi Bölümü, Maltepe Üniversitesi

.....

Bu tezin, kapsam ve kalite olarak Yüksek Lisans Tezi olduğunu onaylıyorum.

Tez Savunma Tarihi:/....../2024

Jüri tarafından kabul edilen bu tezin Yüksek Lisans Tezi olması için gerekli şartları yerine getirdiğini onaylıyorum.

.....

Prof. Dr. Recep ÇALIN

Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü

ETİK BEYAN

Kırıkkale Üniversitesi Fen Bilimler Enstitüsü Tez Yazım Kurallarına uygun olarak hazırladığım bu tez çalışmada;

- Tez içinde sunduğum verileri, bilgileri ve dokümanları akademik ve etik kurallar çerçevesinde elde ettiğimi,
- Tüm bilgi, belge, değerlendirme ve sonuçları bilimsel etik ve ahlak kurallarına uygun olarak sunduğumu,
- Tez çalışmada yararlandığım eserlerin tümüne uygun atıfta bulunarak kaynak gösterdiğimi,
- Kullanılan verilerde herhangi bir değişiklik yapmadığımı,
- Bu tezde sunduğum çalışmanın özgün olduğunu,

bildirir, aksi bir durumda aleyhime doğabilecek tüm hak kayıplarını kabullendiğimi beyan ederim.

Arzu ALSAÇ

02/09/2024

ÖZET

TÜRKİYE’DEKİ *LEPUS EUROPAEUS* PALLAS, 1778 POPÜLASYONLARININ DIŞ VARYASYONUNA DAYALI EPİGENETİK İLİŞKİLERİ

Kırıkkale Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü

Biyoloji Anabilim Dalı, Yüksek Lisans Tezi

Danışman: Prof. Dr. Yasin DEMİRBAŞ

Eylül 2024, 33 sayfa

Türkiye genelinde 113 lokaliteden toplanan 304 kahverengi yaban tavşanının (*Lepus europaeus*) temizlenmiş kafataslarının her iki tarafından toplam 7.470 diş, diseksiyon mikroskobu kullanarak küçük metrik olmayan oklüzal varyantlar (epigenetik karakterler) açısından incelendi. Bu çalışmada, yaban tavşanlarının minör oklüzal karakter çeşitliliğinin Türkiye’de filogenetik veya ekogenetik varyasyon gösterip göstermediği, yani Türkiye genelinde nötr popülasyon farklılaşmasına veya iklim varyasyonuna paralel olup olmadığı araştırıldı. Olası filogenetik (nötr popülasyon genetiği) etkileri ekogenetik (iklimsel) etkilerden ayırt etmek için ikili kodlanmış oklüzal karakterler için çoklu model çıkarımı, model sıralaması ve model ortalaması kullanıldı. Lojistik modellerin sonuçları, cinsiyet, yaş kategorisi, kafatası boyutu ve örnek konumunun coğrafi koordinatları hesaba katıldığında bazı istatistiksel olarak önemli filogenetik ve ekogenetik sinyaller ortaya koydu. Ayrıca tüm ek biyolojik açıklayıcı faktörler/değişkenler, popülasyon genetiği ve iklim etkilerinden bağımsız olarak karakter varyasyonu üzerinde bazı etkiler de gösterdi. Popülasyonlar arasında çiftler halinde hesaplanan fenetik mesafeler (Ortalama Ayrılma Ölçüleri; MMD), daha önce incelenen popülasyonlar arasındaki mikrosatelit tabanlı genetik farklılaşmalar gibi düşüktü veya anlamlı değildi.

Anahtar kelimeler: Kahverengi yaban tavşanı, *Lepus europaeus*, epigenetik diş karakterleri, ekocoğrafik varyasyon, filoğrafik varyasyon, Türkiye

ABSTRACT

EPIGENETIC RELATIONSHIPS BASED ON DENTAL VARIATION OF *LEPUS EUROPAEUS* PALLAS, 1778 POPULATIONS IN TÜRKİYE

Kırıkkale University

Gradute School of Natural and Applied Sciences

Department of Biology, M. Sc. Thesis

Supervisor: Professor Yasin DEMİRBAŞ

September 2024, 33 pages

A total of 7.470 teeth from both body sides in cleaned skulls of 304 georeferenced brown hares (*Lepus europaeus*) from 113 collection sites throughout Türkiye for minor non-metric occlusal variants (epigenetic characters) using a dissecting microscope was investigated. In this study, it was examined whether minor occlusal character variation of brown hares shows phylogenetic or ecogenetic variation in Türkiye, i.e., whether it parallels neutral population differentiation or climate variation across Türkiye. Multiple-model inference, model ranking and model averaging for binary coded occlusal characters to distinguish possible phylogenetic (neutral population genetics) effects from ecogenetic (climatic) effects was used. The results of the logistic models revealed some statistically important phylogenetic and ecogenetic signals, when accounting for sex, age category, skull size, and geographic coordinates of sample location. All the additional biological explanatory factors/variables showed also some effects on character variation, independent from population genetic and climate effects. The calculations of pairwise phenetic distances (Mean Measures of Divergence; MMD) between populations were similarly low or not significant as the earlier examined microsatellite-based genetic differentiation between populations.

Key words: Brown hare, *Lepus europaeus*, epigenetic dental character, ecogeographic variation, phylogeographic variation, Türkiye

TEŞEKKÜR

Tezimin hazırlanmasındaki katkılarından dolayı danışman hocam, sayın Prof. Dr. Yasin DEMİRBAŞ'a, diş karakterlerinin mikroskop çekimlerinde yardımcı olan Doç. Dr. İlhan COŞAR'a ve istatistiksel analizlerin gerçekleştirilmesindeki yardımından dolayı Dr. Franz Suchentrunk ve Dr. Felix Knauer'e teşekkür ederim. Ayrıca, desteklerini benden esirgemeyen değerli aileme teşekkür ederim.



İÇİNDEKİLER

	Sayfa
ÖZET.....	III
ABSTRACT	IV
TEŞEKKÜR	V
İÇİNDEKİLER	VI
ŞEKİLLER DİZİNİ	VII
ÇİZELGELER DİZİNİ	VIII
KISALTMALAR.....	IX
1. GİRİŞ	1
1.1. Tavşanlar (Lagomorpha) ve Diş Yapıları	1
1.2. Epigenetik Diş Karakterlerine Dayalı Çalışmalar	3
2. MATERYAL VE YÖNTEM	7
2.1. Veri toplama	7
2.1.1. Yaban Tavşanı Örnekleri ve Diş Karakterleri.....	7
2.2. Biyoklimatik Değişkenler	13
2.3. Oklüzal Karakter Varyasyonunun Bilgi Teorik Modelleri: Model Sıralaması ve Model Ortalaması.....	13
2.4. Fenetik Farklılaşma – Smith'in Ortalama Ayırışma Ölçüsü (MMD)	14
3. ARAŞTIRMA BULGULARI	16
3.1. Oklüzal Karakterler.....	16
3.2. Biyoklimatik Değişkenler	16
3.3. Bilgi Teorik Tabanlı Model Sonuçları.....	17
3.4. MMD Değerleri – Fenetik Farklılaşma.....	19
4. TARTIŞMA.....	21
KAYNAKLAR.....	26
ÖZGEÇMİŞ.....	33

ŞEKİLLER DİZİNİ

<u>ŞEKİL</u>	<u>Sayfa</u>
1.1.Türkiye’den Kahverengi yaban tavşanı bireyi	1
1.2. Kahverengi yaban tavşanında ayırıcı kafatası ve alt çene yapısının lateral görünüşü.....	2
1.3.Türkiye yaban tavşanlarında çalışılan diş varyasyonları (Sert, 2006’dan modifiye edildi).....	4
1.4.Türkiye yaban tavşanlarında ilk kez tespit edilen dişvaryasyonlar.....	5
2.1.Türkiye’den elde edilen yaban tavşanı örneklerinin dağılımı. Kırmızı noktalar örnekleme lokasyonlarıdır ve ilişkili beyaz rakamlar örnek sayılarıdır. Altı genetik popülasyon (Demirbaş vd., 2019) kesikli çizgiler ile çevrelenmiştir ve ilgili kısaltmalarla gösterilmiştir. TT: Türkiye Trakyası, BA: Batı Anadolu, ODA: Orta-Doğu Anadolu, KOA: Kuzey-Orta Anadolu, KDA: Kuzey Doğu Anadolu, GDA: Güney Doğu Anadolu.	7
2.2.Diş varyasyonlarının tanımlamaları için kullanılan terimlerin şematik gösterimi (Alsaç ve Demirbaş 2024’ten)	8
2.3.Türk yaban tavşanlarında kullanılan diş varyasyonları.....	12
3.1. MMD değerlerinin çok boyutlu ölçeklenmesinden elde edilen popülasyona özgü boyut koordinatlarının dağılım grafiği (Popülasyon kısaltmaları Şekil 2.1'deki gibi).....	20

ÇİZELGELER DİZİNİ

ÇİZELGE

Sayfa

- 2.1. İncelenen oklüzal karakterler, doğrusal modeller ve MMD hesaplamaları için kullanılan (frekans hesaplamaları için bkz. Materyal ve Yöntem) ilgili ikili karakter durumları (ayrıca bkz. Şekil 2.3) ve karakter durumu için ilişkili frekanslar (1). 9
- 3.1. Başlangıç sıcaklık değerlerinin PCtemp1 ve PCtemp2'ye olan yükleri; bio1-11tr, bio1 = ortalama yıllık sıcaklığı, bio5 = en sıcak ayın maksimum sıcaklığı, bio6 = en soğuk ayın sıcaklığı, bio8 = en yağışlı çeyreğin ortalama sıcaklığı, bio9 = en kurak çeyreğin ortalama sıcaklığı, bio10 = en sıcak çeyreğin ortalama sıcaklığı, bio11 = en soğuk çeyreğin ortalama sıcaklığı olmak üzere standardize edilmiş Box-Cox-dönüştürülmüş bireysel değerlerdir.. 17
- 3.2. PCprecip1 ve PCprecip2'deki başlangıç yağış değerlerinin yükleri; bio12-19tr, bio12 = ortalama yıllık yağışı, bio13 = en yağışlı ayın yağışı, bio14 = en kurak ayın yağışı, bio16 = en yağışlı çeyreğin yağışı, bio17 = en kurak çeyreğin yağışı, bio18 = en sıcak çeyreğin yağışı, bio19 = en soğuk çeyreğin yağışı olmak üzere standardize edilmiş Box-Cox-dönüştürülmüş bireysel değerlerdir..... 17
- 3.3. Oklüzal karakterlerin modelleme sonuçları. İlgili son modeller, açıklanan sapma (DE) ve açıklayıcı faktörler/değişkenler için RVI değerleri azalan sıradadır. İstatistiksel olarak önemli RVI değerleri kalın yazılmıştır..... 18
- 3.4. Türkiye'deki altı genetik popülasyon arasındaki çift MMD değerleri. Çift MMD değerleri diyagonalin üstündedir ve ilişkili çift standart sapmalar diyagonalin altındadır. Sıfırın önemli ölçüde üzerinde olan MMD değerleri bir yıldız işaretiyle gösterilmiştir..... 19

KISALTMALAR

MMD	: Ortalama Ayrılma Ölçüsü
ch	: Karakter
P₃	: Alt üçüncü premolar
P₄	: Alt dördüncü premolar
M₁	: Alt birinci molar
M₂	: Alt ikinci molar
M₃	: Alt üçüncü molar
P²	: Üst ikinci premolar
P⁴	: Üst dördüncü premolar
I¹	: Üst inkisör
FA	: Fluctuating asymmetry/Dalgalanan asimetri (DA)

