



T.C.
VAN YÜZÜNCÜ YIL ÜNİVERSİTESİ
SAĞLIK BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ



**HAKKARİ İLİ YÜKSEKOVA İLÇESİNDEKİ AKKARAMAN
KOYUNLARINDA BETA LAKTOGLOBULİN VE KALPASTATİN
GEN POLİMORFİZMİNİN PCR-RFLP YÖNTEMİYLE
BELİRLENMESİ**

Veteriner Hekim Ömer Kürşat KAYAPINAR
ZOOTEKNİ ANABİLİM DALI
(VETERİNER PROGRAMI)
YÜKSEK LİSANS TEZİ

DANIŞMAN
Dr. Öğr. Üyesi Ahmet Fatih DEMİREL

VAN-2025

T.C.
VAN YÜZÜNCÜ YIL ÜNİVERSİTESİ
SAĞLIK BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**HAKKARİ İLİ YÜKSEKOVA İLÇESİNDEKİ AKKARAMAN
KOYUNLARINDA BETA LAKTOGLOBULİN VE KALPASTATİN
GEN POLİMORFİZMİNİN PCR-RFLP YÖNTEMİYLE
BELİRLENMESİ**

Veteriner Hekim Ömer Kürşat KAYAPINAR
ZOOTEKNİ ANABİLİM DALI
(VETERİNER PROGRAMI)
YÜKSEK LİSANS TEZİ

DANIŞMAN
Dr. Öğr. Üyesi Ahmet Fatih DEMİREL

KABUL VE ONAY

V



ETİK BEYAN

T.C.
VAN YÜZÜNCÜ YIL ÜNİVERSİTESİ
SAĞLIK BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ MÜDÜRLÜĞÜ'NE

Yüksek Lisans tezi olarak hazırlayıp sunduğum “*Hakkari İli Yüksekova İlçesindeki Akkaraman Koyunlarında Beta Laktoglobulin ve Kalpastatin Gen Polimorfizminin PCR-RFLP Yöntemiyle Belirlenmesi*” başlıklı tezim; bilimsel ahlak ve değerlere uygun olarak tarafımdan yazılmıştır. Tezimin fikir/hipotezi tümüyle tez danışmanım ve bana aittir. Tezde yer alan deneysel çalışma/araştırma tarafımdan yapılmış olup, tüm cümleler, yorumlar bana aittir. Bu tezdeki bütün bilgiler akademik kurallara ve etik ilkelere uygun olarak hazırlanıp, bu kural ve ilkeler gereği, çalışmada bana ait olmayan tüm veri, düşünce ve sonuçlara atıf yapılmış ve kaynak gösterilmiştir. Yukarıda belirtilen hususların doğruluğunu beyan ederim.

Öğrencinin Adı Soyadı: Ömer Kürşat KAYAPINAR

Tarih: 08/08/2025

İmza:

TEŞEKKÜR

Bu tez çalışmasında, her türlü bilgi ve desteğini esirgemeyen danışman hocam Sayın Dr. Öğr. Üyesi Ahmet Fatih DEMİREL'e, Zootekni Anabilim Dalı Öğretim Üyeleri Sayın Prof. Dr. Orhan YILMAZ'a, Sayın Prof. Dr. Bahattin ÇAK'a, Sayın Doç. Dr. Muğdat YERTÜRK'e, tez jüri üyesi Doç. Dr. Davut BAYRAM'a, desteklerini her zaman yanımda hissettiğim değerli eşim Banu Hilal KAYAPINAR'a, aileme ve mesai arkadaşım Veteriner Hekim Dr. Sabiha Gülanar ASLAN'a katkılarından dolayı teşekkürlerimi sunarım.



ÖZET

Kayapınar ÖK, Hakkari İli Yüksekova İlçesindeki Akkaraman Koyunlarında Beta Laktoglobulin ve Kalpastatin Gen Polimorfizminin PCR-RFLP Yöntemiyle Belirlenmesi, Van Yüzüncü Yıl Üniversitesi, Sağlık Bilimleri Enstitüsü, Zootekni Anabilim Dalı, Yüksek Lisans Tezi, Van, 2025. Bu çalışma, Akkaraman koyunlarında beta laktoglobulin (BLG) ve kalpastatin (CAST) gen polimorfizminin PCR-RFLP yöntemiyle belirlenmesi amacıyla yapılmıştır. Çalışmanın materyalini Hakkari ili Yüksekova ilçesinde faaliyet gösteren özel bir koyunculuk işletmesinde yetiştirilen yaşları 2 ve 5 arasında değişen 100 baş Akkaraman koyunu oluşturmuştur. Koyunların boyun toplar damarından EDTA'lı tüplere 9 ml kan alınmıştır. Alınan kan numunelerinden hazır ticari kitler vasıtasıyla DNA örnekleri izole edilmiştir. BLG ve CAST genlerinin hedef DNA bölgesi PCR ile amplifiye edilmiştir. Elde edilen PCR ürünleri, BLG ve CAST genlerinin genotiplerinin belirlenmesi için sırasıyla *RsaI* ve *MspI* restriksiyon enzimleriyle kesilmiştir. Kesilen fragmentler %2'lik agaroz jel elektroforezinde yürütülmüştür. Fragmentler, UV ışık altında görüntülenmiştir. Gen ve genotip frekansları doğrudan sayım metodu ile hesaplanmıştır. Popülasyonun Hardy-Weinberg dengesinde olup olmadığını kontrol etmek için ise ki-kare (χ^2) testi kullanılmıştır. Çalışmada, BLG geninin AA, AB ve BB genotiplerinin frekansları sırasıyla %23.0, 68.0 ve 9.0, A ve B allellerinin frekansları ise sırasıyla %57.0 ve 43.0 olarak tespit edilmiştir. CAST geninin MM, MN ve NN genotiplerinin frekansları sırasıyla %61.0, 34.0 ve 5.0, M ve N allellerinin frekansları ise sırasıyla %78.0 ve 22.0 olarak tespit edilmiştir. Akkaraman koyun popülasyonunun CAST geni bakımından Hardy-Weinberg dengesinde olduğu ancak BLG geni bakımından dengede olmadığı gözlenmiştir. Sonuç olarak, Akkaraman koyun popülasyonunda BLG geninin heterozigot AB genotipinin daha yaygın olduğu, CAST geninde ise homozigot MM geninin daha yaygın olduğu gözlenmiştir. Akkaraman koyunlarında BLG ve CAST genlerinin popülasyon içi dağılımı, bu ırkın ıslah potansiyeli açısından önemli bir genetik kaynak sunduğunu ortaya koymuştur.

Anahtar kelimeler: Akkaraman Koyunu, Beta Laktoglobulin, Kalpastatin, PCR-RFLP.

ABSTRACT

Kayapınar ÖK, Determination of Beta Lactoglobulin and Calpastatin Gene Polymorphism by PCR-RFLP Method in Akkaraman Sheep in Yüksekova District of Hakkari Province, Institute of Health Sciences, Department of Zootechnics, M.Sc. Thesis, Van, 2025. This study was carried out to determine beta lactoglobulin (BLG) and calpastatin (CAST) gene polymorphism in Akkaraman sheep by PCR-RFLP method. The material of the study consisted of 100 Akkaraman ewes aged between 2 and 5 years, which were raised in a private sheep farming enterprise operating in Yüksekova district of Hakkari province. A total of 9 ml of blood was taken from the vein of the sheep's neck into tubes with EDTA. DNA samples were isolated from the blood samples using commercial ready-made kits. The target DNA region of BLG and CAST genes were amplified by PCR. The PCR products were cut with *RsaI* and *MspI* restriction enzymes to determine the genotypes of BLG and CAST genes, respectively. The restriction fragments were run on 2% agarose gel electrophoresis. Fragments were visualised under UV light. Gene and genotype frequencies were calculated by direct counting method. Chi-square (χ^2) test was used to check whether the population was in Hardy-Weinberg equilibrium. In the study, the frequencies of AA, AB and BB genotypes of BLG gene were found to be 23.0, 68.0 and 9.0 %, respectively, and the frequencies of A and B alleles were 57.0 and 43.0 %, respectively. The frequencies of MM, MN and NN genotypes of CAST gene were 61.0, 34.0 and 5.0 %, respectively, and the frequencies of M and N alleles were 78.0 and 22.0 %, respectively. It was observed that Akkaraman sheep population was in Hardy-Weinberg equilibrium in terms of CAST gene, but not in equilibrium in terms of BLG gene. As a result, it was observed that heterozygous AB genotype of BLG gene was more common in Akkaraman sheep population and homozygous MM gene was more common in CAST gene. The distribution of BLG and CAST genes within the Akkaraman sheep population revealed that this breed has significant breeding potential.

Key words: Akkaraman Sheep, Beta Lactoglobulin, Calpastatin, PCR-RFLP.

İÇİNDEKİLER

Kabul ve Onay	II
Etik Beyan.....	III
Teşekkür.....	IV
Özet.....	V
Abstract.....	VI
İçindekiler	VII
Simgeler ve Kısaltmalar.....	IX
Şekiller Listesi	X
Tablolar Listesi	XI
1. GİRİŞ	1
2. GENEL BİLGİLER	4
2.1. Dünyada Koyun Yetiştiriciliği	4
2.2. Türkiye’de Koyun Yetiştiriciliği.....	5
2.2.1. Hakkari’de koyun yetiştiriciliği.....	8
2.3. Akkaraman Koyunu	11
2.4. Koyunlarda Beta Laktoglobulin Geni	14
2.5. Koyunlarda Kalpastatin Geni	17
2.6. PCR-RFLP Metodu.....	21
3. GEREÇ VE YÖNTEM.....	25
3.1. Gereç	25
3.2. Yöntem.....	25
3.2.1. Dna İzolasyonu.....	25
3.2.2. Pcr-Rflp	26
3.3. İstatistiksel Analiz	28
4. BULGULAR.....	29
4.1. Beta Laktoglobulin (Blg) Genine Ait Bulgular.....	29
4.2. Kalpastatin (Cast) Genine Ait Bulgular	31
5. TARTIŞMA VE SONUÇ	33
KAYNAKLAR	38
ÖZGEÇMİŞ	44

EKLER.....	45
Ek 1. Etik Kurul Raporu.....	45
Ek 2. Tez Orijinallik Raporu.....	46



SİMGELER VE KISALTMALAR

°C	: Celsius
Bç	: Baz Çifti
BLG	: Beta Laktoglobulin
CAST	: Kalpastatin
DNA	: Deoksiriboz Nükleik Asit
FAOSTAT	: Food and Agriculture Organization Statics
Ha	: Hektar
kDa	: Kilodalton
Kg	: Kilogram
Km²	: Kilometre Kare
mL	: Mililitre
PCR-RFLP	: Polymerase Chain Reaction-Restricition Fragment Length Polymorphism
PCR-SSCP	: Polymerase Chain Reaction-Single Strand Conformation Polymorphism
TAGEM	: Tarımsal Araştırmalar Genel Müdürlüğü
TÜİK	: Türkiye İstatistik Kurumu
χ^2	: Ki-kare

ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 1.	Dünya çapında küçükbaş hayvanların ülkelere göre dağılımı.....	5
Şekil 2.	Türkiye’de yıllara göre küçükbaş hayvan sayısının değişimi.....	6
Şekil 3.	Hakkari ili yıllara göre küçükbaş hayvan sayıları.....	9
Şekil 4.	Merada otlayan Akkaraman koyunları.....	12
Şekil 5.	DNA zincirinin açılması (denatürasyon).....	22
Şekil 6.	Primerlerin açılan DNA zincirlerine yapışması.....	22
Şekil 7.	Uzama fazı.....	23
Şekil 8.	BLG geninin 236 bp’lik PCR ürünlerinin agaroz jel görüntüsü.....	28
Şekil 9.	BLG geninin kesim sonrası agaroz jel görüntüsü.....	29
Şekil 10.	Akkaraman koyunlarına ait CAST geninin 622 bp’lik PCR ürünlerinin agaroz jel görüntüsü.....	30
Şekil 11.	CAST geninin kesim sonrası agaroz jel görüntüsü.....	31

TABLÖLAR LİSTESİ

Tablo 1.	Türkiye’de kesilen küçükbaş hayvan sayısı ve et üretim miktarı.	7
Tablo 2.	Akkaraman koyunlarının bazı özellikleri.....	11
Tablo 3.	Bazı koyun ırklarında BLG geninin genotip frekansları.....	17
Tablo 4.	Bazı koyun ırklarında CAST geninin genotip frekansları.....	21
Tablo 5.	Çalışmada kullanılan cihazlar.....	24
Tablo 6.	Çalışmada değerlendirilen genlerin tanımı.....	25
Tablo 7.	BLG ve CAST genlerine ait ileri ve geri primerler, PCR fragment uzunlukları ve bağlanma sıcaklıkları.....	25
Tablo 8.	Kesim sonucu oluşan allel uzunlukları.....	27
Tablo 9.	BLG genine ait allel ve genotip frekanslar.....	29
Tablo 10.	CAST genine ait allel ve genotip frekanslar.....	31

1. GİRİŞ

Küçükbaş hayvancılık, dünya genelinde ve özellikle Türkiye gibi tarım ve hayvancılığın önemli bir geçim kaynağı olduğu ülkelerde ekonomik ve sosyal açıdan büyük bir öneme sahiptir. Koyunculuk sektörü, yalnızca et ve süt üretimi açısından değil, aynı zamanda yün ve deri gibi yan ürünlerin sağlanması bakımından da kırsal kalkınmanın desteklenmesinde kritik bir rol oynamaktadır. Türkiye'nin farklı coğrafi bölgelerine uyum sağlamış çok sayıda yerli koyun ırkı bulunmakta olup, bunlar arasında Akkaraman koyunu, Orta Anadolu Bölgesi'nde yaygın yetiştirilen ve çevresel stres koşullarına adaptasyon kabiliyeti yüksek bir yerli ırk olarak öne çıkmaktadır.

Türkiye'deki yerli koyun ırkları arasında Akkaraman koyunu, diğer yağlı kuyruklu koyunlar gibi kurak ortamlara uygun olması ve düşük kaliteli meralardan yararlanmasını sağlayan özellikleri nedeniyle en yaygın yağlı kuyruklu koyunlardan biridir (Arzik ve ark., 2022). Akkaraman koyunları, dayanıklılıkları, düşük bakım ve besleme gereksinimleri ile dikkat çekmekte; buna karşılık et ve süt verimleri bakımından ıslah çalışmaları ile geliştirilmeye açık bir potansiyele sahiptir. Hayvancılıkta verimliliğin artırılması amacıyla, genetik düzeyde yapılacak çalışmalar büyük önem taşımaktadır. Özellikle süt ve et verimi gibi ekonomik özelliklerin genetik temellerinin anlaşılması, seleksiyon programlarının daha etkin yürütülmesine katkı sağlamaktadır.

Hayvan ıslahında, kantitatif karakterler yönünden yüksek genetik kapasiteye sahip bireylerin damızlık olarak seçilmesi önemli bir sorundur (Dybus, 2002). Yapılan klasik seleksiyon yöntemleri uzun zaman, yoğun emek ve yüksek maliyet gerektirmelerine karşılık yavaş bir genetik ilerleme sağlar. Ancak bu zamana kadar yapılan çalışmalar sayesinde bireylerin genetik potansiyeli genç yaşta öğrenilmiş olup genetik markörlerden yararlanmayı mümkün hale getirmiştir (Kabasakal ve ark., 2015).

Beta laktoglobulin (BLG) ve Kalpastatin (CAST) genleri, hayvansal verim özellikleriyle ilişkili önemli genler arasında yer almaktadır. BLG geni, süt protein fraksiyonlarından biri olan beta laktoglobulin üretiminden sorumludur ve süt verimi ile süt bileşimi üzerinde etkili olduğu bilinmektedir. CAST geni ise kas proteinlerinin yıkımını düzenleyen bir inhibitör olarak görev yapar ve et kalitesi, özellikle de etin yumuşaklığı ile doğrudan ilişkilidir.

Süt, doğumdan sonra memelilerin meme bezlerinde üretilir ve yavrular için birincil besin kaynağıdır. Mineraller, laktoz, yağ ve protein gibi çeşitli katı bileşenlerden oluşur. Süt proteinleri kazeinler ve peynir altı suyu proteinleri olmak üzere iki kategoride gruplandırılabilir (Bodnár ve ark., 2018; Çak ve ark., 2025). Peynir altı suyu proteinlerinden biri olan beta laktoglobulinin A, B ve C olmak üzere üç alleli olduğu ve süt proteinleri polimorfizmi ile sütün teknolojik işlem prosesleri bakımından anlamlı farklılıklar olabileceği ifade edilmiştir (Anton ve ark., 1999). BLG'yi kodlayan gen koyun, inek ve keçi de sekans edilmiştir. Koyunda 3. kromozom üzerinde keçi ve inekte 11. kromozom üzerinde yer almaktadır. BLG polimorfizmleri bazı türlerde belirlenmiştir. Koyunlarda 3 adet bir veya birden fazla aminoasit yerleşimine bağlı farklılık gösteren kodominant allel bilinmektedir (Mele ve ark., 2007). BLG geninin süt verimi, bileşimi ve reolojik özelliklerinin değerlendirilmesi için potansiyel moleküler belirteçler barındırdığı tespit edilmiştir. BLG genindeki bu polimorfizmler, daha fazla araştırma için umut verici bir yol sunmaktadır. Çalışmalar BLG geninin süt verimi ve bileşimi ile anlamlı bir ilişki ortaya koymuş ve AB genotipinin yüksek süt verimi ile ilişkili olduğunu, AA genotipinin ise yağ içeriğinin daha yüksek olduğunu bildirmiştir (Malik ve ark., 2024).

Çiftlik hayvanlarında ekonomik özellikler ile ilişkili birçok kantitatif özellik lokusu tespit edilmiştir, bunlardan biri de koyunlarda beşinci kromozom üzerinde bulunan kalpastatin genidir (Surov ve ark. 2023). Kalpainler, endojen bir inhibitör olan kalpastatin tarafından inhibe edilir. Kalpainler, protein yıkımı, kas büyümesi ve miyoblast füzyonu dahil olmak üzere kaslarda birçok biyolojik rolden sorumlu sistein proteinazlardır (Maddock Carlin ve ark., 2024). Et kalitesi ile ilişkili CAST geninin polimorfizmi, sığır, keçi ve koyun dahil olmak üzere çeşitli çiftlik hayvanlarında kaydedilmiştir (Sacca ve ark., 2019).

Kalpastatin proteini moleküler seviyede 76 kDa ağırlığındadır ve 5 domainden oluşmaktadır (Suleman ve ark., 2012). CAST geni 29 ekzondan oluşur ve toplam 89.553 bp büyüklüğündedir (Palmer ve ark., 1998). PCR-RFLP metodu kullanılarak yapılan önceki çalışmalarda koyun CAST geninde 2 allel (M ve N) (Sutikno ve ark., 2011; Palmer ve ark., 1998), PCR-SSCP metodu kullanılarak yapılan çalışmalarda ise 3 allel (A, B, C) tanımlanmış ve C alleli ile et kalite özellikleri (görünüş, renk, tat, koku, yağ içeriği, tekstür, yumuşaklık vb.) arasındaki ilişki olduğu bildirilmiştir (Schenkel ve ark., 2006).

Ayrıca, Kalpastatin seviyesindeki artış kalpain aktivitesinin düşmesine neden olur. Bu durum ise kas protein degradasyonunu artırarak kas büyüme oranını azaltmakta veya kesim sonrası etin yumuşamasını hızlandırmaktadır (Goll ve ark., 1998).

Genetik polimorfizmlerin belirlenmesi için kullanılan yöntemlerden biri olan polimeraz zincir reaksiyonu - kısıtlama fragment uzunluk polimorfizmi (PCR-RFLP) tekniği, hızlı, güvenilir ve maliyet etkin bir yöntem olması nedeniyle tercih edilmektedir. Bu yöntem, belirli gen bölgelerinde meydana gelen varyasyonların tespit edilmesine olanak sağlayarak, bireyler arasındaki genetik farklılıkların ortaya konulmasına yardımcı olmaktadır.

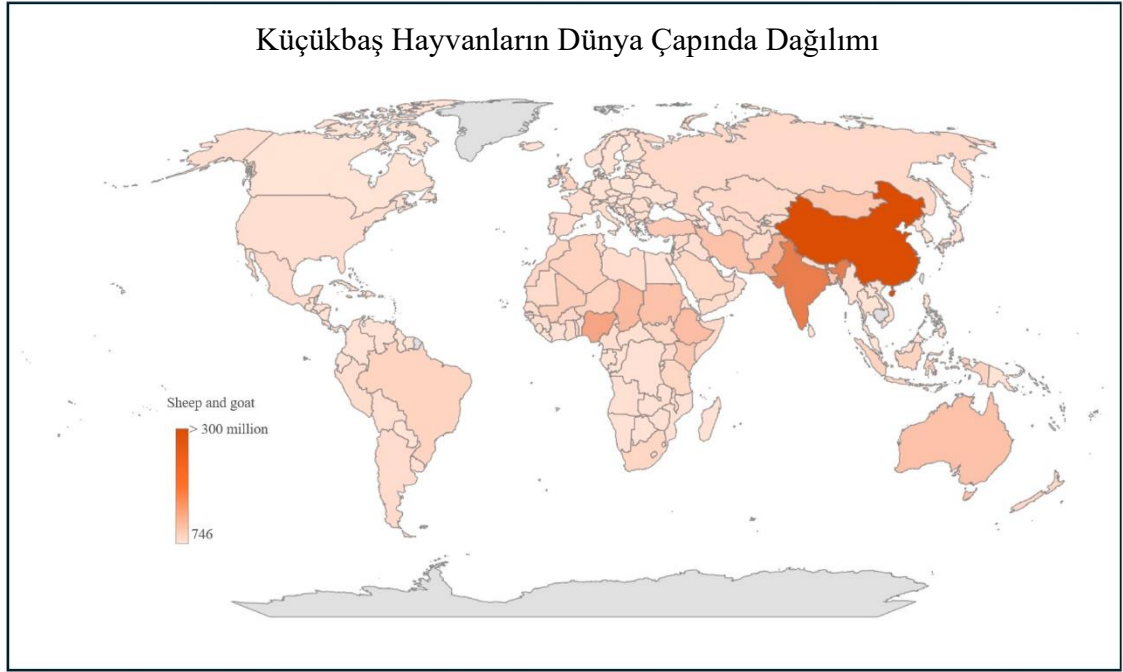
Bu çalışmada, Hakkari ili Yüksekova ilçesinde özel bir koyunculuk işletmesinde yetiştirilen Akkaraman koyunlarında BLG ve CAST genlerine ait polimorfizmlerin PCR-RFLP yöntemi kullanılarak belirlenmesi amaçlanmıştır. Elde edilen bulguların, Akkaraman koyunlarının genetik yapısının daha iyi anlaşılmasına ve ileriye dönük ıslah programlarında kullanılabilecek genetik materyalin tanımlanmasına katkı sağlaması hedeflenmektedir.