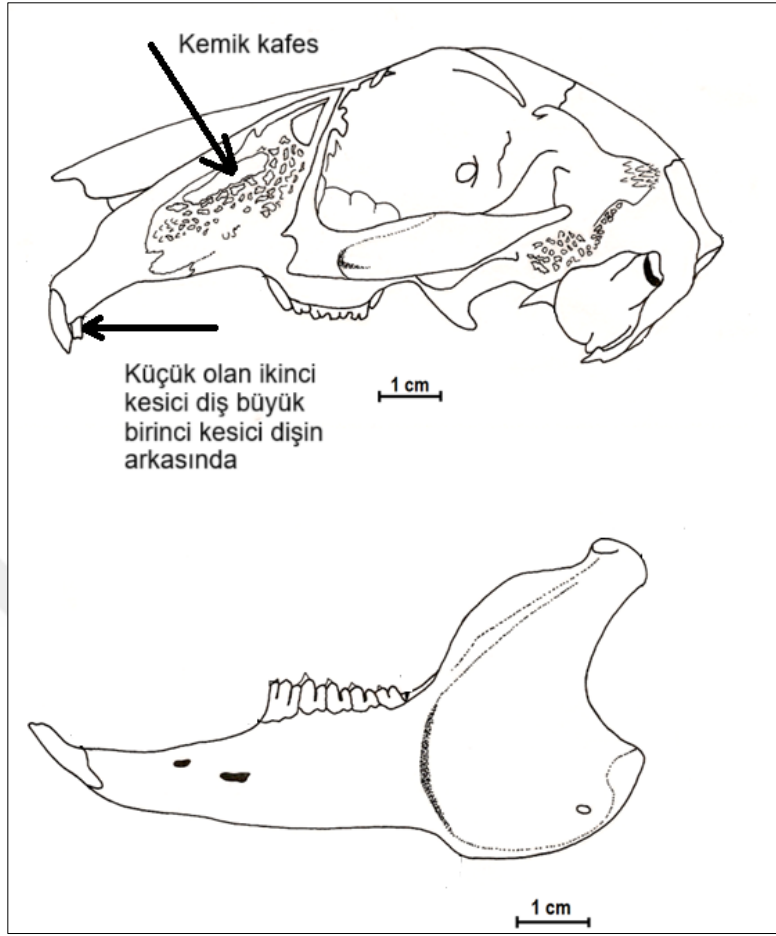
1. GİRİŞ

1.1. Tavşanlar (Lagomorpha) ve Diş Yapıları

Tavşanlar (Lagomorpha) kemiricilerle benzer ekolojik nişleri kullandıklarından dolayı uzun yıllar kemiricilere (Rodentia) dahil edilmiştir. Bu iki taksonun birçok özellikleri bakımından (özellikle kemirici ön dişler) birbirine benzemesi konvergens evrim ile açıklanmaktadır (Angermann, 1972). Tavşanlar üst kemirici dişlerin hemen arkasında bulunan küçük kemirici dişlerle kemiricilerden bariz olarak ayrılırlar. Ayrıca rostrumun kenarı kırılğan kemik yapısında gevşek bir örgü (kafes) şeklindedir. Ağırlığı hafifletmek amaçlı olan bu özellik de sadece tavşanlara özgüdür (Şekil 1.1; 1.2).



Şekil 1.1. Türkiye’den Kahverengi yaban tavşanı bireyi



Şekil 1.2. Kahverengi yaban tavşanında ayırıcı kafatası ve alt çene yapısının lateral görünüşü

Tavşanlar 2 familyaya ait 92 tür ile dünyanın hemen her yerinde doğal olarak ya da insan taşıması suretiyle yayılmışlardır. Dünya genelinde 32 tür ile temsil edilen yaban tavşanları (*Lepus* spp.) önemli fizyolojik özellikleri sayesinde yüksek adaptasyon yetenekleri ile tanınırlar. Orta ölçülü olmaları (bakınız Şekil 1.1.) yaban tavşanlarını güçlü predasyon baskısıyla karşı karşıya bırakmaktadır (Renner, 1980; Roest, 1991; Hirakawa, 2001; Chapman ve Flux, 2008; Demirbaş, 2010).

Morfolojik (baş iskeleti verileri) ve moleküler genetik (mtDNA ve mikrosatellit verileri) çalışmalara göre Türkiye’de sadece Kahverengi yaban tavşanı, *Lepus europaeus* yaşamaktadır (Sert vd., 2005; Demirbaş, 2010; Demirbaş vd., 2019). Demirbaş (2015) yaban tavşanının Anadolu’da farklı habitatlarda yaşadığını ve en fazla ormanlık alanları tercih ettiğini kaydetmiştir. Diğer taraftan Albayrak ve Demirbaş (2019) yaban tavşanının Türkiye’de *L.e. syriacus* (kahverengimsi tip) ve

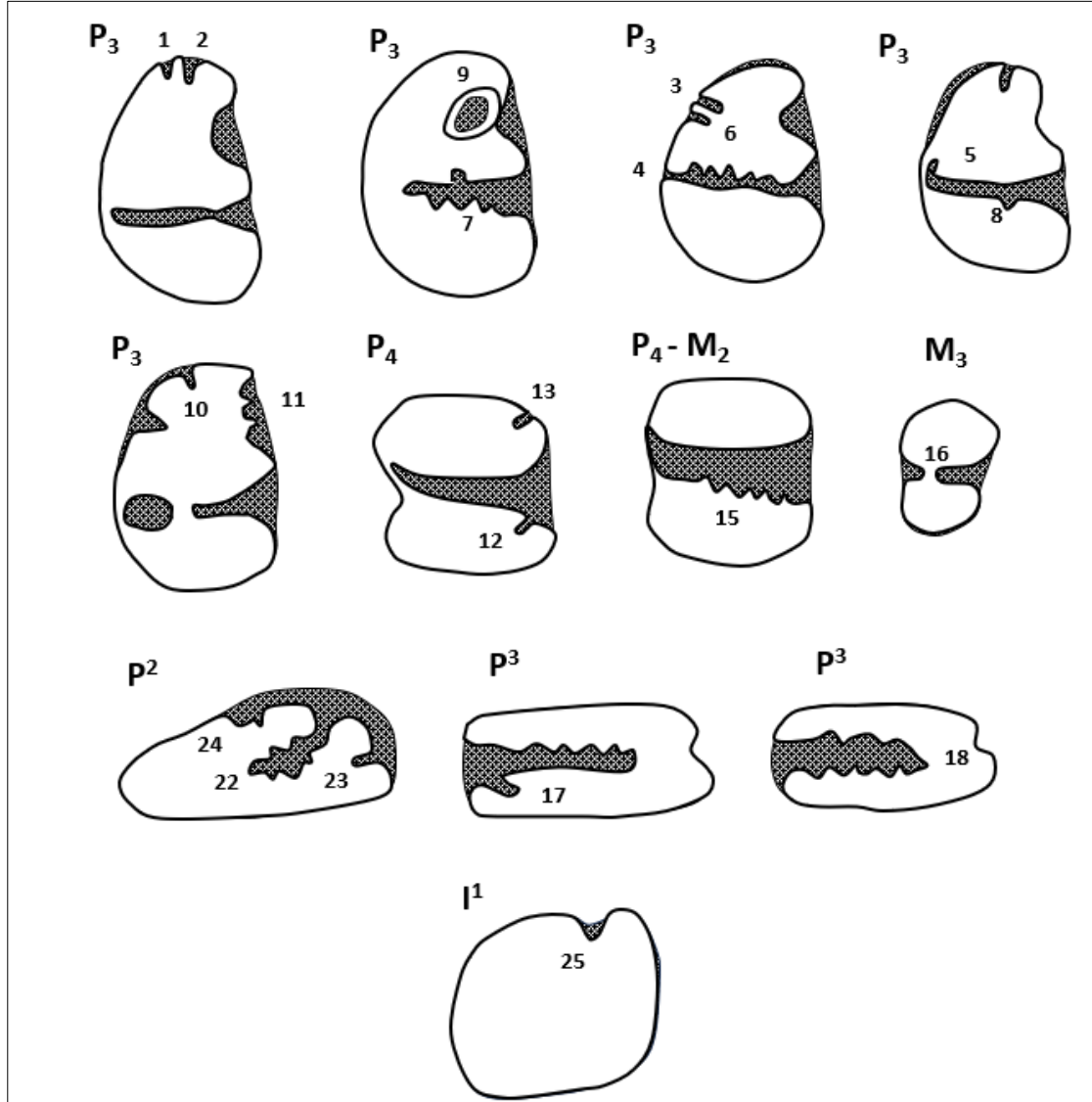
L.e. mursalogluae (sarımsı tip) olmak üzere iki alttürünün bulunduğunu belirtmiş ve Mursalogluae'nin kahverengi yaban tavşanının yarı kurak Güneydoğu Anadolu Bölgesi'nde, Suriye sınırına yakın, 567 m'ye kadar yükseklikteki açık tarım arazilerinde ve kırmızı topraklı bozkır bölgelerinde yaşadığını belirtmiştir. Sırt rengi belirgin olarak tekdüze ve sarımsı olan alttürün subtelosentrik kromozomlarından biri bir duplikasyon sahiptir. Diğer yandan *L.e. mursalogluae* kafatası ölçüleri, fallus karakteri ve kıl modeli bakımından *L.e. syriacus* ile aynı özellikler göstermektedir. Güneydoğu Anadolu Bölgesi'nde her iki alttür birlikte yaşamaktadır ve bu alanlarda iki alttürün morfolojik özelliklerini taşıyan (kürk rengi) hibrit bireylere rastlanmaktadır.

Yeni doğmuş tavşanlar üç çift kesici dişe sahiptir. Fakat iki kenardaki kesiciler kısa zaman sonra kaybedilir. Birinci kesicinin arkasındaki küçük üst kesicilerin uç kısımları yoktur. Kesici dişler yaşam boyunca büyür ve tamamen mine tabakasıyla örtülmüştür. Azı dişler ise yüksek taçlıdır ve kökleri yoktur. Tipik olarak tavşanlarda üst diş dizisi alt diş dizisinden daha ileridedir. Yaban tavşanları 28 dişe sahip olup diş formülleri: i (inkisör).2/1, c (kanin). 0/0, p (premolar). 3/2, m (molar). 3/3 şeklindedir (Nowak, 1999; Chapman ve Flux, 2008; Demirbaş, 2010).

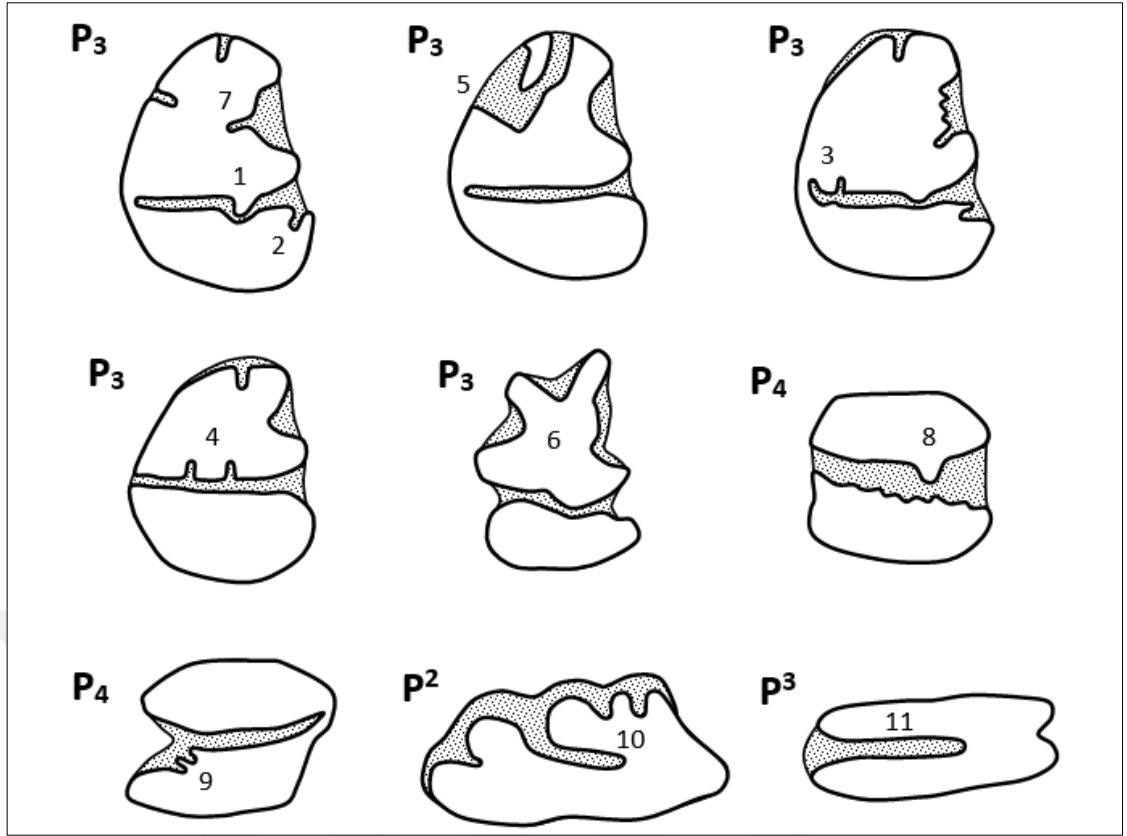
1.2. Epigenetik Diş Karakterlerine Dayalı Çalışmalar

Karasal memelilerde türler arası ve tür içi diş polimorfizmi, paleontolojik ve evrimsel analizler, sistematik, ontogenetik gelişim, ekolojik veya işlevsel adaptasyon veya filocoğrafya gibi çeşitli bağlamlarda kapsamlı bir şekilde incelenmiştir (Kurtén, 1953,1967; Sikorski, 1982; Angermann, 1984; Sikorski ve Bernshtein, 1984; Baryshnikov ve Potapova, 1990; Szuma, 2007; Palacios vd., 2008; Markova vd., 2010; Gomes Rodrigues vd., 2017; Korablev vd., 2017; Zuercher vd., 2021; Yavuz vd., 2023; Korkmaz vd., 2024;). Yaban tavşanlarında (Leporidae, Lagomorpha), özellikle oklüzal yüzeydeki çeşitli mine kıvrımlarının, çentiklerinin ve adacıklarının varlığını veya yokluğunu, şeklini ve yapılandırmasını temsil eden metrik olmayan oklüzal karakterler, esas olarak paleontolojik, filogenetik, sistematik ve mikrofilocoğrafik çalışmalarda ele alınmıştır (Forsyth Major, 1899; Petter, 1961; Hibbard, 1963; Sych, 1965; Angermann, 1966; Sych ve Sych, 1977; Palacios ve López, 1980; Angermann ve Feiler, 1988; Thenius, 1989; Ruedas, 1998; Suchentrunk vd., 1994, 2000; Fladerer ve Reiner, 1996; Suchentrunk ve Flux, 1996; Suchentrunk, 2004; Lopez-Martinez,

2008; Romero-Palacios ve Cervantes, 2012; Alsaç ve Demirbaş, 2024) ve gelişimsel homeostaz düzeylerini tahmin etmek için kullanılmıştır (Suchentrunk, 1993; Suchentrunk, 2000; Alves vd., 2001). Bugüne kadar Türkiye’deki yaban tavşanı *Lepus europaeus*’daki diş karakterlerini inceleyen iki çalışmada (Sert, 2006; Demirbaş, 2010) 25 oklüzyal varyasyon kullanılmıştır (Şekil 1.3.). Ayrıca Demirbaş (2010) Türkiye’deki *Lepus europaeus*’da frekansları orta ve düşük seviyede değişen 11 yeni diş varyasyonu tespit etmiştir (Şekil 1.4.).



Şekil 1.3. Türkiye yaban tavşanlarında çalışılan diş varyasyonları (Sert, 2006’dan modifiye edildi)



Şekil 1.4. Türkiye yaban tavşanlarında ilk kez tespit edilen diş varyasyonları

Son zamanlarda, yaban tavşanı, *Lepus europaeus*'ta bazı epigenetik oklüzal karakterler için, küçük iskelet ve diş karakterlerinin poligenetik bir geçmişinin varlığı vurgulanmıştır (Berry, 1963; Schmidtberger, 2015). SNP'lere (tek nükleer polimorfizmler) dayalı bir genomik çalışma insanlarda minör diş karakterlerinin genel gen havuzu farklılaşmasının iyi birer temsilcisi olduğunu işaret etmiştir (Irish vd., 2020).

Türkiye'deki kahverengi yaban tavşanları (*Lepus europaeus*), muhtemelen değişen iklime adaptasyon olarak çeşitli diş fenotipler sergilemektedir (Demirbaş vd., 2013), ancak hem Anadolu Yarımadası'nda hem de Anadolu ile güneydoğu Balkanlar'daki Türk Trakya'sı arasında nispeten az bir popülasyon genetik farklılaşma tespit edilmiştir (Demirbaş vd., 2019). Bu çalışmada, Türkiye'deki yaban tavşanlarında epigenetik oklüzal karakterlerin mikrofilocoğrafik varyasyonunu test etmek için bilgi teorisine dayalı modelleme (Burnham ve Anderson, 2002) kullanıldı. Özellikle, daha önce aynı bireylerin mikrosatelit çalışmasıyla (Demirbaş vd., 2019) belirlenen mikrofilogenetiğe, yani popülasyon genetik farklılaşmasına paralel bir karakter

varyasyonu ve muhtemelen çalışma alanındaki iklimsel varyasyona paralel bir karakter varyasyonu beklenmektedir. Demirbaş vd. (2019) tarafından ortaya konulduğu üzere hem Anadolu Yarımadası'nda hem de Güneydoğu Balkanlar'daki (yani Türkiye Trakya'sında) popülasyonlar arasında kahverengi tavşanların nükleer gen havuzlarının genel olarak düşük ancak önemli popülasyon genetik yapılanması göz önüne alındığında hem Anadolu'da hem de Türk Trakya'ında epigenetik oklüzal karakterlerde genel olarak çok az farklılaşma beklenebilir. Ancak oklüzal karakterlerin önemli iklimsel nedenselliği, yani ekogenetik karakter çeşitliliği (Thorpe vd., 1991) altında, incelenen oklüzal karakterlerin mekansal farklılaşması Türkiye'deki değişken iklim koşullarıyla ilişkili olmalıdır. Ancak, belirgin iklimle ilişkili karakter değişimi ve cinsiyet, yaş ve gelişimsel özellikler (yani kafatası boyutu) gibi diğer faktörler, Sjøvold (1977)'a göre C. A. B. Smith'in ortalama sapma ölçüsünü (MMD) hesaplama sırasında mikrofilocoğrafik sinyalleri bulanıklaştırabilir veya hatta gizleyebilir. Bu nedenle, oklüzal karakter değişimini muhtemelen etkileyen çeşitli açıklayıcı faktörleri hesaba katmak için özellikle lojistik modeller bu çalışmada kullanıldı. Her iki yaklaşımın karakter değişiminin olası filogenetik ve ekogenetik nedenleri arasında istatistiksel olarak ayırım yapması, ayrıca filogenetik ve/veya iklimsel nedenlerden bağımsız olarak diğer biyolojik ve coğrafi arka plan nedenlerinin olası ek etkilerini belirlemesi beklenmektedir.

2. MATERYAL VE YÖNTEM

2.1. Veri toplama

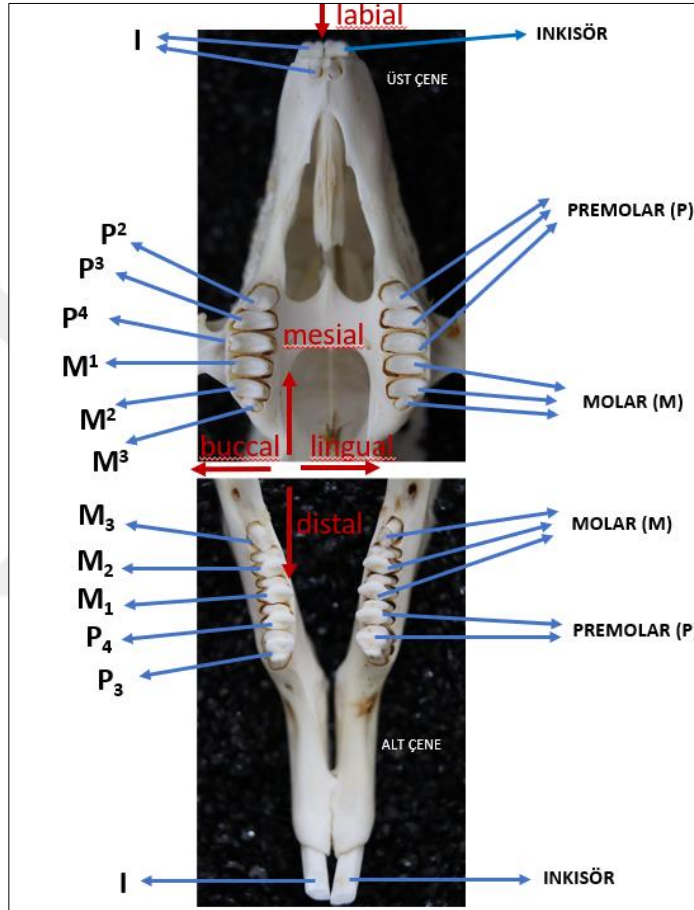
2.1.1. Yaban Tavşanı Örnekleri ve Diş Karakterleri

Türkiye’de 2006-2020 yılları arasında düzenli av sezonları sırasında 113 farklı lokaliteden elde edilen 304 kahverengi yaban tavşanının (*Lepus europaeus* Pallas, 1778) temizlenmiş kafataslarının her iki tarafından toplam 7.470 diş, diseksiyon mikroskobu kullanarak küçük metrik olmayan oklüzal varyantlar (epigenetik karakterler) açısından incelendi (Şekil 2.1). Bu varyantlar, premolar ve molarlarda mine kıvrımlarının, olukların, çentiklerin, adaların ve mine kıvrım çizgilerinin şeklinin yanı sıra, temel üst kesici dişlerin dudak tarafındaki mine kıvrımının çimento dolgulu olup olmamasını içermektedir.



Şekil 2.1. Türkiye’den elde edilen yaban tavşanı örneklerinin dağılımı. Kırmızı noktalar örnekleme lokasyonlarıdır ve ilişkili beyaz rakamlar örnek sayılarıdır. Altı genetik popülasyon (Demirbaş vd., 2019) kesikli çizgiler ile çevrelenmiştir ve ilgili kısaltmalarla gösterilmiştir. TT: Türkiye Trakyası, BA: Batı Anadolu, ODA: Orta-Doğu Anadolu, KOA: Kuzey-Orta Anadolu, KDA: Kuzey Doğu Anadolu, GDA: Güney Doğu Anadolu.

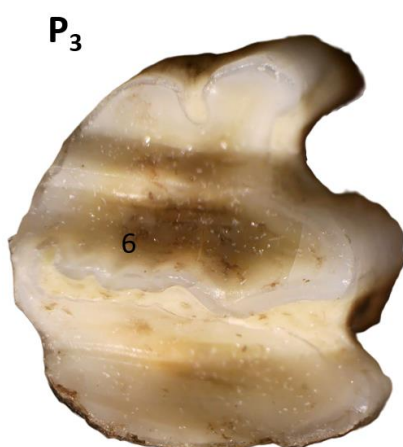
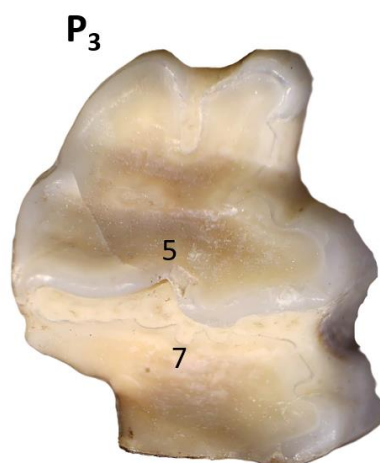
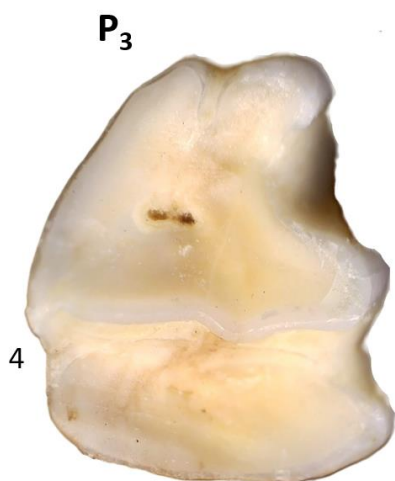
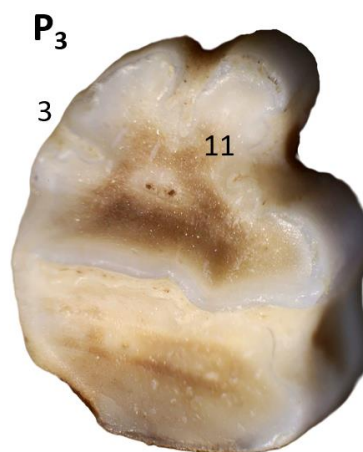
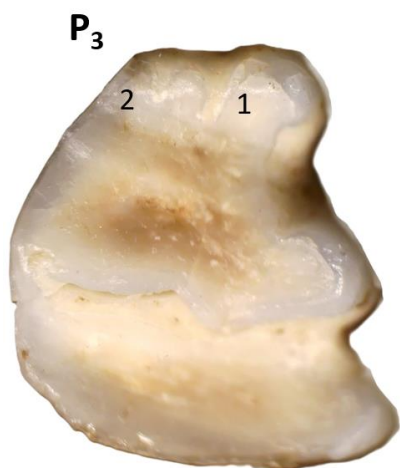
Bu çalışmada diş karakterlerinin değerlendirilmesi bakımından büyük ölçüde Suchentrunk vd. (1994, 2000), Suchentrunk (2000) ve Sert (2006) takip edildi. Diş varyasyonları için kullanılan terimler Şekil 2.2’de sunulmuştur. Seçilen 25 oklüzal karakter ve onların tanımları, karakter durumlarının ikili kodları ve genel frekansları Çizelge 2.1 ve Şekil 2.3’te ayrıntılı olarak verilmiştir.