2. GENEL BİLGİLER

2.1. Dünyada Koyun Yetiştiriciliği

Koyunlar, et, süt, yün ve deri gibi çeşitli ürünleri en az maliyetle sağladıklarından dolayı kırsal ekonomilerin temel unsurlarından biridir. Ayrıca, çevresel koşullara adaptasyon kabiliyeti sayesinde koyunlar, çöl bölgelerinden dağlık alanlara kadar farklı coğrafyalarda yetiştirilebilmektedir.

Koyun, dünyada ilk evcilleştirilen hayvan türlerinden biri olup, yaklaşık 11.000 yıl önce Güneybatı Asya'da Asya Muflonu'ndan (*Ovis orientalis*) evcilleştirilmiştir. Evcilleşme süreci boyunca yapay ve doğal seleksiyonun etkisiyle çeşitli morfolojik ve genetik farklılıklar gelişmiş ve çok sayıda yerli ırk ortaya çıkmıştır. Dünya genelinde koyun yetiştiriciliği, et, süt, yün ve deri üretimi açısından önemli bir tarım faaliyeti olarak öne çıkmakta; Asya, Afrika ve Avrupa başta olmak üzere birçok kıtada yaygın olarak yapılmaktadır (Nosrati ve ark., 2021; FAOSTAT, 2022; Primi ve ark., 2025). Avrupa Birliği ülkeleri, hayvan refahı ve sürdürülebilir üretim politikaları ile koyunculuğu desteklemektedir. Avustralya ve Yeni Zelanda ise Merinos ırkları üzerinden yüksek kaliteli yün üretimiyle küresel pazarda rekabet avantajı sağlamaktadır. Çin hem nüfusun yoğunluğu hem de coğrafi çeşitliliği sayesinde et ve yün üretiminde büyük bir paya sahiptir. Orta Doğu ve Afrika ülkelerinde ise koyun yetiştiriciliği çoğunlukla göçebe ve yarı-göçebe üretim modelleriyle sürdürülmekte, bölgenin kurak ve yarı kurak iklimine uyum sağlamış yerli ırklar kullanılmaktadır. Avrupa Birliği ülkeleri, hayvan refahı ve sürdürülebilir üretim politikaları ile koyunculuğu desteklemektedir.



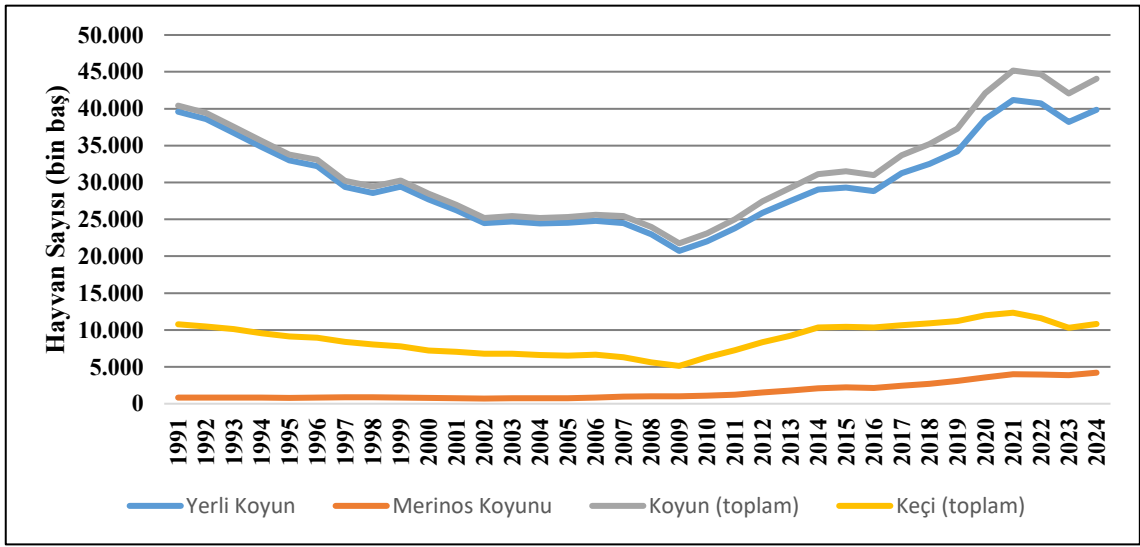
Şekil 1. Dünya çapında küçükbaş hayvanların ülkelere göre dağılımı, (746 baştan 300 milyon başa kadar değişmekte olup, renk gradyanları ile temsil edilmektedir) (FAOSTAT, 2022; Primi ve ark., 2025).

Dünya genelinde koyun yetiştiriciliği, et, süt, yün ve deri üretimi açısından önemli bir tarım faaliyeti olarak öne çıkmakta; Asya, Afrika ve Avrupa başta olmak üzere birçok kıtada yaygın olarak yapılmaktadır. Küçükbaş hayvanların dünya nüfusunun 1.322 milyar koyun ve 1.145 milyar keçi olmak üzere 2.467 milyar baş olduğu tahmin edilmektedir (FAOSTAT, 2022). Şekil 1’de gösterildiği gibi, koyun ve keçilerin sırasıyla %45.8 ve %50.7’si ile Asya en büyük paya sahipken, onu Afrika (koyunların %31.7’si; keçilerin %44.2’si), Avrupa (koyunların %9.1’i; keçilerin %1.3’ü), Amerika (koyunların %6.2’si; keçilerin %3.4’ü) ve Okyanusya (koyunların %7.2’si; keçilerin %0.4’ü) takip etmektedir. Ancak, dağlık bölgelerde yetiştirilen küçükbaş hayvanların spesifik popülasyonu hakkında hiçbir veri mevcut değildir (FAOSTAT, 2022; Primi ve ark., 2025).

2.2. Türkiye’de Koyun Yetiştiriciliği

Türkiye, doğal ve iklim yapısı ile koyun varlığı yönünden zengin bir ülkedir. Orta Anadolu, Doğu Anadolu ve Güneydoğu Anadolu bölgelerinde yağış yetersizliği, bitkisel üretimin genellikle hububata dayanması, yağış miktarının az olması ve nadas sisteminin

yaygın olması gibi sebepler bu bölgelerde koyun varlığının artmasına sebep olmuştur. (Dağıstan ve ark., 2008). Küçükbaş hayvanlar içinde, koyun sayısı 2024 yılı haziran ayı sonu itibarı ile 2023 yılı aralık ayına göre %3.2 artmıştır ve koyun sayısı 43 milyon 394 bin baş, keçi sayısı ise %2.6 artarak 10 milyon 571 bin baş olarak tespit edilmiştir (Şekil 2). Ülkemizde koyun yetiştiriciliği, çiftlik hayvanı yetiştiriciliği içinde %60'lık bir paya sahiptir. (Büyüktekin ve Öztürk, 2018; Gül ve ark., 2022). Koyun yetiştiriciliğinde et üretimi kadar, koyun sütü ve süt ürünleri üretimi önemli yer tutmaktadır (TÜİK, 2024)



Şekil 2. Türkiye’de yıllara göre küçükbaş hayvan sayısının değişimi (TÜİK, 2025).

Türkiye’de koyun yetiştiriciliği, hayvancılık sektörünün önemli bir bileşeni olarak öne çıkmaktadır. 2024 yılı itibarıyla, Türkiye’deki koyun sayısı bir önceki yıla göre %4.8 artarak 44 milyon 81 bin başa ulaşmıştır. Bu artış, küçükbaş hayvancılığın hem ekonomik hem de kırsal kalkınma açısından önemini ortaya koymaktadır. Ancak, süt üretimi açısından değerlendirildiğinde, 2024 yılında çiğ süt üretimi genel olarak %4.7 artarak 22 milyon 487 bin 757 tona ulaşmış olsa da, koyun sütü üretiminde düşüş yaşanmıştır. Bu durum, koyun sütü üretiminin toplam süt üretimi içindeki payının azaldığını göstermektedir. Hayvan türlerine göre Türkiye’deki çiğ süt üretimi (ton) ve koyun sütünün üretimdeki payı Tablo 1’de verilmiştir.

Tablo 1. Hayvan Türlerine göre Türkiye’deki çiğ süt üretimi (ton) ve koyun sütünün üretimdeki payı (TÜİK, 2025).

Yıl	İnek	Manda	Koyun	Keçi	Toplam	Koyun Sütü Payı (%)
2020	21 749 342	63 767	1 101 065	589 617	23 503 790	4.68
2021	21 370 116	63 643	1 143 762	622 785	23 200 306	4.93
2022	19 912 135	43 589	1 067 342	540 426	21 563 492	4.95
2023	19 961 908	43 025	933 576	543 058	21 481 567	4.35
2024	21 040 442	58 122	906 945	482 247	22 487 757	4.03

Türkiye’de kesilen küçükbaş hayvan sayısı ve et üretim miktarı Tablo 2’de sunulmuştur.

Tablo 2. Türkiye’de kesilen küçükbaş hayvan sayısı ve et üretim miktarı (TÜİK, 2025).

Yıl	Koyun		Keçi	
	Kesilen hayvan sayısı (Baş)	Et üretim miktarı (Ton)	Kesilen hayvan sayısı (Baş)	Et üretim miktarı (Ton)
2001 ^(r)	12 450 811	225 555	3 135 214	57 537
2002 ^(r)	11 755 374	219 311	2 977 773	57 707
2003 ^(r)	11 052 075	204 441	2 889 651	56 820
2004 ^(r)	10 725 580	190 105	2 837 242	52 460
2005 ^(r)	10 731 398	190 539	2 801 617	50 492
2006 ^(r)	10 704 436	187 236	2 748 395	48 906
2007 ^(r)	10 792 554	191 428	2 755 379	50 712
2008 ^(r)	10 826 034	192 647	2 706 994	50 254
2009 ^(r)	10 477 951	188 496	2 487 218	46 240
2010 ^(r)	9 691 041	186 121	2 244 760	42 846
2011 ^(r)	10 700 807	210 171	2 391 246	44 840
2012 ^(r)	10 755 777	220 359	2 841 307	53 133
2013 ^(r)	11 194 725	236 186	3 273 444	59 532
2014 ^(r)	11 991 640	238 670	3 681 199	63 711
2015 ^(r)	12 808 697	249 863	4 097 340	69 757
2016 ^(r)	13 277 503	266 675	4 346 611	75 322
2017 ^(r)	13 244 903	262 825	4 346 713	77 794
2018 ^(r)	14 133 170	291 179	4 392 427	82 839
2019 ^(r)	14 546 576	316 170	4 513 264	87 126
2020	15 801 021	345 639	4 692 010	90 443
2021	17 125 163	385 933	4 907 371	94 555
2022	21 563 828	489 354	6 112 179	115 938
2023	25 437 813	569 066	6 753 478	128 989
2024	22 573 686	509 539	5 117 030	99 532

r: revize edilmiş değer.