Şekil 2.2. Diş varyasyonlarının tanımlamaları için kullanılan terimlerin şematik gösterimi (Alsaç ve Demirbaş 2024’ten)

Çizelge 2.1. İncelenen oklüzal karakterler, doğrusal modeller ve MMD hesaplamaları için kullanılan (frekans hesaplamaları için bkz. Materyal ve Yöntem) ilgili ikili karakter durumları (ayrıca bkz. Şekil 2.3) ve karakter durumu için ilişkili frekanslar (1).

Karakter	Diş	Karakter tanımı ve ikili kodlar
ch-1	P ₃	Mesial girinti (çimento ile doldurulmuş): yok (0)/mevcut (1), %95,1
ch-2	P ₃	İlave mesial girinti (çimentolu): yok (0)/mevcut (1), %2,0
ch-3	P ₃	Anterior lingual girinti (çimentolu): yok (0)/mevcut (1), %13,5
ch-4	P ₃	Posterior dış girinti, Lingual dış minesini bölerek trigonid ile talonid'i tamamen ayırıyor: yok (0)/mevcut (1), %30,9
ch-5	P ₃	Posterior dış girintinin kenarları en lingual tarafta bir ekstra girinti oluşturuyor; ilaveten mesial girinti: hayır (0)/evet (1), %19,7
ch-6	P ₃	Posterior dış girintinin mesial kenarında plikasyon, katlanma (katlanma çok ya da az): hayır (0)/evet (1), %14,8
ch-7	P ₃	Posterior dış girintinin distal tarafında katlanma: hayır (0)/evet (1), %7,6
ch-8	P ₃	Posterior dış girintinin distal kenarında lateral ilave girinti: hayır (0)/evet (1), %7,9
ch-9	P ₃	En az bir mine çukuruna sahip trigonid (azı dışın üst kısmı): hayır (0)/evet (1), %11,5
ch-10	P ₃	Mesial dolgu tabakası lingual yönde uzanarak anterior lingual girintiyi kaplayan çimento tabakası: hayır (0)/evet (1), %0,3
ch-11	P ₃	Anterior dış girinti kenarı güçlü plikasyon gösteriyor (üç veya daha fazla belirgin şekilde gelişmiş plika): hayır (0)/evet (1), %8,2
ch-12	P ₄	Lateral girintinin distal kenarında ekstra bir yan girinti (bazen çift kıvrım): hayır (0)/evet (1), %6,9
ch-13	P ₄	Trigonidin mesial yan duvarlarında çimento ile doldurulmuş bir girinti: hayır (0)/evet (1), %0,0
ch-14	M ₁	ch-13 gibi, hayır (0)/evet (1), %0,7
ch-15	M ₂	Lateral girintinin distal kenarı (hafif veya belirgin şekilde) katlanmalı: hayır (0)/evet (1), 1,0%
ch-16	M ₃	Mine tabakasıyla kaplı bir dentin köprüsüyle birbirine bağlanan trigonid ve talonid: hayır (0)/evet (1), %1,6
ch-17	P ³	Lingual girintinin distal kenarında (hipostria) başka bir girinti var (linguo-bukkal yönde): hayır (0)/evet (1), %11,5
ch-18	P ³	Hipostrianın distal kenarı kıvrımlı veya dalgalı: hayır (0)/evet (1), %46,7
ch-19	P ⁴	ch-17 gibi: hayır (0)/evet (1), %2,0
ch-20	M ¹	ch-17 gibi: hayır (0)/evet (1), %0,3
ch-21	M ²	ch-17 gibi: hayır (0)/evet (1), %0
ch-22	P ²	Merkez mesial girintinin kenarı katlanmalı (veya dalgalı): hayır (0)/evet (1), %3,0
ch-23	P ²	Merkezi mesial girintinin lingualinde girinti: yok (0)/mevcut (1), %95,7
ch-24	P ²	Merkezi mesial girintinin bukkal tarafında girinti: mevcut (1)/yok (0), %68,1
ch-25	I ¹	Çimento ile doldurulmuş labial grinti (çentik): yok (0)/mevcut (1), %5,3



P₃



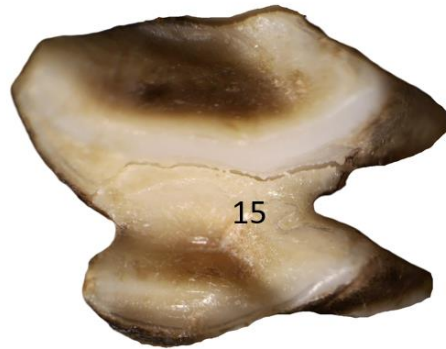
P₄



M₁



M₂

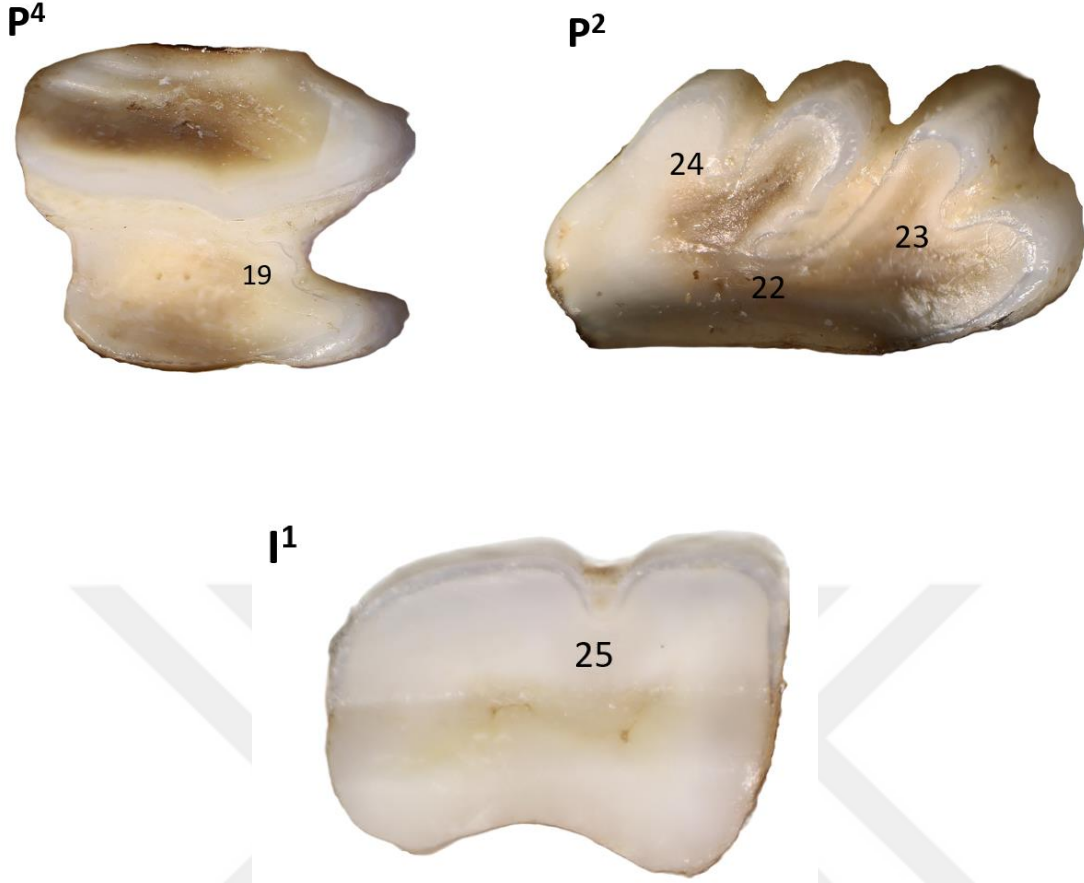


M₃



p³





Şekil 2. 3. Türk yaban tavşanlarında kullanılan diş varyasyonları

Bu çalışmada kullanılan her kafatası, daha önce bir mikrosatelit çalışmasıyla belirlenen Türkiye'deki altı genetik popülasyonlardan birine atanmıştır (Demirbaş vd., 2019; ayrıca bkz. Şekil 2.1. Kafatasları Kırıkkale Üniversitesi Mühendislik ve Doğa Bilimleri Fakültesi Biyoloji Bölümü'nde muhafaza edilmektedir. Tavşanların cinsiyeti birçok durumda (iç) üreme organlarının incelenmesiyle belirlendi, ancak çok sayıda tavşanın cinsiyeti belirsiz kaldı. Bunlar yetişkinler, yani tam olarak büyümüş ve cinsel olarak olgunlaşmış bireyler veya tam olarak büyümemiş alt yetişkinler olarak sınıflandırıldı. Bu sınıflandırma, Stroh işaretine (*Os ulnare*'nin distal lateral epifiz çıkıntısının varlığı; Stroh, 1931, kuru göz merceği ağırlıklarına (Suchentrunk vd., 1994), Cabón-Raczyńska'nın (1964; ancak bkz. Suchentrunk vd., 1994) sütüral kemikleşme şemasına ve alt yetişkinlerde genellikle daha küçük, daha hassas ve daha düzgün kenarlı olan supraorbital yapıların boyutuna ve şekline dayandı. Ancak, göz merceği ağırlıkları mevcut olmayan ve kafatası özellikleri ara düzeyde olan çok fazla kafatası sınıflandırılmadı. Tam olarak büyümüş kahverengi yaban tavşanların kafatası

boyutu, homojen bir popülasyon içinde bile önemli ölçüde değişebilir; tam yetişkin yetişkinlerin kondilobazal uzunluklarının (CBL) alt sınırına, beş ila altı aylık yaştaki yarı yetişkinlerde bile ulaşılabilir (Suchentrunk ve Davidovic, 2004). Türkiye'deki tavşanların değişken kafatası boyutları göz önüne alındığında (Demirbaş vd., 2013), oklüzal karakter oluşumu üzerindeki olası ontogenetik etkileri hesaba katmak için bireysel CBL'yi ölçüldü (Sjøvold, 1977).

2.2. Biyoklimatik Değişkenler

Uzun vadeli ortam sıcaklığı (bio1, bio5-11) ve yağış (bio12-14, bio16-19) ortalamalarını temsil eden 15 yerel iklim değişkeni erişilebilir WorldClim veritabanından (sürüm 2, worldclim.org) indirildi. Bio2-4 ve bio15 değişkenleri kullanılmadı, çünkü bunlar yalnızca diğer değişkenlerden türetilen endekslerdir. Standardize edilmiş Box-Cox-dönüştürülmüş değerler, ayrı ana bileşenler (PCtemp, PCprecip) elde etmek için, ek rotasyon olmaksızın, sıcaklık ve yağış verileri için ayrı ayrı bir korelasyon matrisi tabanlı ana bileşenler analizine (PCA) tabi tutuldu, bu da olası ayrı sıcaklık ve yağış etkilerinin dış karakterleri üzerinde basit bir şekilde yorumlanmasına olanak sağladı (daha fazla ayrıntı için aşağıya bakın).

2.3. Oklüzal Karakter Varyasyonunun Bilgi Teorik Modelleri: Model Sıralaması ve Model Ortalaması

Bireylerin popülasyon genetik atamalarından bağımsız olarak cinsiyet, ontogenetik gelişim (yaş sınıfı), vücut (kafatası) boyutu ve mekansal etkiler (coğrafi koordinatlar) gibi olası ek biyolojik etkileri eş zamanlı olarak kontrol ederek oklüzal karakter ifadesi üzerine olası istatistiksel olarak önemli popülasyon genetik ve iklimsel etkileri ortaya çıkarmak için çoklu model yaklaşımı (Burnham ve Anderson, 2002; Barton, 2013) kullanıldı. Tüm 304 bireysel veri setini modelleme için kullanılabilir tutmak amacıyla cinsiyet veya yaş sınıfıyla ilgili eksik veriler için üçüncü bir kategori ("bilinmeyen") oluşturuldu. Modellerdeki tüm bağımsız (açıklayıcı) değişkenler/faktörler, mevcut çoklu doğrusallık (multicolariti: iki veya daha fazla bağımsız değişkenin yüksek korelasyonlu olma durumunu ifade eden bir istatistiksel olgu) açısından kontrol edildi (tüm VIF > 0,1, Tolerans <10,0) ve sonuç olarak, tüm açıklayıcı değişkenler modellerde kullanılabilirdi. AICc değerlerine (yani, küçük örneklem boyutları için Akaike bilgi kriteri) dayalı model sıralamasına göre ilgili en iyi modelleri belirlemek

ve model ortalamasını almak için “Göreceli Değişken Önemi (RVI)” değerlerini hesaplamak için R (R Core Team 2021) kullanıldı. RVI değerleri, ilgili açıklayıcı değişkenlerin en iyi modelde bulunma olasılıklarına eşdeğerdir. Burnham ve Anderson (2002) takip edildi ve RVI değerinin $> 0,7$ olması, bağımsız (açıklayıcı) bir değişkenin (faktör) bağımlı değişken (yani, oklüzal karakter durumu) üzerinde istatistiksel olarak anlamlı bir etkisinin göstergesi olarak kabul edildi.