Et üretimi açısından ise, 2024 yılında toplam kırmızı et üretimi %11.7 azalarak 2 milyon 105 bin 895 ton olarak gerçekleşmiştir. Bu üretimin %24.2’sini koyun eti

oluşturmaktadır. Koyun eti üretimindeki bu oran, küçükbaş hayvancılığın et üretimindeki payının önemli olduğunu göstermektedir (TÜİK, 2025). Sonuç olarak, Türkiye’de koyun yetiştiriciliği, hayvan sayısındaki artışla birlikte önemini korumaktadır. Ancak, süt ve et üretimindeki dalgalanmalar, sektörün sürdürülebilirliği açısından dikkatle değerlendirilmesi gereken unsurlar arasında yer almaktadır

2.2.1. Hakkari’de koyun yetiştiriciliği

Hakkari ili, Türkiye’nin güneydoğusunda, Doğu Anadolu Bölgesi’nin en uç noktasında yer alan bir sınır ilidir. Coğrafi olarak 42°10’-44°50’ doğu boylamları ile 36°57’-37°48’ kuzey enlemleri arasında konumlanmıştır. Yaklaşık 1 720 metre rakıma sahip olan il merkezi, dağlık ve engebeli bir arazi yapısına sahiptir. Toplam yüzölçümü 9 521 km² olan Hakkâri, güneyde Irak, doğuda İran, kuzeyde Van ve batıda Şırnak illeriyle çevrilidir (Hakkari Valiliği, 2025).

İlin topoğrafyası büyük oranda yüksek dağlarla kaplıdır ve yer şekilleri bakımından oldukça engebelerlidir. Türkiye'nin en yüksek dağ silsilelerinden biri olan Cilo Dağları bu bölgede yer almakta, zirveleri 4 000 metreyi aşan yüksekliklere ulaşmaktadır. Hakkari, aynı zamanda Zap Suyu gibi önemli akarsulara da ev sahipliği yapar. Bu dağlık yapı, yerleşim alanlarının sınırlı olmasına ve ulaşımın zorlaşmasına neden olmaktadır (Doğanay ve ark., 2025).

Hakkari ilinde iklim koşulları, bölgenin topografik yapısına bağlı olarak farklılık göstermektedir. Yüksek rakımlı alanlarda Doğu Anadolu Bölgesi’ne özgü sert karasal iklim özellikleri hâkimken, vadi tabanlarında ise Akdeniz ikliminin etkileri hissedilmektedir. Bu iklim çeşitliliği, bitki örtüsünü de doğrudan etkilemektedir. Sert iklim koşullarının hâkim olduğu yüksek kesimlerde bitki gelişimi tamamen engellenmemekte; aksine bazı türler bu koşullara uyum sağlamaktadır. Öte yandan, daha ılıman iklime sahip vadi bölgelerinde susam, pirinç ve çeşitli meyve türlerinin yetiştiriciliğine uygun tarımsal imkânlar bulunmaktadır (Hakkari Valiliği, 2025).

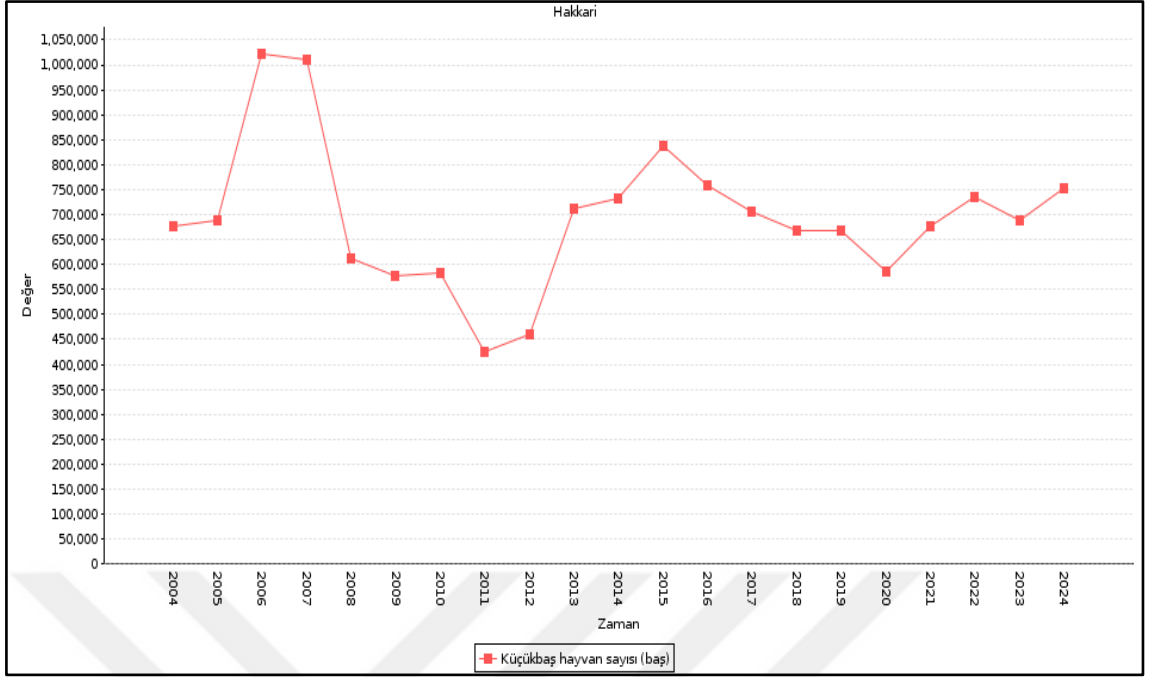
Hakkari ili, yüksek rakıma sahip coğrafi konumu nedeniyle kendine özgü flora ve fauna yapısıyla dikkat çeker. Bitki örtüsüne bakıldığında, hayvancılığa elverişli zengin otlakların bulunduğu görülmektedir. Bu doğal otlaklar, geçmişten günümüze büyükbaş

ve küçükbaş hayvancılığı teşvik etmiş; bu durum da hayvan varlığının sayısal olarak artmasına katkı sağlamıştır. Yaklaşık 370 000 hektarlık çayır ve mera varlığı ile Hakkari, özellikle küçükbaş hayvancılık açısından önemli bir potansiyele sahiptir. Güncel verilere göre, ilde 33 036 büyükbaş ve 320 300 koyun bulunmaktadır (Hakkari Valiliği, 2025; TÜİK, 2025).

Hakkari ilinde yıllara göre hayvan sayıları Tablo 3'te verilmiştir. Koyun sayısı, 2004–2007 arasında yüksek düzeylerde seyretmiştir, 707 468 ile 2006 yılında zirve yapmıştır. 2008'de belirgin bir düşüş yaşanmış, bu düşüş eğilimi 2012'ye kadar devam etmiştir. 2013'ten sonra tekrar yükseliş eğilimi başlamış, 2015'te 675 684 ile tekrar yüksek değerlere ulaşılmıştır. 2016–2024 arasında dalgalı ama genel olarak 500 000 civarında sabit bir seyir gözlenmektedir.

Tablo 3. Hakkari ilinde yıllara göre hayvan sayıları (TÜİK, 2025).

Yıl	Keçi	Koyun	Sığır
2004	125 861	549 914	66 586
2005	127 936	560 400	63 225
2006	315 653	707 468	46 065
2007	343 473	666 050	44 040
2008	176 831	435 920	33 374
2009	139 224	439 397	22 579
2010	136 010	446 854	28 734
2011	100 004	325 167	36 193
2012	120 737	340 314	37 251
2013	140 291	570 978	36 320
2014	148 267	585 248	36 646
2015	160 731	675 684	34 352
2016	165 137	592 460	34 817
2017	157 465	548 886	44 091
2018	148 919	519 122	44 134
2019	168 661	497 927	46 621
2020	136 662	450 614	38 203
2021	222 962	453 757	37 354
2022	256 873	479 462	35 242
2023	219 544	468 922	34 116
2024	254 778	498 234	38 530



Şekil 3. Hakkari ili yıllara göre küçükbaş hayvan sayıları (TÜİK, 2025).

Hakkari ili yıllara göre küçükbaş hayvan sayıları değişimi Şekil 3'te verilmiştir. Şekil 3 incelendiğinde Hakkari'deki küçükbaş hayvan sayılarında dalgalanma olduğu görülmektedir. Koyun sayısı 2006 ve 2007 yıllarında belirgin bir şekilde artmıştır ancak 2007-2009 yıllarında sert bir düşüş yaşamıştır.

Küçükbaş hayvancılık faaliyetleri için yetiştiricilik kültürüne sahip insan iş gücü gerekmektedir. Küçükbaş hayvancılık faaliyetleri Türkiye'nin çoğu yerinde halen geleneksel ve aile tipi işletmelerde yapılmaktadır. Günümüzde de gençler, kırsal alanda hayvancılık faaliyetleri ile uğraşmak istememektedir. Özellikle kırsaldan kente yaşanan göçler, nitelikli çoban bulma sıkıntıları, genç nüfusta azalma ve gençlerin farklı iş kollarına yönelmesi gibi sebeplerden küçükbaş hayvan varlığında azalmalar görülmüştür. Küçükbaş hayvan sayısındaki azalmanın yanı sıra kamu teşviki, insanların doğal besinlere olan talebi gibi sebepler dönem dönem küçükbaş hayvan sayısında artışlara sebep olmaktadır. Tüm bu olumlu ve olumsuz durumlar Türkiye'deki küçükbaş hayvan varlığında yıllar arasında dalgalanmalara sebep olmaktadır. Ancak; Türkiye'deki küçükbaş hayvan sayısındaki değişimlerle ilgili yapılan projeksiyonlara göre hayvan sayısında artışların olacağı yönünde ön görüşler yapılmaktadır (Aksoy ve Yavuz, 2012; Sevinç ve ark., 2022).

2.3. Akkaraman Koyunu

Akkaraman koyun ırkı, yayılma alanı olarak Orta Anadolu ve çevresindeki komşu bölgelerde yoğunlaşmaktadır. Verim yönü bakımından kombine özellik göstermekte olup hem et hem süt üretimi açısından değerlendirilmektedir. Yerli ırklar arasında iri yapılı olmasıyla dikkat çeker. Vücut yapısı dar ve uzun olup sırt hattı genellikle düz olmakla birlikte bazı bireylerde hafif çukurluklar görülebilir. Baş yapısı uzun ve dar, yüz ise çıplaktır; koçlarda baş profili hafif dışbükeydir. Kulaklar uzun ve sarkık yapıdadır. Bacaklar uzun, sağlam ve dayanıklı olup tırnaklar sert ve sağlam yapıdadır. Vücut rengi çoğunlukla beyazdır; baş, burun, kulak ve ayaklarda siyah lekeler bulunabilir. Baş, boyun altı ve bacaklar yapağısızdır. Yapağı yapısı kaba-karışık ve seyrek olup tekstil amaçlı kullanımı sınırlıdır. Koyunlar genellikle boynuzsuzdur; erkek bireylerde ise küçük yapılı ya da tam gelişmemiş boynuzlar görülebilir. Irkın belirgin özelliklerinden biri, S formunda yağlı kuyruktur. Bu kuyruk tipi, arkadan bakıldığında üst üste yerleşmiş üç parça şeklinde görünür: tabanda geniş ve büyük bir yağ kitlesi, onun üzerinde kalp şeklinde daha küçük ve yağlı ikinci bir kısım ve en üstte ise yağsız, kıllı ve aşağı doğru sarkan uzun bir bölüm yer alır. Bu kuyruk yapısı, enerji deposu olarak çevresel koşullara adaptasyonda önemli rol oynamaktadır (TAGEM, 2009).

Akkaraman koyun ırkı, kötü çevre koşulları ve yaygın hayvan hastalıklarına karşı yüksek dayanıklılık göstermesiyle öne çıkmaktadır. Sağlam yapılı ve kanaatkâr bir yapıya sahip olması, onu özellikle sınırlı kaynaklara sahip bölgelerde tercih edilen bir ırk haline getirmektedir. Yetersiz bakım ve besleme koşullarında, değişken ve zorlu iklim şartlarında yaşamını sürdürebilme yeteneği yüksektir. Yağlı kuyruk yapısı, özellikle besin yetersizliğinin yaşandığı dönemlerde enerji deposu işlevi görerek yaşama gücünü artırmaktadır. Yerli koyun ırkları arasında en uysal karakterli olanlardan biri olup, sevk ve idaresi kolaydır. Sürü ve analık içgüdüleri gelişmiş olup, yavru bakımında başarılıdır. Uzun mesafeli yürüyüşlere dayanıklılığı sayesinde geleneksel göçer hayvancılığa uygundur. Fakir ve düşük kaliteli meralardan yararlanma yeteneği oldukça yüksektir. Yaz aylarında sıcak ve kurak, kış aylarında ise soğuk ve karlı geçen bozkır iklimine iyi uyum sağlamıştır. Genellikle fazla engebeli olmayan, bitki örtüsü zayıf ve geniş alanlara sahip meralarda yetiştirilir. Besleme, karlı kış ayları dışında çoğunlukla mera kaynaklıdır. Kış döneminde ise beslenme çoğunlukla saman temelli olup, az miktarda tane yemle

desteklenir. Barınak olarak basit ve düşük maliyetli ağıllar tercih edilir. Yetiştiriciliği genellikle aile, köy veya bireysel düzeyde, 30 ila 500 başlık sürüler halinde yapılmaktadır. Bu özellikleriyle kıt kaynaklara sahip üretim sistemleri için son derece uygun bir yerli koyun ırkıdır (TAGEM, 2009).

Akkaraman koyunlarının bazı verim ve vücut özellikleri Tablo 4’te sunulmuştur. Tablo 4’te sunulan verilere göre, incelenen koyun ırkının temel vücut ölçüleri ve verim özellikleri cinsiyete göre farklılık göstermektedir. Erkek bireyler, cidago yüksekliği (73 cm), vücut uzunluğu (72 cm) ve ergin canlı ağırlık (62 kg) bakımından dişilere kıyasla daha yüksek değerlere sahiptir. Dişi koyunlarda ise laktasyon süt verimi 50–60 kg arasında değişmekte, bu süreç ortalama 140 gün sürmektedir. Dişi bireyler aynı zamanda yılda ortalama 2.2 kg yapağı vermekte ve 16–18 aylık yaşta damızlık olarak kullanılmaya başlanmaktadır. Günlük canlı ağırlık artışı erkeklerde 240 gram olarak ölçülürken, dişi bireyler için bu değer verilmemiştir. Ayrıca dişilerde kuzu verimi ortalama 1.2 olarak belirlenmiştir. Bu veriler, ırkın hem et hem süt yönlü kombinasyonel verim potansiyeline sahip olduğunu ve ekonomik anlamda çiftlik hayvancılığı açısından değerlendirilebileceğini göstermektedir.

Tablo 4. Akkaraman koyunlarının bazı özellikleri (TAGEM, 2009).

Özellik	Erkek	Dişi
Cidago Yüksekliği (cm)	73	65
Vücut Uzunluğu (cm)	72	64
Doğum Ağırlığı (kg)	4.7	4.4
Ergin Canlı Ağırlık (kg)	62	50
Günlük Canlı Ağırlık Artışı (g)	240	-
Laktasyon Süt Verimi (kg)	-	50–60
Laktasyon Süresi (gün)	-	140
Yapağı Verimi (kg)	-	2.2
Damızlık Yaşı (ay)	-	16–18
Kuzu Verimi	-	1.2

Akkaraman ırkı, yerli koyun ırklarımızdandır. Türkiye’de Akkaraman koyun ırkının yayılma alanı her ne kadar Orta Anadolu bölgesi olsa da bu bölgenin çevresinde de Akkaraman koyunu yetiştiriciliği yapılmaktadır. Türkiye’deki koyun ırklarının yaklaşık %40-47’si Akkaraman ırkıdır. Akkaraman koyunlarının adaptasyon kabiliyetlerinin yüksek olması, bölge koşullarına iyi uyum sağlayabilmesi, yetersiz bakım

ve besleme koşullarında dahi verimini sürdürebilmesi ve ekstansif olarak yetiştirilmesi gibi avantajları bu ırkın yetiştiricilikte yaygınlaşmasına sebep olmuştur. Akkaraman koyunlarından yılda 1 kere kuzu, 2.5 kg civarında yapağı ve yaklaşık 40 kg süt alınmaktadır. (Ertuğrul ve ark., 2009; Kaymakçı 2016).



Şekil 4. Merada otlayan Akkaraman koyunları.

Koyun sütü genel olarak %14.4–19.3 kuru madde, %4.6–6.2 protein, %4.6–8.6 yağ ve %4.1–5.8 oranında laktoz içermektedir (Akçapınar, 2000). Sütün bileşiminde yer alan besin maddelerinin miktarı; genotip, beslenme durumu, süt verimi, laktasyon dönemi, hastalıklar ve çevresel faktörler gibi birçok etmenden etkilenmektedir (Özbeyaz, 2012). Kazein ve yağ oranının yüksek olması nedeniyle koyun sütü daha çok peynir ve yoğurt üretiminde tercih edilmektedir. Özellikle Doğu Anadolu Bölgesi’nde koyun sütü; yöresel peynir, otlu peynir ve kış yoğurdu gibi geleneksel ürünlerin yapımında yaygın olarak kullanılmaktadır (Ocak, 1996).

Türkiye’de yetiştirilen koyun ırkları süt verimi açısından oldukça geniş bir genetik varyasyona sahiptir (Kahraman ve Özkul, 2020). Yapılan çeşitli çalışmalarda Akkaraman koyunlarının laktasyon süt verimi 43.1 kg ile 87.0 kg arasında değişmekte, laktasyon

süresi ise 114-159.1 gün arasında raporlanmaktadır (Küçük ve Akçapınar, 1999; Mundan ve Özbeyaz, 2004; Kahraman ve Özkul, 2020).

2.4. Koyunlarda Beta Laktoglobulin Geni

Süt proteini, birbirinden farklı özelliklere sahip çeşitli protein fraksiyonlarından oluşur. Bu proteinlerin en önemli kısmını kazein grubu oluşturur ve kazein, süt proteinlerinin ana fraksiyonu olarak bilinir. Kazein, asit ile çöktürülerek kolaylıkla ayrılabilir. Kazeinin uzaklaştırılmasından sonra geriye kalan proteinler ise peynir altı suyu proteinleri ya da serum proteinleri olarak adlandırılır. Bu fraksiyon içerisinde, yarı doymuş amonyum sülfat çözeltisinde çözünebilen kısmı alfa-laktalbumin, çözünemeyen kısmı ise beta-laktoglobulin olarak tanımlanır. Beta-laktoglobulin, özellikle süt teknolojisi ve genetik seleksiyon açısından önemli bir serum proteinidir (Çak ve ark., 2023b).

Beta laktoglobulin, sütün serum proteinlerinden biridir. Koyunlarda BLG geni 3. kromozomda, keçilerde ise 11. kromozom üzerinde yer almaktadır. BLG lokusunda başlangıçta iki allel (A ve B) tanımlanmış, daha sonra A allelinin bir alt varyantı olan C alleli de belirlenmiştir. A ve B allelleri arasındaki fark, genin 1617. pozisyonundaki bir nokta mutasyonundan kaynaklanmaktadır (Öner ve ark., 2012)

Şahin ve ark. (2011), Dağlıç, Akkaraman, Karakaş, Norduz, İvesi, Tuj, Kangal ve Güney Karaman olmak üzere sekiz farklı koyun ırkında BLG gen polimorfizmini PCR-RFLP yöntemiyle incelemiştir. Toplam 182 hayvandan elde edilen DNA örnekleri analiz edilmiş, BLG lokusunda A ve B allelleri ile birlikte AA, AB ve BB olmak üzere üç genotip saptanmıştır. AB genotipi en yaygın genotip olarak bulunmuş, özellikle Tuj ırkında A alleli en yüksek frekansa (%71.88) sahip olarak rapor edilmiştir.

Çak ve ark. (2023a), Norduz koyunlarında yürüttükleri PCR-RFLP analizinde üç genotip (AA: %17.6, AB: %69.6, BB: %12.7) belirlemiş, AB genotipinin en yaygın olduğunu ve popülasyonun Hardy-Weinberg dengesinde olmadığını rapor etmiştir.

Romanya'nın yerli koyunlarından olan ve Teleorman ilinde yetiştirilen Kara Başlı koyunlarda yapılan bir başka çalışmada, A ve B allel frekansları eşit (%50) olarak

bulunmuş; genotip frekansları ise AA: %28, AB: %44 ve BB: %28 olarak belirlenmiştir. Popülasyonun Hardy-Weinberg dengesinde olduğu bildirilmiştir (Lazar ve ark., 2022).

Erdoğan (2010) tarafından 128 baş Çine Çaparı koyununda yapılan bir çalışmada, AA (%7.8), AB (%45.3) ve BB (%46.9) genotip frekansları elde edilmiştir. A allel frekansı 0.3047, B allel frekansı 0.6953 olarak hesaplanmıştır. BLG genotiplerinin laktasyon süresi ve süt verimi ile anlamlı ilişkili olduğu ($P<0.05$), günlük süt verimi ile ilişkili olmadığı ($P>0.05$) tespit edilmiştir.