Özellikle, yalnızca alternatif karakter durumlarının (0/1) makul frekanslarına sahip olan aşağıdaki oklüzal karakterler modellendi: ch-3, ch-4, ch-5, ch-6, ch-9, ch-18, ch-24 (karakter durumu için ilişkili frekanslar Çizelge 2.1.’de verildi).

Çalışılan oklüzal karakterler için ilk lojistik Genel Eklemeli Modellerin (GAM) sentaksı şöyleydi:

```
m = gam(char ~ sex + age + population + s(cbl) + s(latitude, longitude) + s(PCtemp1) + s(PCtemp2) + s(PCprecip1) + s(PCprecip2), data = dat, family = binomial)
```

"char" ikili kodlanmış oklüzal karakterdi, "sex" ve "age" sırasıyla üç kategori olarak kodlandı (yukarıya bakın), "population" altı genetik popülasyondan birine atama olarak kodlandı (yukarıya bakın), "cbl" bireysel kafataslarında ölçüldüğü gibi kullanıldı, "latitude" ve "longitude" lokalite-özümlü coğrafi koordinatlar için kullanıldı ve dört iklim faktörü (PCtemp1, PCtemp2, PCprecip1, PCprecip2) PCA'lardan elde edilen orijinal lokalite-özümlü iklim verilerinin ilgili ana bileşenlerinin bireysel puanlarını temsil etmektedir. Modellerdeki sürekli değişkenler için, değişkenlerin olası doğrusal olmayan varyasyonuna izin vermek amacıyla, spline'lar (s), yani doğrusal olmayan fonksiyon tahminleri kullanıldı. Ancak, doğrusal varyasyona sahip olduğu bulunan tüm değişkenler için spline'lar olmadan modeller tekrar çalıştırıldı.

2.4. Fenetik Farklılaşma – Smith'in Ortalama Ayrışma Ölçüsü (MMD)

Karakter durumu (1) veya her bir oklüzal karakterin frekanslarını yalnızca gövdenin sağ tarafındaki dişler için hesaplandı, çünkü bu çalışmada gerçekleştirilen eşleştirilmiş çiftli işaretli sıralama testleri, bireylerdeki tüm mevcut asimetrik karakter durumlarının dalgalanan asimetriyi (FA, yani mükemmel bilateral simetriden yönlendirilmemiş sapmalar) temsil ettiğini ve bunun gelişimsel homeostazın göstergesi olduğunu ortaya

koydu (Van Valen, 1962; Zakharov, 1981; Palmer ve Strobeck, 1986; Suchentrunk, 1993). FA altında, bir vücut tarafında puanlanan karakterler epigenetik farklılaşma için istatistiksel olarak anlamlı bilgileri temsil eder. Ancak, sağ vücut tarafı bilgisi mevcut olmadığında, sol vücut tarafı karakter durumu bilgisi kullanıldı. Dahası, her iki vücut tarafında da karakter eksikliğinin nadir olduğu durumlarda, karakter durumları diğer tüm örneklerdeki karaktere özgü bilgilerden tahmin edildi. Özellikle, R platformu (R Core Team, 2021) ve 12 Ekim 2022 tarihli “AntropMMD” 3.1.0 Paketi (Santos, 2018) kullanıldı; hesaplamalar Anscombe'nin frekans durumlarının dönüşümlerine dayandırıldı ve çift standart sapmanın üzerinde olduğunda sıfırdan önemli ölçüde yüksek olan çiftler halinde MMD değerleri dikkate alındı (Sjøvold, 1977; Harris ve Sjøvold, 2004). MMD hesaplamalarıyla elde edilen mekansal sapma örüntüsünü görselleştirmek için paketin çok boyutlu ölçekleme seçeneğini kullanıldı.

3. ARAŞTIRMA BULGULARI

3.1. Oklüzal Karakterler

Tüm hesaplamalar (MMD hesaplamaları hariç (aşağıya bakınız) 25 dikotomize oklüzal karaktere dayanmaktadır (Çizelge 2.1). Karakterler arasında karakter durumları açısından anlamlı bir ilişki tespit edilmemiştir [Fisher'ın kesin testleri ve çoklu testler için katı Bonferroni düzeltmeleri (Rice, 1989)]. Dolayısıyla, istatistiksel testlerde tüm karakterler bağımsız karakterler olarak ele alındı.

3.2. Biyoklimatik Değişkenler

Bireysel olarak dönüştürülmüş lokaliteye özgü ortam sıcaklığı ortalamalarının ana bileşenler analizi (PCA) iki ana bileşen (PC) üretti, birincisi PCtemp1, başlangıç karakter değişkenliğinin %70,9'unu ve ikincisi PCtemp2, başlangıç karakter değişkenliğinin %14,53'ünü yansıttı. Başlangıç sıcaklık değerlerinin yüklerine göre (Çizelge 3.1.), PCtemp1 yılın en yağışlı çeyreği hariç genel ortam sıcaklığını yansıtırken, PCtemp2 yılın en yağışlı çeyreğinin ortam sıcaklığını yansıtmaktadır.

Bireysel olarak dönüştürülmüş yağış değerlerinin PCA'sı da iki PC üretti, birincisi PCprecip1, başlangıç karakter değişkenliğinin %56,26'sını ve ikincisi PCprecip2, başlangıç karakter değişkenliğinin %40,9'unu yansıttı. Başlangıç yağış değerlerinin yüklerine göre (Çizelge 3.2.), PCprecip1 yılın en kurak ve en sıcak çeyreğine daha az vurgu yapan genel bir yağış faktörü olarak yorumlanırken, PCprecip2 özellikle yılın en kurak ve en sıcak çeyreğindeki yağışı yansıttığı şeklinde yorumlanmıştır.

Çizelge 3.1. Başlangıç sıcaklık değerlerinin PCtemp1 ve PCtemp2'ye olan yükleri; bio1-11tr, bio1 = ortalama yıllık sıcaklığı, bio5 = en sıcak ayın maksimum sıcaklığı, bio6 = en soğuk ayın sıcaklığı, bio8 = en yağışlı çeyreğin ortalama sıcaklığı, bio9 = en kurak çeyreğin ortalama sıcaklığı, bio10 = en sıcak çeyreğin ortalama sıcaklığı, bio11 = en soğuk çeyreğin ortalama sıcaklığı olmak üzere standardize edilmiş Box-Cox-dönüştürülmüş bireysel değerlerdir.

Sıcaklık Değişkenleri	PC _{temp1}	PC _{temp2}
bio1_tr	.993	-.014
bio5_tr	.823	.271
bio6_tr	.849	-.229
bio8_tr	-.094	.906
bio9_tr	.921	.127
bio10_tr	.965	.128
bio11_tr	.888	-.192

Çizelge 3.2. PCprecip1 ve PCprecip2'deki başlangıç yağış değerlerinin yükleri; bio12-19tr, bio12 = ortalama yıllık yağışı, bio13 = en yağışlı ayın yağışı, bio14 = en kurak ayın yağışı, bio16 = en yağışlı çeyreğin yağışı, bio17 = en kurak çeyreğin yağışı, bio18 = en sıcak çeyreğin yağışı, bio19 = en soğuk çeyreğin yağışı olmak üzere standardize edilmiş Box-Cox-dönüştürülmüş bireysel değerlerdir.

Yağış Değişkenleri	PC _{precip1}	PC _{precip2}
bio12_tr	.984	-.107
bio13_tr	.882	-.433
bio14_tr	.559	.824
bio16_tr	.879	-.450
bio17_tr	.575	.814
bio18_tr	.441	.889
bio19_tr	.764	-.573

3.3. Bilgi Teorik Tabanlı Model Sonuçları

İkili oklüzal karakter varyasyonunun modellenmesinin ilk adımında spline'ların varlığı kontrol edildi. Bu sonuçlara dayanarak, bağımsız değişkenler için değişken spline'lara sahip nihai başlangıç modelleri Çizelge 3.3'te listelendiği gibi oluşturuldu. Daha sonra, bu başlangıç modellerinden çıkarılabilecek tüm olası modeller ilgili bağımlı değişken için çalıştırıldı. Model ortalamasından elde edilen bağımsız değişkenlerin/faktörlerin RVI değerleri, Tablo 4'te ilgili başlangıç modeliyle birlikte açıklanan sapma (DE) ile listelenmiştir.

Çizelge 3.3. Oklüzal karakterlerin modelleme sonuçları. İlgili son modeller, açıklanan sapma (DE) ve açıklayıcı faktörler/değişkenler için RVI değerleri azalan sıradadır. İstatistiksel olarak önemli RVI değerleri kalın yazılmıştır.

ch-3 ~ sex + age + population + cbl + latitude*longitude + PC_{temp}1 + s(PC_{temp}2) + PC_{precip}1 + PC_{precip}2; **DE** = 11.4%

RVI: sex = 0.93, cbl = 0.92, s(PC_{temp}2) = 0.38, PC_{temp}1 = 0.33, latitude = 0.33, age = 0.32, PC_{precip}1 = 0.31, longitude = 0.30, PC_{precip}2 = 0.28, population = 0.05, latitude*longitude = 0.04

ch-4 ~ sex + age + population + s(cbl) + s(latitude, longitude) + PC_{temp}1 + PC_{temp}2 + s(PC_{precip}1) + s(PC_{precip}2); **DE** = 16.8%

RVI: s(latitude*longitude) = 0.99, s(cbl) = 0.90, s(PC_{precip}1) = 0.79, s(PC_{precip}2) = 0.63, PC_{temp}1 = 0.32, PC_{temp}2 = 0.31, population = 0.29, age = 0.28, sex = 0.13

ch-5 ~ sex + age + population + s(cbl) + s(latitude, longitude) + PC_{temp}1 + PC_{temp}2 + s(PC_{precip}1) + s(PC_{precip}2); **DE** = 13.8%

RVI: s(cbl) = 0.93, sex = 0.85, s(PC_{precip}1) = 0.68, s(PC_{precip}2) = 0.63, PC_{temp}2 = 0.41, s(latitude, longitude) = 0.40, PC_{temp}1 = 0.34, age = 0.12, population = 0.08

ch-6 ~ sex + age + population + age + s(cbl) + s(latitude, longitude) + PC_{temp}1 + s(PC_{temp}2) + s(PC_{precip}1) + s(PC_{precip}2); **DE** = 21.5%

RVI: s(latitude, longitude) = 0.74, s(cbl) = 0.66, s(PC_{precip}1) = 0.46, s(PC_{precip}2) = 0.42, age = 0.32, PC_{temp}1 = 0.31, s(PC_{temp}2) = 0.31, sex = 0.31, population = 0.20

ch-9 ~ sex + age + population + cbl + s(latitude, longitude) + s(PC_{temp}1) + s(PC_{temp}2) + PC_{precip}1 + s(PC_{precip}2); **DE** = 71.2%

RVI: s(latitude, longitude) = 0.99, cbl = 0.97, s(PC_{precip}2) = 0.96, s(PC_{temp}2) = 0.96, s(PC_{temp}1) = 0.96, population = 0.94, age = 0.80, sex = 0.78, PC_{precip}1 = 0.15

Çizelge 3.3. (devamı)Oklüzal karakterlerin modelleme sonuçları. İlgili son modeller, açıklanan sapma (DE) ve açıklayıcı faktörler/değişkenler için RVI değerleri azalan sıradadır. İstatistiksel olarak önemli RVI değerleri kalın yazılmıştır.

ch-18 ~ sex + age + population + s(cbl) + s(atitute, longitute) + PC_{temp}1 + PC_{temp}2 + s(PC_{precip}1) + PC_{precip}2, **DE** = 15.8%

RVI: s(cbl) = **0.99**, s(latitude, longitute) = **0.84**, s(PC_{precip}1) = 0.58, PC_{precip}2 = 0.38, PC_{temp}2 = 0.36, PC_{temp}1 = 0.36, age = 0.29, sex = 0.14, population = 0.14

ch-24 ~ sex + age + population + s(cbl) + s(latitude, longitute) + PC_{temp}1 + s(PC_{temp}2) + s(PC_{precip}1) + s(PC_{precip}2), **DE** = 19%

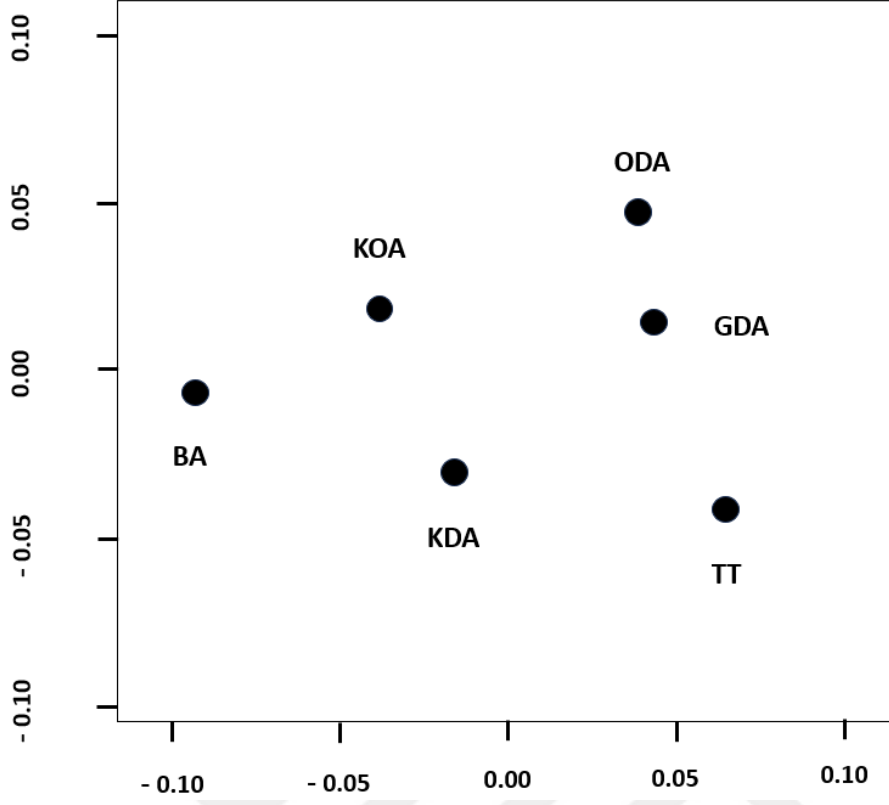
RVI: s(cbl) = **0.96**, s(PC_{precip}2) = **0.80**, s(PC_{temp}2) = 0.48, age = 0.44, s(PC_{precip}1) = 0.42, s(latitude, longitute) = 0.39, PC_{temp}1 = 0.30, population = 0.24, sex = 0.10

3.4. MMD Değerleri – Fenetik Farklılaşma

Daha önce ortaya konulan Türkiye'deki altı genetik popülasyon (Demirbaş vd. 2019) arasında Sjøvold'un (1977) çiftler halinde "ortalama sapma ölçüsü"nü (MMD) hesaplamak için, en az bir çiftler halinde karşılaştırmada anlamlı varyasyon gösteren sadece üç karakter kullanıldı: ch-8, ch-22, ch-23. Bu karakterlerin karakter durum frekansları da cinsiyet veya yaş sınıfı ve cbl'den bağımsızdı ve Fisher'ın kesin testlerine göre aralarında anlamlı bir ilişki yoktu. Altı genetik popülasyon arasındaki on beş çiftler halinde MMD değerinin sadece beşi sıfırdan anlamlı derecede yüksekti (Çizelge 3.4). MMD değerlerinin Çok Boyutlu Ölçeklemesinden elde edilen dağılım grafiği Şekil 3.1'de sunulmuştur. Tüm çiftli karşılaştırmalarda oldukça benzer epigenetik farklılaşma düzeyleri olduğu tespit edilmiştir. Ancak Türk Trakya'sı (TT) tavşanları, Kuzeydoğu (KDA) ve Güneydoğu Anadolu (GDA) tavşanları hariç, ortalama olarak tüm Anadolu tavşanlarından epigenetik olarak daha fazla ayrılmaktadır. Dikkat çekici bir şekilde, TT ve bu son iki popülasyon için MMD değerleri istatistiksel olarak anlamlı değildi (Çizelge 3.4).

Çizelge 3.4. Türkiye'deki altı genetik popülasyon arasındaki çiftler halinde MMD değerleri. Çiftler halindeki MMD değerleri diyagonalin üstündedir ve ilişkili çift standart sapmalar (2xSS) diyagonalin altındadır. Sıfırın önemli ölçüde üzerinde olan MMD değerleri bir yıldız işaretiyle gösterilmiştir. (Populasyon kısaltmaları için Şekil 2.1'e bakınız).

	ODA	KOA	KDA	GDA	TT	BA
ODA	-	0.072854	0.080282	0	0.089079*	0.137336*
KOA	0.042989	-	0.035663	0.065826	0.11268*	0
KDA	0.047639	0.071303	-	0.060266	0.044947	0.035697
GDA	0.032032	0.055696	0.060346	-	0.039172	0.130967*
TT	0.032663	0.056326	0.060976	0.04537	-	0.158164*
BA	0.017476	0.04114	0.04579	0.030183	0.030813	-



Şekil 3. 1. MMD değerlerinin çok boyutlu ölçeklenmesinden elde edilen popülasyona özgü boyut koordinatlarının dağılım grafiği (Popülasyon kısaltmaları Şekil 2.1'deki gibi)

4. TARTIŞMA

Bu çalışmanın temel amacı, Türkiye'nin farklı bölgelerinde bulunan kahverengi yaban tavşanlarında (*Lepus europaeus*) şu anda bulunan dikotomize edilmiş epigenetik oklüzal özellikleri mikrofilocoğrafik veya iklimsel varyasyon için yani mikrofilogenetik veya ekogenetik nedensellik için test etmektir. Temel olarak, şu anda bulunan tüm oklüzal karakterler daha önce kahverengi yaban tavşanlarında popülasyon genetiği, filogenetik ve ekolojik bağlamlarda analiz edilmiştir (Suchentrunk, 1993, 2000; Suchentrunk vd., 1994, 2000; Sert, 2006). Bu son çalışmalarla uyumlu olarak, şu anda tanımlanan tüm oklüzal karakterler, gelişimsel homeostazi işaret eden dalgalanan asimetri (FA) gösterdi (Palmer ve Strobeck, 1986). Epigenetik ayrışma analizlerinde metrik olmayan özelliklerin karakter durumlarının puanlanması önerilerinin aksine (Ossenberg, 1981), yalnızca vücudun sağ tarafındaki bireysel karakter durumu puanlarını kullanarak olası mekansal olarak farklı gelişimsel homeostaz seviyelerini ve karakter durumlarındaki bireyler arası mekansal varyasyonu karıştırmaktan kaçınıldı (Suchentrunk ve Flux, 1996; Suchentrunk vd., 2000). Ancak, vücudun sağ tarafındaki dişler eksik olduğunda veya sağ dişlerin karakterleri puanlanamadığında, sol dişlerin karakterlerini puanlandı. Bu prosedür, karakter değerlendirmesi için vücudun bir tarafını kullanma ilkesiyle tutarlıydı çünkü FA altında karakter durumlarının olasılıkları vücudun her iki tarafı için istatistiksel olarak eşittir. Bu nedenle, bu çalışmada kullanılan veri seti mekansal analizler için bireyler arası varyasyonla ilgili tüm ilgili bilgileri kapsamaktadır.

Daha önceki çalışmalarda olduğu gibi (Suchentrunk vd., 1994, 2000), karakterlerin çiftler halinde karşılaştırmalarında karakter durumları arasında anlamlı bir ilişki bulunmadı. Bu, bir yandan işlevsel olarak tercih edilen morfotiplerin yokluğunu önerirken; diğer yandan, özellikle epigenetik farklılaşmanın hesaplanmasında, yani daha önceki bir mikrosatelit çalışmasıyla (Demirbaş vd., 2019) belirlenen genetik popülasyonlar arasındaki çiftler halinde MMD değerleri için tüm karakterler istatistiksel olarak bağımsız olarak düşünülebilir.

Tipik olarak, cinsiyet, yaş ve vücut büyüklüğü gibi (Sjøvold, 1977) mekansal (veya örneğin, tarihsel) kalıpları potansiyel olarak etkileyebilecek ve gizleyebilecek çeşitli biyolojik faktörler, mekansal testlerden ayrı ve bağımsız olarak veya mekansal örnekler arasındaki farklılık testlerinde test edilmiştir. Bu tür ayrı testler, dik bir ekolojik gradyan boyunca dış özellikleri için sıcaklık ve yağış verileriyle net bir ilişki göstermeyen İsrail yaban tavşanlarında metrik olmayan oklüzal karakterleri araştırırken de uygulanmıştır (Suchentrunk vd., 2000). Ancak, istatistiksel bir bakış açısıyla, oklüzal karakter durumları üzerinde potansiyel etkisi olan tüm ilgili faktörler veya değişkenler tek bir istatistiksel modele dahil edilmelidir. Epigenetik farklılıkların hesaplanması için karakter seçmeye yönelik geleneksel testler sıklıkla karakterlerin azalmasına yol açmaktadır. Bu da nihai MMD sonuçlarını etkileyebilir. Bu çalışmada uygulanan çoklu modelleme yaklaşımı, ilgili başlama modellerindeki tüm bağımsız (açıklayıcı) değişkenleri/ilgili faktörleri içerdi. Aynı zamanda bu yaklaşım, diğer değişkenleri/ilgi faktörlerini de hesaba katarak, tek açıklayıcı değişkenlerin/faktörlerin karakter varyasyonu üzerindeki mekansal ve iklimsel etkilerinin potansiyel olarak ayrı sinyallerin tespit edilmesini sağladı. Ayrıca, modellere bireysel popülasyon genetik ve iklimle ilgili verilere ek olarak coğrafi koordinatlar da dahil edildi ve genel popülasyon genetik farklılaşmasının gösterdiği gibi olası mikrofilogenetik etkiler diğer olası (bilinmeyen) coğrafi etkilerden ayrılabilindi. Bu da veride ciddi çoklu doğrusallığın olmaması nedeniyle mümkün oldu.

Filogenetik ve ekogenetik fenotipik karakter çeşitliliği kavramını takip ederek (Thorpe, 1991) farklı ortamlardaki tavşanlarda oklüzal karakter çeşitliliğine ilişkin önceki verilere göre (Suchentrunk vd., 1994; Suchentrunk, 2000; Suchentrunk vd., 2000), oklüzal özelliklerde ekogenetik sinyaller, yani Türkiye genelinde iklim çeşitliliğinin belirgin mekansal örüntüsüne paralel olarak (Gönençgil ve Acar, 2021) karakter durumlarında bazı değişiklikler bu çalışmada öngörüldü. Ancak, bir yandan Türkiye genelindeki yaban tavşanlarının genel olarak sık ama önemli popülasyon genetik farklılaşması (Demirbaş vd., 2019) ve diğer yandan nispeten belirgin iklim farklılıkları göz önüne alındığında, epigenetik farklılaşma örüntüsünün popülasyon farklılaşma örüntüsüyle iyi bir şekilde eşleşmesi beklenmemektedir. Bu, özellikle Kuzeybatı Anadolu ve Türkiye Trakya'sındaki tavşanlar için (nispeten yakın coğrafi örnekleme yerleri ve o bölgedeki benzer iklim göz önüne alındığında) beklenmemektedir. Ancak, Avrupa'nın en güneydoğusundaki Balkanlar'da bulunan

Türk Trakyası, Geç Pleyistosen ve Erken Holosen dönemlerinde tekrar tekrar Kuzeybatı Anadolu ile bağlantılı oluşturmıştır (Gökaşan vd., 1997; Yaltırak vd., 2000). Kara köprüleri, çeşitli mtDNA tabanlı filocoğrafik çalışmalarla gösterildiği üzere, günümüz İstanbul Boğazı, Marmara Denizi ve Çanakkale Boğazı boyunca gen akışına olanak sağlamıştır. Bu çalışmalar, özellikle Güneydoğu (ve Güney) Balkanlar'da Anadolu'ya özgü haplotiplerin dağılımını göstermiştir (Kasapidis vd., 2005; Sert vd., 2005; Sert, 2006; Stamatis vd., 2009). Ancak allozim ve mikrosatelit temelli çalışmalar, Anadolu Yarımadası ve Türk Trakya'sındaki tavşanlar arasında yalnızca düşük düzeyde bir popülasyon genetik farklılaşması olduğunu önermiştir (Sert vd., 2005; Demirbaş vd., 2019). Dahası, bu son çalışmalar Anadolu yaban tavşanları arasında düşük ancak önemli bir mekânsal farklılaşma olduğunu da göstermiştir. Kahverengi yaban tavşanlarının kafataslarının son çok değişkenli ve geometrik morfometrik sonuçları da (Demirbaş vd., 2023) hem Türk Trakya'sı hem de Anadolu Yarımadası arasında ve Anadolu'nun içinde düşük düzeyde bir farklılaşma olduğunu ortaya koymuştur. Bununla birlikte, kafatası boyutu ve şekli popülasyon genetik atamalarıyla önemli ölçüde ilişkiliydi ve iklimsel çeşitlilikten yalnızca küçük bir ölçüde etkilenmişti. Sonuç olarak, Türkiye yaban tavşanlarının kafatası boyutu ve şekli mikrofilogenetik çeşitlilik gösteren değişkenler olarak kabul edilmektedir.