Elmaci ve ark. (2006), Kıvırcık, Gökçeada ve Sakız koyun ırklarında BLG geninin RsaI ve MspI enzimleriyle polimorfizmini incelemiştir. A allel frekansı sırasıyla Kıvırcık'ta 0.7759, Gökçeada'da 0.7632 ve Sakız'da 0.9756 olarak belirlenmiştir. Üç ırkta da popülasyonların Hardy-Weinberg dengesinde olduğu saptanmıştır.

Bosna Hersek'te Pramenka ırkı koyunlarda yapılan bir çalışmada BLG A alleli frekansı 0.547, B alleli ise 0.453 olarak bulunmuştur. Genotip frekansları AA: %32.5, AB: %44.5, BB: %22.9 olup, popülasyon Hardy-Weinberg dengesinde bulunmuştur (Rustempašić ve ark., 2018).

Selionova ve ark. (2021), Lagun ırkı koyunlarda yaptıkları çalışmada, AB genotipinin en yüksek süt üretimiyle; BB genotipinin ise daha yüksek süt protein (%6.17) ve yağ (%7.10) içeriğiyle ilişkili olduğunu saptamış ve BLG geninin süt verimi ıslahında bir marker olarak kullanılabileceğini belirtmiştir.

Đokić ve ark. (2020), Jezeropivska Pramenka koyunlarında yürüttükleri çalışmada AA (%36.4), AB (%52.3) ve BB (%11.3) genotiplerini belirlemiştir. BB genotipi yüksek günlük süt verimiyle (0.70 kg), AA genotipi yüksek protein içeriğiyle (%5.86) ve AB genotipi ise yüksek laktoz içeriğiyle (%4.67) ilişkili bulunmuştur.

Malik ve ark. (2024), Harnali ve Munjal ırkı koyunlarda BLG geninin süt verimi ve meme özellikleriyle ilişkisini araştırmış; AB genotipinin yüksek süt verimi, A allelinin yüksek protein içeriğiyle ilişkili olduğunu; BB genotipinin büyük meme çevresi ve AA genotipinin uzun meme ucu ile ilişkili olduğunu belirtmiştir.

Bayraktar ve Shoshin (2021), Hamdani koyunlarında yürüttükleri çalışmada, BB genotipinin yüksek laktoz içeriğiyle, AB genotipinin ise yüksek protein içeriğiyle ilişkili olduğunu bildirmiştir.

Çelik ve Özdemir (2006), İvesi ve Morkaraman koyunlarında BLG genotipleri ile süt özellikleri arasındaki ilişkiyi incelemiştir. BB genotipi yüksek süt yağı, düşük laktoz içeriği ile ilişkili bulunmuş; Morkaraman ırkında BB genotipinin daha yüksek protein ve katı madde içeriğiyle süt teknolojisi açısından önemli olduğu vurgulanmıştır.

Olgun (2021) tarafından yapılan bir çalışmada, 120 baş koyunun (6 farklı ırk) BLG geninin 2. ekzonuna ait 318 bp'lik bölgesi amplifiye edilmiş, *RsaI* enzimi ile yapılan kesim sonucunda üç genotip (AA, AB, BB) belirlenmiştir. Hardy-Weinberg dengesinde olup olmadıkları Ki-kare testi ile değerlendirilmiş; Kıvırcık ve Morkaraman ırkları dışında popülasyonların dengede olduğu saptanmıştır.

Dakheel ve ark. (2021) tarafından Irak'taki İvesi koyunlarında yapılan çalışmada, BLG geni bakımından üç genotip (AA, AB ve BB) tespit edilmiştir. Genotip frekansları AA için %29, AB için %37 ve BB için %34 olarak belirlenmiştir. Allel frekansları ise A için 0.48, B için 0.52 bulunmuş ve popülasyonun Hardy-Weinberg dengesinde olduğu rapor edilmiştir.

Bazı koyun ırkları üzerinde yapılan çalışmalar sonucu tespit edilen BLG geninin genotip frekansları Tablo 5'te sunulmuştur.

Tablo 5. Bazı koyun ırklarında BLG geninin genotip frekansları (%).

İrk	n	AA	AB	BB	Kaynak
Akkaraman	19	21.05	52.63	26.32	Şahin ve ark. (2011)
Çine Çaparı	128	7.8	45.3	46.9	Erdoğan (2010)
Dağlıç	19	21.05	52.63	26.32	Şahin ve ark. (2011)
Gökçeada	38	55.26	42.11	2.63	Elmaci ve ark. (2006)
Güney Karaman	29	48.28	34.48	17.24	Şahin ve ark. (2011)
Hamdani	60	28	55	17	Bayraktar ve Shoshin (2021)
Harnali	105	54	34	12	Malik ve ark. (2024)
İvesi	19	31.58	63.16	5.26	Şahin ve ark. (2011)
İvesi	122	36.07	53.28	10.66	Çelik ve Özdemir (2006)
İvesi	62	29	37	34	Dakheel ve ark. (2021)
Jezeropivska Pramenka	44	36.4	52.3	11.3	Đokić ve ark. (2020)
Kangal	42	21.43	54.76	23.81	Şahin ve ark. (2011)
Karakas	21	19.05	47.62	33.33	Şahin ve ark. (2011)
Kıvırcık	29	58.62	37.93	3.45	Elmaci ve ark. (2006)
Lagun		11	50	49	Selionova ve ark. (2021)
Morkaraman	70	28.57	54.29	17.14	Çelik ve Özdemir (2006)
Munjal	34	35	24	41	Malik ve ark. (2024)
Norduz	102	17.6	69.6	12.7	Çak ve ark. (2024)
Norduz	17	41.18	58.82	-	Şahin ve ark. (2011)
Pramenka	283	32.5	44.5	23.0	Rustempašić ve ark. (2018)
Sakız	41	95.12	4.88	0.00	Elmaci ve ark. (2006)
Romanya Karabaşlı koyun	50	28	44	28	Lazar ve ark. (2022)
Tuj	16	56.25	31.25	12.50	Şahin ve ark. (2011)

2.5. Koyunlarda Kalpastatin Geni

Et gevrekliği, et kalitesini belirleyen özelliklerden biridir ve et tüketiminde memnuniyeti etkileyen önemli bir faktördür. Genetik seleksiyonu iyileştirmek için kullanılan et gevrekliği özelliğinden iki enzim sorumludur: kalpain (CAPN1) ve onun inhibitörü olan kalpastatin (CAST) genleridir (Uzabaci ve Dincel, 2022). Kalpastatin geni koyunlarda 5. kromozom üzerinde yer alırken sığırlarda 7. kromozom üzerinde yer alır. (Ata, 2012).

Kalpainler, çeşitli fizyolojik ve patolojik süreçlerde rol oynayan hücre içi kalsiyumla aktive olan sistein proteazlardır Kalpainler kas gelişimine ve kas lifi belirlenmesine katılır (Goll ve ark., 2003). CAST geni, çiftlik hayvanlarında et özelliklerini kontrol etmek için mükemmel bir adaydır (Zhou ve Hickford, 2008).

Balcıoğlu ve ark. (2014), Akkaraman ırkı üzerine farklı bir çalışmada MM genotipini %52, MN'yi %34 ve NN'yi %14 olarak rapor etmiştir. Bu sonuçlar, aynı ırkta

yapılan diğerk çalışmalardan farklı olarak NN genotipinin nispeten daha yüksek oranda görüldüğünü ve heterozigot birey oranının da belirgin olduğunu ortaya koymaktadır.

Bayram ve ark. (2019), 374 baş Akkaraman koyununda yaptıkları analizde MM genotipinin %81, MN'nin %18 ve NN'nin %1 oranında bulunduğunu bildirmiştir. Bu yüksek MM oranı, popülasyonda homozigot bireylerin ağırlıkta olduğunu ve N alelinin oldukça düşük düzeyde temsil edildiğini göstermektedir.

Dokgöz ve zcan (2024) tarafından yapılan çalışmada Akkaraman koyunlarında MM genotipi %63, MN %37 oranında bulunmuş; NN genotipine ise rastlanmamıştır. Bu durum, homozigot M aleli taşıyan bireylerin baskın olduğunu ancak heterozigotluk düzeyinin de göz ardı edilemeyecek seviyede bulunduğunu göstermektedir.

Khederzadeh (2011), İran menşeli Dalagh koyunlarında MM, MN ve NN genotip frekanslarını sırasıyla %66, %29 ve %5 olarak belirlemiştir. Bu genotip dağılımı hem homozigot hem de heterozigot bireylerin varlığını ortaya koymakta ve popülasyonda genetik eşitliliğın sürdüğünü düşündürmektedir.

Balcıoğlu ve ark. (2014), Güney Karaman koyunlarında yaptıkları analizde MM genotipini %52, MN'yi %30 ve NN'yi %18 olarak bildirmiştir. NN genotip oranının bu denli yüksek oluşu, bu popülasyonda N alelinin daha yaygın olabileceğine işaret etmektedir.

Avanus (2015) tarafından Hemşin koyunlarında yapılan çalışmada MM genotipi oldukça yüksek oranda (%84.2), MN %10.5 ve NN %5.3 olarak tespit edilmiştir. Bu sonuçlar, genetik açıdan homojen bir popülasyona işaret etmekle birlikte sınırlı sayıda heterozigotluk da göstermektedir.

İmroz koyunlarında yürütülen bir başka çalışmada (Avanus, 2015), MM genotipi %92,6 ile son derece yüksek bulunmuş, MN genotipi ise %7.4 oranında rapor edilmiştir. NN genotipi bu popülasyonda gözlenmemiştir. Bu durum, güçlü bir M aleli baskınlığına ve düşük genetik çeşitliliğe işaret etmektedir.

İvesi koyunlarında Balcıoğlu ve ark. (2014) tarafından yapılan çalışmada MM genotipi %50, MN %19 ve NN %31 oranında belirlenmiştir. Bu oranlar, genetik

çeşitliliğin dengeli dağıldığını ve NN genotipinin de popülasyonda ciddi bir yer tuttuğunu göstermektedir.

Dokgöz ve Özcan (2024), yine İvesi ırkında MM'yi %60, MN'yi %30 ve NN'yi %10 oranında rapor etmiştir. Bu veriler, önceki çalışmadan farklı olarak homozigot MM genotipinin daha yaygın olduğunu ortaya koymaktadır.

Kangal koyunlarında yürütülen çalışmada (Balcıoğlu ve ark., 2014) MM genotipi %84, MN %16 ve NN ise gözlenmemiştir. Bu durum, M alelinin bu ırkta çok baskın olduğunu ve genetik çeşitliliğin düşük düzeyde kaldığını göstermektedir.

Kabasakal (2025), Karacabey Merinosu ırkında MM genotipini %47.5, MN'yi %40 ve NN'yi %12.5 oranında saptamıştır. Bu sonuçlar, üç genotipin de popülasyonda anlamlı düzeyde temsil edildiğini ve genetik çeşitliliğin oldukça yüksek olduğunu göstermektedir.

Karagül ırkı üzerine yapılan iki farklı çalışmadan biri Shahrudi ve ark. (2006) tarafından yürütülmüş, burada MM %61, MN %36 ve NN %3 oranında rapor edilmiştir. Diğeri ise Avanus (2015) tarafından yapılmış ve MM %46,7, MN %53.3 olarak tespit edilmiş, NN genotipi gözlenmemiştir. Bu iki çalışma, aynı ırkta bölgesel ve metodolojik farklılıkların genotip dağılımına etkili olabileceğini düşündürmektedir.

Karakaş koyunlarında Balcıoğlu ve ark. (2014) MM genotipini %82, MN %14 ve NN %4 oranında bulmuştur. Bu veriler, N alelinin sınırlı düzeyde kaldığını ve homozigotluk oranının oldukça yüksek olduğunu göstermektedir.

Karayaka koyunlarında iki farklı çalışmadan biri Balcıoğlu ve ark. (2014) tarafından yürütülmüş, burada MM %85, MN %3 ve NN %12 oranında rapor edilmiştir. Diğeri ise Avanus (2015) tarafından yapılmış, MM %81.8 ve MN %18.2 oranında bulunmuş; NN genotipi saptanmamıştır. İki çalışmanın sonuçları, genel olarak M alelinin baskın olduğunu doğrularken, popülasyonlar arası farklılıkları da ortaya koymaktadır.

Kıvırcık ırkında yapılan çalışmada (Avanus, 2015), MM genotipi %40, MN %60 ve NN genotipi gözlenmemiştir. Bu sonuçlar, bu ırkta heterozigot bireylerin yüksek oranını ve N alelinin önemli derecede temsil edildiğini göstermektedir.

Morkaraman ırkı üzerine üç farklı çalışmadan biri Balcıoğlu ve ark. (2014) tarafından yapılmış ve MM %79, MN %15, NN %6 oranında bulunmuştur. Avanus (2015) MM %57.2, MN %35.7 ve NN %7.1 oranında tespit etmiştir. Daldaban ve ark. (2025) ise MM %40, MN %51 ve NN %9 oranında raporlamıştır. Bu üç farklı çalışma, popülasyonlar arasında genotip frekanslarında önemli düzeyde değişikliklerin görülebileceğini ortaya koymaktadır.

Yılmaz ve ark. (2024), Norduz ırkında yaptıkları çalışmada MM genotipi %64.7, MN %27.5 ve NN %7.8 olarak belirlemiştir. M aleli baskın olmakla birlikte, heterozigot bireylerin de önemli düzeyde olduğu görülmektedir.

Pırlak koyunları üzerine Özkan ve Şahin Semerci (2025) tarafından yapılan analizde MM %22, MN %69.6 ve NN %8.2 oranında bulunmuştur. MN genotipinin baskın olması, bu popülasyonun heterozigot yapısının güçlü olduğunu göstermektedir.

Dinçel ve ark. (2015) Sakız ırkında MM genotipini %59, MN %36 ve NN %5 oranında raporlamıştır. Bu sonuçlar, homozigotlukla birlikte heterozigot bireylerin de belirgin düzeyde bulunduğunu ortaya koymaktadır.

Ardıçlı ve ark. (2022), Tsigai koyunlarında MM %25, MN %64 ve NN %11 oranında genotip frekansları bildirmiştir. Bu ırkta MN genotipinin oldukça yaygın olduğu ve dolayısıyla N alelinin genetik havuzda önemli bir yer tuttuğu görülmektedir.

Gharahveysi ve ark. (2012), İran menşeli Zel ırkında MM %62, MN %26 ve NN %12 oranında tespit etmiştir. N alelinin anlamlı şekilde bulunduğu bu popülasyonda da genetik çeşitlilik düzeyinin dengeli olduğu değerlendirilmektedir.

Gábor ve ark. (2009), Slovakya’da farklı koyun ırklarında CAST gen polimorfizmini incelemiş ve MM genotipini %87, MN genotipini %13 ve NN genotipini ise tespit edememiştir. Bu sonuçlar, popülasyonun büyük oranda homozigot bireylerden oluştuğunu ve N alelinin çok düşük sıklıkta olduğunu ortaya koymaktadır.

Nanekarani ve ark. (2011a), Lorastan bölgesindeki 100 baş Lori koyununda AA genotipini %41, AB’yi %46 ve BB’yi %13 oranında saptamıştır. Bu bulgular A alelinin

frekansının %64, B alelinin ise %36 olduğunu ortaya koymaktadır. Genotiplerin dengeli bir dağılım gösterdiği görülmektedir.

Nanekarani ve ark. (2011b), Gholistan bölgesinde bulunan 120 baş Atabi koyununda AA, AB ve BB genotiplerini sırasıyla %68, %27 ve %5 oranında raporlamıştır. A ve B alelleri %81 ve %19 frekansına sahiptir. Bu oranlar, popülasyonda A alelinin yine baskın olduğunu ve B alelinin düşük sıklıkta bulunduğunu göstermektedir.

Bazı koyun ırkları üzerinde yapılan çalışmalar sonucu tespit edilen CAST geninin genotip frekansları Tablo 6’da sunulmuştur.

Tablo 6. Bazı koyun ırklarında CAST geninin genotip frekansları (%).

İrk	n	MM	MN	NN	Kaynak
Akkaraman	374	81	18	1	Bayram ve ark. (2019)
Akkaraman	21	52	34	14	Balcıoğlu ve ark. (2014)
Akkaraman	19	63	37	-	Dokgöz ve Özcan (2024)
Dalagh	120	66	29	05	Khederzadeh (2011)
Güney Karaman	23	52	30	18	Balcıoğlu ve ark. (2014)
Hemşin	19	84.2	10.5	5.3	Avanus (2015)
İmroz	27	92.6	7.4		Avanus (2015)
İvesi	26	50	19	31	Balcıoğlu ve ark. (2014)
İvesi	20	60	30	10	Dokgöz ve Özcan (2024)
Kangal	31	84.00	16.00	-	Balcıoğlu ve ark. (2014)
Karacabey Merinosu	200	47.5	40	12.5	Kabasakal (2025)
Karagül	100	61	36	03	Shahrudi ve ark (2006)
Karagül	15	46.7	53.3		Avanus (2015)
Karakaş	22	82	14	4	Balcıoğlu ve ark. (2014)
Karayaka	33	85	3	12	Balcıoğlu ve ark. (2014)
Karayaka	22	81.8	18.2		Avanus (2015)
Kıvırcık	25	40	60		Avanus (2015)
Morkaraman	34	79	15	6	Balcıoğlu ve ark. (2014)
Morkaraman	14	57.2	35.7	7.1	Avanus (2015)
Morkaraman	514	40	51	9	Daldaban ve ark. (2025)
Norduz	102	64.7	27.5	7.8	Yılmaz ve ark. (2024)
Pırlak Koyunları	181	22	69.6	8.2	Özkan ve Şahin Semerci (2025)
Sakız	71	59	36	5	Dinçel ve ark. (2015)
Tsigai Koyunu	56	25	64	11	Ardıçlı ve ark. (2022)
Zel	100	62	26	12	Gharahveysi ve ark (2012)

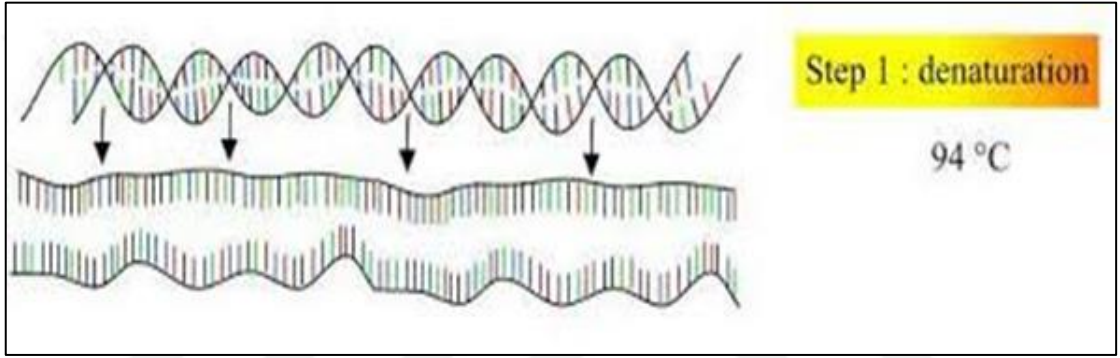
2.6. PCR-RFLP Metodu

Polimeraz Zincir Reaksiyonu (Polymerase Chain Reaction - PCR), ilk olarak 1985 yılında ABD’de Kary Mullis ve çalışma arkadaşları tarafından geliştirilmiştir. Bu yöntem, DNA'nın belirli bölgelerini hızlı ve etkili bir şekilde çoğaltmaya olanak tanıyan bir laboratuvar tekniğidir. PCR, az miktardaki DNA örneğini milyonlarca kopya hâline

getirerek genetik analizlerin yapılmasını mümkün kılar. DNA amplifikasyonu, sıcaklık, süre ve döngü sayılarının istenilen şekilde ayarlanabildiği özel cihazlarda üç temel aşamada gerçekleşir. Bu aşamalar denatürasyon, primerlerin bağlanması (annealing) ve uzama (extension) olarak sıralanır.

1. Faz: Ayrışma (Denatürasyon):

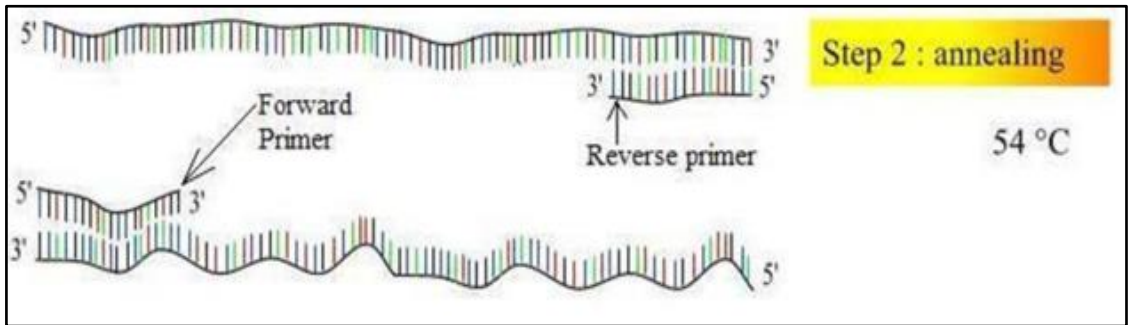
Bu işlemde 2 iplikli olan DNA denatüre edilerek hidrojen bağları ayrılıp tek iplikli hale getirilir. Bu bağları ayırmak için çeşitli yöntemler kullanılsa da 95-100°C sıcaklıkta ısıtmak basit ve etkili bir yöntemdir.



Şekil 5. DNA Zincirinin Açılması (Denaturasyon) (Anonim 2021).