Buna karşılık, bu çalışma ile genetik popülasyonlar arasındaki MMD değerlerinde de kanıtladığı gibi, Türk yaban tavşanlarının oklüzal karakterlerinde çok düşük düzeyde coğrafi çeşitlilik de bulundu. Altı genetik popülasyonun çiftler halinde karşılaştırmalarında yalnızca üç (%12) oklüzal karakter önemli varyasyon gösterdi ve bu nedenle MMD hesaplamaları için kullanıldı. Bununla birlikte, Türk Trakya'sından tavşanların 5 ikili karşılaştırmasından 3'ü dahil olmak üzere tüm MMD değerlerinin (15 karşılaştırma) üçte biri (5 tanesi) önemli epigenetik farklılaşmayı gösterdi. Türk Trakya'sından tavşanları ve Anadolu Yarımadası'ndan bir popülasyonu içeren üç istatistiksel olarak önemli MMD değerinin ortalaması ($MMD = 0,12$), Anadolu popülasyonları arasındaki iki çift halindeki karşılaştırmadan ($0,134$) sayısal olarak dahi küçüktü; bu, evrimsel olarak nispeten yakın zamanlardaki gen akışı nedeniyle olduğu varsayılan Türk Trakya'sından ve Anadolu Yarımadası'ndan kahverengi tavşanlar arasındaki yalnızca küçük bir genel nükleer gen havuzu farklılaşmasının popülasyon genetik yorumuna karşılık gelmektedir (Demirbaş vd., 2019). Ayrıca, Anadolu Yarımadası'ndaki popülasyonların ikili karşılaştırmalarında MMD

değerlerinin çoğunun sıfırın üzerinde anlamlı bir değere sahip olmaması, son çalışmada ortaya konulan Anadolu kahverengi yaban tavşanlarının genetik farklılaşmasının az olmasıyla uyumludur. Ancak, epigenetik olarak Türkiye Trakya tavşanlarına en yakın olanlar Kuzeydoğu ve Güneydoğu Anadolu tavşanlarıydı; aslında, Türkiye Trakya tavşanlarıyla yapılan karşılaştırmalarda anlamlı MMD değerleri göstermediler; bunun muhtemelen çok küçük örneklem büyüklüğünden kaynaklandığı düşünülmektedir.

İlginç bir şekilde, modelleme için kullanılan yalnızca bir oklüzal karakter (ch-9), Demirbaş vd., (2019) tarafından tanımlanan altı genetik popülasyon arasında varyasyon gösterdi ve bu da karakter varyasyonunun mikrofilogenetik tabanlı olduğuna işaret etmektedir. Karakter durumlarının (ch-4, ch-6, ch-9, ch-18 için) mekansal çeşitliliğinin diğer tüm sinyalleri örnekleme konumlarının coğrafi enlem ve boylamının, iklim parametreleri, yaş sınıfı, cinsiyet ve vücut (kafatası) büyüklüğünden ve popülasyon genetik çeşitliliğinden bağımsız olarak doğrusal olmayan birleşik etkilerini gösterdi. İlginç bir şekilde, yüksek bir açıklayıcı değere sahip (modeller için DE'ye göre) bir karakter için (ch-9) varyasyon hem bir popülasyon genetik etkisi hem de bağımsız olarak bir mekansal etki gösterdi. Popülasyon genetik farklılaşmasına paralel olma dışında, karakterlerin mekansal varyasyonunun tüm sinyalleri, bitki örtüsündeki veya toprak bileşimindeki (toprak kimyası) spesifik varyasyon gibi, şu anda ele alınan iklimsel değişkenler tarafından yansıtılmayan seçici kuvvetler nedeniyle varyasyona işaret edebilir ve bu da büyüyen mine tabakası oluşumunu etkileyebilir. Ancak, şu anda incelenen tavşanlardaki sığ gen havuzu farklılaşması göz önüne alındığında hem dış karakter sisteminin hem de incelenen bireylerin örneklem büyüklüğü, modellerimizde daha fazla popülasyon genetik sinyali elde etmek için çok küçük olabilir. Daha hassas bir popülasyon genetik farklılaşma analizi (SNP'ler, yani tek nükleotid polimorfizmleri gibi) daha iyi bir mekansal genetik çözünürlük ve muhtemelen oklüzal karakterlerin daha iyi bir filogenetik eşleşmesini sağlayabilir.

Bununla birlikte, açıkçası, şu anda incelenen bireyler ve oklüzal karakterler açısından örneklem büyüklükleri, nötr popülasyon genetik farklılaşmasından ve diğer coğrafi varyasyonlardan bağımsız olarak üç karakter (ch-4, ch-9, ch-24) üzerindeki ekogenetik (iklimsel) etkileri kanıtlamak için yeterliydi. İlk karakterin (ch-4) varyasyonu, coğrafi konumdan veya popülasyon genetik atamasından bağımsız olarak genel yağıştan etkilenirken, ch-9 varyasyonu hem ortam sıcaklığından hem de genel yağıştan ve ch-

24 yine yağıştan etkilendi. Hem cinsiyet, yaş sınıfı hem de vücut boyutunun (kafatası boyutu) birkaç karakterin karakter durumu ifadeleri üzerinde bağımsız olarak istatistiksel olarak önemli etkileri olduğu için, epigenetik oklüzal karakterleri değiştirmek için çevresel koşullarla birlikte gelişimsel ve cinsiyete bağlı bir arka plan beklenebilir. Biraz şaşırtıcı bir şekilde, Türkiye'deki yaban tavşanlarının diş yapısındaki oklüzal yüzeylerin katlanma ve plikasyonunun genel bireysel indeksi ne mekansal olarak değişti ne de modellerimize şu anda tanıtılan popülasyon genetiği veya gelişimsel faktörlerden açıkça etkilenmedi. Bu, yukarıdaki ifadeyi desteklemektedir; şu anda analiz edilen tüm oklüzal karakterler, bireylerin ontogenezi sırasında genel örüntü dışında, örneğin *Lepus* cinsinin birkaç türü için daha önce tanımlanan (örn. Angermann 1966), bir veya daha fazla tercih edilen morfortipte işlevsel olarak birleşmez.

Sonuç olarak, bu çalışmadaki çoklu model çıkarımları, tüm bireysel örnekleri analizlerde tutarak, Türkiye yaban tavşanlarındaki oklüzal karakter varyasyonunda filogenetik, ekogenetik ve gelişimsel etkiler arasında ayrım yapılmasını sağladı. Aksine, geleneksel olarak, metrik olmayan diş veya iskelet karakterlerinin çiftler halinde fenotipik farklılığının (yani MMD değerlerinin) hesaplamalarında, cinsiyet, yaş ve vücut büyüklüğü gibi diğer faktörler açısından istatistiksel olarak homojen olan örneklem kümeleri kullanılmış ve böylece örneklem boyutlarının azaltılması söz konusu olmuştur. Modelleme sonuçları, yaban tavşanlarında sadece kısmen daha önce Türkiye'deki tavşan popülasyonlarında bulunan genetik desene paralellik gösteren mekansal farklılaşmayı ve iklim etkisinden bağımsız olarak ek mekansal etkilere işaret etti. Ayrıca, bazı az sayıda oklüzal karakterin epigenetik varyasyonu üzerinde iklim etkileri de bu çalışmada gösterilebilmiştir. Dolayısıyla, Türkiye tavşanlarının oklüzal karakterleri için hem (mikro-) filogenetik hem de ekogenetik varyasyonun varlığı kanıtlanabilmiş olup, bazı karakterlerin varyasyonunun gelişimsel kaynaklı olma olasılığı da göz ardı edilememiştir.

KAYNAKLAR

Albayrak, I. ve Demirbas, Y. (2019). A new subspecies of *Lepus europaeus* Pallas, 1758 (Mammalia: Lagomorpha) from southeastern Turkey: *Lepus europaeus mursalogluiae* ssp. nov. *Munis Entomology and Zoology Journal*, 14(1), 28-35.

Alsaç, A. ve Demirbaş, Y. (Basımda). Türkiye 'de farklı habitatlarda yaşayan yaban tavşanı (*Lepus europaeus*) popülasyonlarının dış yüzeyi varyasyonları ve bu varyasyonların önemi. *Doğanın Sesi*.

Alves, P. C., Ferrand, N. ve Suchentrunk, F. (2001). Developmental stability and protein heterozygosity in a local population of Iberian hares (*Lepus granatensis*). *Mammalian Biology*, 66(4), 238-250.

Angermann, R. (1966). Beiträge zur Kenntnis der Gattung Lepus (Lagomorpha, Leporidae). I. Abgrenzung der Gattung Lepus. *Mitteilungen des Zoologischen Museums Berlin*, 42, 127-144.

Angermann, R. (1972). Die Hasentiere (in German). In: R. Altevogt, R. Angermann, H. Dathe, B. Grzimek, K. Herter, D. Müller-Using, U. Rahm, and E. Thenius (Eds.) *Grzimeks Tierleben* (ss. 419-465). Zürich: Enzyklopädie des Tierreichs.

Angermann, R. (1984). Intraspezifische Variabilität der Molarenmuster bei der Nordischen Wühlmaus (*Microtus oeconomus* [PALLAS, 1775]) (Mammalia, Rodentia, Microtinae). *Zoologische Abhandlungen des Museums für Tierkunde Dresden*, 39, 115-136.

Angermann, R. ve Feiler, A. (1988). Zur Nomenklatur, Artabgrenzung und Variabilität der Hasen (Gattung *Lepus*) im westlichen Afrika (Mammalia, Lagomorpha, Leporidae). *Zoologische Abhandlungen des Staatlichen Museums für Tierkunde Dresden*, 43, 149-167.

Barton, K. (2013). Multi-Model Inference. R Package Version 1.9.13. Available online: <http://CRAN.R-project.org/package=MuMIn>.

Baryshnikov, G. F. ve Potapova, O. R. (1990). Variability of the dental system in badgers (*Meles*, Carnivora) of the USSR. *Zoologicheskii Zhurnal*, 69(9), 84-97.

Berry, R. J. (1963). Epigenetic polymorphism in a wild population of *Mus musculus*. *Genetic Research Cambridge*, 4(2), 193-220.

Burnham, K. P. ve Anderson, D. R. (2002). Model selection and multimodal inference: A practical information-theoretic approach, (22nd edition). Springer.

Cabón-Raczyńska, K. (1964). Studies on the European hare. III. Morphological variation of the skull. *Acta Theriologica*, 9(17), 249-285.

Chapman, J. A. ve Flux, J. E. C. (2008). Lagomorpha Biology: Evolution, Ecology, and Conservation. Springer-Verlag Berlin Heidelberg.

Demirbaş, Y. (2010). Türkiye *Lepus* Linnaeus, 1758 Cinsinin Taksonomik Durumu. Doktora Tezi. *Kırıkkale Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü*, Kırıkkale.

Demirbaş, Y., Albayrak, İ. ve Yılmaz, A. (2013). Studies of ecomorphological variations of the European hare (*Lepus europaeus*) in Turkey. *Archives of Biological Sciences*, 65(2), 559-566.

Demirbaş, Y. (2015). Density of European hare and red fox in different habitats of Kırıkkale province (central Anatolia), with a low level in hare number and an expected correlation in spring. *Acta Zoologica Bulgarica*, 67(4): 515-520.

Demirbaş, Y., Albayrak, İ., Koca, A. Ö., Stefanović, M., Knauer, F. ve Suchentrunk, F. (2019). Spatial genetics of brown hares (*Lepus europaeus* Pallas, 1778) from Turkey: Different gene pool architecture on either side of the Bosphorus? *Mammalian Biology*, 94, 77-85.

Demirbaş, Y., Koca, A.Ö., Stefanović, M., Smith, S. ve Suchentrunk, F. (2023). Disentangling population genetic and climatic effects on skull size and shape of brown hares, *Lepus europaeus* (Lagomorpha: Leporidae), from Türkiye. *Zoologischer Anzeiger*, 307, 18-27.

Fladerer, F. ve Reiner, G. (1996). Evolutionary shifts in the first premolar pattern of *Hypolagus beremendensis* (Petenyi, 1864) (Lagomorpha, Mammalia) in the Plio-Pleistocene of Central Europe. *Acta Zoologica Cracoviensia*, 39(1), 147-160.

Forsyth Major, C. I. (1899). IX. On Fossil and Recent Lagomorpha. *Transactions of the Linnean Society of London. 2nd Series: Zoology*, 7(9), 433-520.

Gomes Rodrigues, H., Lefebvre, R., Fernández-Monescillo, M., Mamani Quispe, B. ve Billet, G. (2017). Ontogenetic variations and structural adjustments in mammals evolving prolonged to continuous dental growth. *Royal Society Open Science*, 4(7), 170494.

Gökaşan, E., Demirbağ, E., Oktay, F. Y., Ecevitoglu, B., Şimşek, M. ve Yüce, H. (1997). On the origin of the Bosphorus. *Marine Geology*, 1408(1-2), 183-199.

Gönençgil, B. ve Acar, Z. (2021). Turkey: Climate Variability, Extreme Temperature, and Precipitation. In: R.C. Lois-González (Eds.), *Geographies of Mediterranean Europe* (ss. 167-180) Cham: Springer, Nature Switzerland AG.

Harris, E. F. ve Sjøvold, T. (2004). Calculations of Smith's mean measure of divergence for intergroup comparisons using nonmetric data. *Dental Anthropology Journal*, 17(3), 83-93.

Hibbard, C. W. (1963). The origin of the P3 pattern of *Sylvilagus*, *Caprolagus* and *Lepus*. *Journal of Mammalogy*, 44(1), 1-15.

Hirakawa, H. (2001). Coprophagy in leporids and other mammalian herbivores. *Mammal Eview*, 31(1), 61-80.

Irish, J. D., Morez, I. A., Flink, L. G., Phillips, E. L. W. ve Scott, G. R. (2020). Do dental nonmetric traits actually work as proxies for neutral genomic data? Some answers from continental- and global-level analyses. *American Journal of Physical Anthropology*, 172(3), 357-375.

Kasapidis, P., Suchentrunk, F., Magoulas, A. ve Kotoulas, G. (2005). The shaping of mitochondrial DNA phylogeographic patterns of the brown hare (*Lepus europaeus*) under the combined influence of Late Pleistocene climatic fluctuations and anthropogenic translocations. *Molecular Phylogenetics and Evolution*, 34(1), 55-66.

Korablev, N. P., Szuma, E., Korablev, P. N. ve Zinoviev, A. V. (2017). Dental polymorphism of the raccoon dog in Indigenous and invasive populations: Internal and external causation. *Mammal Research*, 62, 163-177.

Korkmaz, D., Selvi, E., Yiğit, N. ve Çolak, E. (2024). Occlusal surface variations in genetically-identified specimens of the Genus *Apodemus* (Mammalia: Rodentia) distributed in the northern Anatolia region and three Turkish islands: Gökçeada, Marmara Island and Bozcaada. *Turkish Journal of Zoology*, 48(3), 165-176.

Kurtén, B. (1953). On the variation and population dynamics of fossil and recent mammal populations. *Acta Zoologica Fennica*, 76, 1-122.

Kurtén, B. (1967). Some quantitative approaches to dental microevolution. *Journal of Dental Research*, 46(5), 817-828.

Lopez-Martinez, N. (2008). The Lagomorph fossil record and the origin of the European rabbit. In: P. C. Alves, N. Ferrand. and K. Hackländer (Eds.), *Lagomorph biology: evolution, biology, and conservation* (ss. 27-46). Berlin: Springer Berlin Heidelberg.

Markova, E., Malygin, V., Montuire, S., Nadachowski, A., Quéré, J. P. ve Ochman, K. (2010). Dental variation in sibling species *Microtus arvalis* and *M. rossiaemeridionalis* (Arvicolinae, Rodentia): between-species comparisons and geography of morphotype dental patterns. *Journal of Mammalian Evolution*, 17, 121-139.

Nowak, R.M. (1999). *Walker's Mammals of the World* (6. Edition). Baltimore and London: The Johns Hopkins University Press.

Ossenberg, N. (1981). An argument for the use of total side frequencies of bilateral nonmetric skeletal traits in population distance analysis: The regression of symmetry on incidence. *American Journal of Biological Anthropology*, 54(4), 471-479.

Palacios, F., Angelone, C., Alonso, G. ve Reig, S. (2008). Morphological evidence of species differentiation within *Lepus capensis* Linnaeus, 1758 (Leporidae, Lagomorpha) in Cape Province, South Africa. *Mammalian Biology*, 73(5): 358-370.

Palacios, F. A. ve López, N. M. (1980). Morfología dentaria de las liebres europeas (Lagomorpha, Leporidae). *Donana, Acta Vertebrata*, 7, 61-81.

Palmer, A. R. ve Strobeck, C. (1986). Fluctuating asymmetry: Measurements, analysis, and patterns. *Annual Review of Ecology and Systematics*, 17, 391-421.

- Petter, F. (1961). Elements d'une révision des lievres européens et asiatiques due sous-genre *Lepus*. *Zeitschrift für Säugetierkunde*, 26, 30-40.
- R Core Team (2021). R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. <https://www.R-project.org/>.
- Renner, M. (1980). *Leitfaden für das zoologische Praktikum*. Stuttgart: Fischer Verlag.
- Rice, W. S. (1989). Analyzing tables of statistical tests. *Evolution*, 43, 223-225.
- Roest, A. I. (1991). *A key-guide to mammal skulls and lower jaws*. California: Mad Rever Press.
- Romero-Palacios, A. ve Cervantes, F. (2012). Comparación del esmalte dental de los molariformes en las liebres mexicanas. *Therya*, 3(2), 207-222.
- Ruedas, L. A. (1998). Systematics of *Sylvilagus* Gray, 1867 (Lagomorpha:Leporidae) from Southwestern North America. *Journal of Mammalogy*, 79, 1355-1378.
- Santos, F. (2018). AnthroMMD: An R package with a graphical user interface for the mean measure of divergence. *American Journal of Physical Anthropology*, 165, (1), 200- 205.
- Schmidtberger, L. M. (2015). Analysis of the heritability of dental traits in European hare (*Lepus europaeus*). Master thesis. *University of Life Sciences and Natural Resources*, Vienna.
- Sert, H., Suchentrunk, F. and Erdoğan, A. (2005). Genetic diversity within Anatolian brown hares (*Lepus europaeus* Pallas, 1778) and differentiation among Anatolian and European populations. *Mammalian Biology*, 70, 171-186.
- Sert, H. (2006). Akdeniz ve Güneydoğu Anadolu Bölgesi ile Orta Avrupa, Ortadoğu ve Güney Afrika Yaban Tavşanı Populasyonlarında Ekomorfolojik ve Moleküler Varyasyonlar (Lagomorpha: *Lepus*). Doktora Tezi. *Akdeniz Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Antalya.
- Sikorski, M. D. (1982). Non-metrical divergence of isolated populations of *Apodemus agrarius* in urban areas. *Acta Theriologica*, 27(13), 169-180.

Sikorski, M. D. ve Bernshtein, A. D. (1984). Geographical and intrapopulation divergence in *Clethrionomys glareolus*. *Acta Theriologica*, 29(17), 219-230.

Sjøvold, T. (1977). Non-metrical divergence between skeletal populations. *Ossa*, 4 (suppl. 1), 1-133.

Stamatis, C., Suchentrunk, F., Moutou, K. A., Giacometti, M., Haerer, M., Djan, M., Vapa, L., Vukovic, M., Tvrtkovic, N., Sert, H., Alves, P. C. ve Mamuris, Z. (2009). Phylogeography of the brown hare (*Lepus europaeus*) in Europe: a legacy of south-eastern Mediterranean refuge? *Journal of Biogeography*, 36, 515-528.

Stroh, G. (1931). Zwei sichere Altersmerkmale beim Hasen. *Berliner Tierärztliche Wochenschrift*, 12, 180-181.

Suchentrunk, F. (1993). Variability of minor tooth traits and allozymic diversity in brown hares *Lepus europaeus* populations. *Acta Theriologica*, 38(suppl.2), 59-69.

Suchentrunk, F., Willing, R. ve Hartl, G.B. (1994). Non-metrical polymorphism of the first lower premolar (P3) in Austrian brown hares (*Lepus europaeus*): A study on regional differentiation. *Journal of Zoology*, 232(1), 79-91.

Suchentrunk, F. ve Flux, J. E. C. (1996). Minor dental traits in East African Cape hares and Savanna hares (*Lepus capensis* and *Lepus victoriae*): A study of intra- and interspecific variability. *Journal of Zoology*, 238(3), 495-511.

Suchentrunk, F., Alkon, P. U., Willing, R. ve Yom-Tov, Y. (2000). Epigenetic dental variability of Israeli hares (*Lepus* sp.): Ecogenetic or phylogenetic causation? *Journal of Zoology*, 252(4), 503-515.

Suchentrunk, F. (2000). Epigenetic dental asymmetry of Israeli hares: developmental stability along an environmental gradient. *Israel Journal of Ecology and Evolution*, 46(2), 103-118.

Suchentrunk, F. (2004). Phylogenetic relationships between Indian and Burmese hares (*Lepus nigricollis* and *L. peguensis*) inferred from epigenetic dental characters. *Mammalian Biology*, 69(1), 28-45.

Suchentrunk, F. ve Davidovic, M. (2004). Evaluation of the classification of the Indian hares (*Lepus nigricollis*) into the genus *Indolagus* Gureev, 1953 (Leporidae, Lagomorpha). *Mammalian Biology*, 69(1), 46-57.

Sych, L. (1965). Fossil Leporidae from the Pliocene and Pleistocene of Poland. *Acta Zoolologica Cracoviensis*, 10, 1-83.

Sych, L. ve Sych, B. (1977). Serial tooth homology in ontogeny and evolution of the third lower premolar in Lagomorphs. *Folia Biologica*, 25(4), 382-389.

Szuma, E. (2007). Geography of dental polymorphism in the red fox *Vulpes vulpes* and its evolutionary implications. *Biological Journal of the Linnean Society*, 90(1), 61-84.

Thenius, E. (1989). Zähne und Gebiß der Säugetiere. In: J. Niethammer, H. Schliemann, and D. Starck (Eds.), *Handbuch der Zoologie VIII Mammalia, 3.11 Lagomorpha (Hasenartige)* (s. 221-232). Berlin: W. de Gruyter.

Thorpe, R. S., Brown, R. P., Malhotra, A. ve Wuster, W. (1991). Geographic variation and population systematics: distinguishing between ecogenetics and phylogenetics. *Bolletino Di Zoologico*, 58(4), 329-335.

Van Valen, L. (1962). A study on fluctuating asymmetry. *Evolution*, 16, 125-142.

Yaltirak, C., Alpar, B., Sakinc, M. ve Yuce, H. (2000). Origin of the strait of Çanakkale (Dardanelles): regional tectonics and the Mediterranean-Marmara incursion. *Marine Geology*, 164, 139-156.

Yavuz, G., Eyison, H. M., Kivanc, E., Selvi, E., Yiğit, N. ve Çolak, E. (2023). The importance of shape analysis of the first upper molar in the separation of two subspecies of the Hazel dormouse (*Muscardinus avellanarius* (Linnaeus, 1758)) in Northern Anatolia. *Turkish Journal of Zoology*, 47(3), 182-190.

Zakharov, V. M. (1981). Fluctuating asymmetry as an index of developmental homeostasis. *Genetika*, 13, 241-256.

Zuercher, M. E., Nonson, T. A., Dvoretzky, R. R., Ravindramurthy, S. ve Hlusko, L. J. (2021). Dental variation in megabats (Chiroptera: Megapodidae): tooth metrics correlate with body size and tooth proportions reflect phylogeny. *Journal of Mammalian Evolution*, 28, 543-5