2. Faz: Birleşme (Annealing):

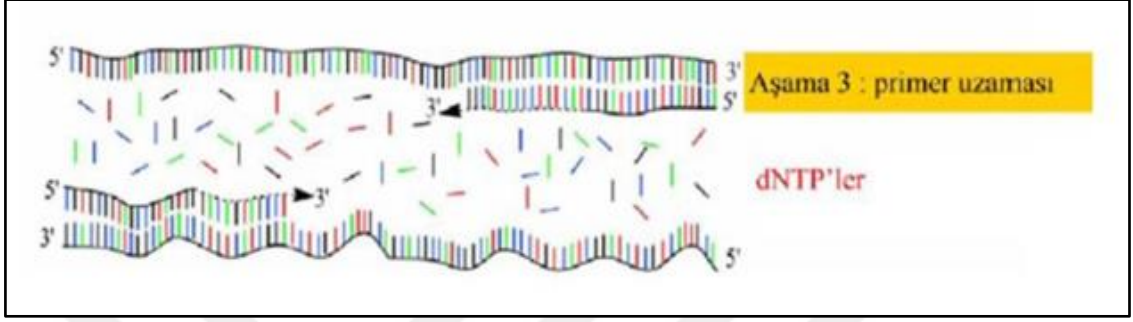
Reaksiyon sıcaklığının 37–65°C arasında düşürülmesiyle, oligonükleotid primerlerin, ayrılmış DNA zincirlerinde kendi baz dizilerine tamamlayıcı olan bölgelere bağlanması sağlanır. Bu aşamaya “primerlerin bağlanması” (annealing) denir (Çolaklar, 2012).



Şekil 6. Primerlerin Açılan DNA Zincirlerine Yapışması (Anonim 2021).

3. Faz: Uzama (Polimerizasyon):

Primerlerin, bağlandıkları DNA zincirleri üzerinde DNA polimeraz enzimi (özellikle Taq DNA polimeraz) aracılığıyla uzatılması işlemidir. Taq DNA polimeraz, 72 °C sıcaklıkta optimum aktivite gösterdiğinden, uzama (extension) aşaması genellikle bu sıcaklıkta gerçekleştirilir (Anonim 2021).



Şekil 7. Uzama fazı (Anonim 2021).

PCR testi analizi;

- Enfeksiyon hastalıklarının tanısında (SARS-CoV-2, HIV, grip) veya bakteriler (tüberküloz, boğmaca) gibi mikroorganizmaların varlığını tespit etme işlemlerinde;
- Ebeveyn taşıyıcılık taramaları, prenatal (doğum öncesi) genetik analizler ve kalıtsal hastalıkların teşhisinde;
- Kanser tanı ve tedavilerin planlanmasında, tümörlerin genetik yapısını belirleyerek erken tanı ve tedavi seçeneklerinin oluşturulmasında;
- Babalık testi, DNA profillemesi ve kimlik belirleme gibi adli ve kriminal işlemlerde;
- Organ nakli hazırlıklarında donör ve alıcının genetik uyumunu belirleme işlemlerinde;
- Bakterilerin genetik yapısını analiz ederek antibiyotik direnç durumunu belirlemede;
- Gen klonlama, gen düzenleme ve gen ifade çalışmaları gibi laboratuvar uygulamaları gibi önemli işlerde kullanılmaktadır (Acıbadem, 2025).

RFLP (Restriksiyon Parça Uzunluk Polimorfizmi) tekniği, restriksiyon enziminin tanıdığı spesifik DNA sekansında meydana gelen tek bir nükleotid değişimini dahi ayırt edebilecek hassasiyete sahiptir. Bu tür baz değişimleri, genotipler arasında gözlenen polimorfizmin temel nedenini oluşturur. Ancak bu yöntemle çalışılabilmesi için, ilgili DNA bölgesinden yeterli miktarda materyal elde edilmesi gerekir. Bu nedenle, RFLP analizlerinden önce çoğunlukla PCR yöntemi kullanılarak hedef DNA dizisi çoğaltılır

(Demirel, 2019). PCR ile elde edilen amplifikasyon ürünleri, daha sonra restriksiyon enzimleri aracılığıyla analiz edilir. Bu enzimler, DNA dizisi içinde yalnızca kendilerine özgü kısa nükleotid dizilerini tanıyarak belirli bir noktadan kesim gerçekleştirir. Her restriksiyon enzimi, tanıma ve kesme özelliğine sahip olduğu farklı DNA dizilerine sahiptir. Bu özgünlük sayesinde DNA, kesildiği bölgelere göre farklı uzunluklarda parçalara ayrılır ve bu da genotiplerin belirlenmesini mümkün kılar (Özşensoy ve Kurar, 2012). PCR-RFLP yöntemi, çiftlik hayvanlarında genetik çeşitliliğin analizinde ekonomik, hızlı ve pratik bir teknik olarak değerlendirilmektedir. Bu yöntem, özellikle önemli gen bölgeleri ile bu bölgelerin yakın çevresinde bulunan polimorfizmleri araştırmak amacıyla sıklıkla tercih edilmektedir (Demirel, 2024). PCR-RFLP yöntemi kullanılarak hayvanların genotipleri ile verimleri arasında ilişkiler ortaya koyan çalışmalar bulunmaktadır (Kabasakal ve ark., 2015; Đokić ve ark., 2020; Dokgöz ve ark., 2024; Demirel ve Çak, 2025).

3. GEREÇ VE YÖNTEM

3.1. Gereç

Bu tez çalışmasında kullanılan hayvan materyali, Hakkâri ili Yüksekova ilçesinde faaliyet gösteren özel bir koyunculuk işletmesinde yetiştirilen 100 baş Akkaraman koyunundan oluşmaktadır. Her bir hayvandan boyun toplardamarı (*Vena jugularis*) yoluyla, steril tek kullanımlık iğne ve vakumlu EDTA'lı kan tüpleri kullanılarak yaklaşık 9 mL kan örneği alınmıştır. Alınan kan örnekleri, soğuk zincirde hızla laboratuvara ulaştırılmış ve DNA izolasyonuna kadar -20 °C'de derin dondurucuda muhafaza edilmiştir.

3.2. Yöntem

Bu çalışmada Akkaraman koyunlarının BLG ve CAST genlerindeki polimorfizmler, PCR-RFLP tekniği ile analiz edilmiştir. Çalışmada kullanılan temel laboratuvar cihazları Tablo 5'te listelenmiştir.

Tablo 5. Çalışmada kullanılan cihazlar.

Kullanılan Cihaz	Kullanım Amacı
Thermal Cycler	PCR ile hedef bölgelerin çoğaltılmasında
Santrifüj	DNA izolasyonu ve PCR aşamasında örneklerin santrifüj edilmesinde
Yatay Jel Elektroforez	DNA'nın, PCR ürünlerinin ve RFLP sonucu oluşan bantların tespit edilmesinde
UV transillüminatör	PCR ürünlerinin ve RFLP sonucu oluşan bantların görüntülenmesinde
Isıtmalı Manyetik Karıştırıcı	DNA izolasyonunda ve kesim enzimi uygulamalarında
Vorteks	DNA izolasyonunda ve Tampon çözeltilerin hazırlanmasında
Spektrofotometre	DNA miktarı ve kalitesinin belirlenmesinde

3.2.1. DNA izolasyonu

DNA izolasyonuna başlamadan önce, EDTA'lı tüplerdeki kan örnekleri oda sıcaklığında çözündürülüp vorteks ile homojenize edilmiştir. Genomik DNA, ticari bir kit

kullanılarak (PureLink™ Genomic DNA Mini Kit) üretici firmanın protokolüne uygun şekilde izole edilmiştir. İzolasyon sonrasında elde edilen DNA örneklerinin konsantrasyonu spektrofotometre ile ölçülmüş ve PCR aşamasında kullanılmak üzere en az 50 ng/μL olacak şekilde seyreltilerek ayarlanmıştır. Hazırlanan DNA örnekleri, sonraki PCR işlemleri için hazır hale getirilmiş ve bu örneklerden BLG ile CAST genotipleri PCR-RFLP yöntemiyle belirlenmiştir.

Bu çalışmada değerlendirilen genlerin tanımı Tablo 6’da sunulmuştur.

Tablo 6. Çalışmada değerlendirilen genlerin tanımı.

Gen ismi	Gen sembolü	NCBI Gen ID	Kromozomal lokasyon	Exon sayısı	SNP lokasyonu	SNP	Allel
Beta laktoglobulin	BLG	443385	3	7	Exon II	T>C	A/B
Kalpastatin	CAST	443364	5	29	Exon 1C/1D	C>T	M/N

3.2.2. PCR-RFLP

BLG ve CAST genlerinin amplifikasyonu için optimum PCR koşulları belirlenirken literatürdeki benzer çalışmalar (Schlee ve Rottmann, 1992; Palmer ve ark., 1998; Sutikno ve ark., 2011; Balcıoğlu ve ark., 2014; Çak ve ark., 2023; Yılmaz ve ark. 2024) referans alınmıştır.

BLG geni için 2. ekzon bölgesine özgü, Schlee ve Rottmann (1992) tarafından tasarlanmış primerler kullanılmıştır. CAST geninde ise ekzon 1C/1D bölgesini hedefleyen ve Palmer ve ark. (1998) tarafından tasarlanmış primerler tercih edilmiştir. BLG ve CAST genlerine ait ileri ve geri primer dizileri ile ilgili PCR ürün boyları ve bağlanma sıcaklıkları Tablo 7’de verilmiştir.

Tablo 7. BLG ve CAST genlerine ait ileri ve geri primerler, PCR fragment uzunlukları ve bağlanma sıcaklıkları.

Gen	Primer (5’-3’)	PCR Fragment Uzunluğu	Bağlanma Sıcaklığı	Kaynak
BLG	F: AGAGCATTCCTCCAGGGTGACAGAG R: GTGGGCTTCAGCTCCTCCACGTA	236 bp	65 °C	Schlee ve Rottmann, (1992)
CAST	F: TGGGGCCCAAT-GACGCCATCGATG R: GGTGGAGCAGCACTTCTGATCACC	622 bp	60°C	Palmer ve ark., (1998)

PCR reaksiyonları, 5× FIREPol Master Mix (hazır PCR karışımı) kullanılarak üretici firmanın önerilerine göre hazırlanmıştır. Her bir DNA örneği için ayrı PCR karışımı oluşturulmuş ve ilgili gen bölgeleri uygun primerlerle çoğaltılmıştır. BLG ve CAST genlerinin amplifikasyonu için kullanılan PCR protokolleri aşağıda özetlenmiştir:

BLG geni için PCR işlemi, 95°C’de 3 dk süren ilk denatürasyon adımıyla başlatılmıştır. Ardından, 35 döngü boyunca şu sıcaklık ve sürelerde işlemler uygulanmıştır: 95°C’de 60 sn denatürasyon, 65°C’de 30 sn bağlanma ve 72°C’de 45 sn uzama. PCR, 72°C’de 10 dk süren son uzama adımıyla tamamlanmıştır.

CAST geni için ise PCR programı, 95°C’de 3 dk süren ilk denatürasyon ile başlatılmıştır. Bunu takiben 35 döngü halinde 95°C’de 60 sn denatürasyon, 60°C’de 60 sn bağlanma ve 72°C’de 2 dk uzama adımları uygulanmıştır. Program, 72°C’de 10 dk süren son uzama aşamasıyla tamamlanmıştır.

Her iki genin PCR amplifikasyonu, SimpliAmp™ Thermal Cycler (Applied Biosystems™) cihazı kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Amplifikasyonun başarıyla gerçekleştiğini doğrulamak amacıyla, elde edilen PCR ürünleri %2 agaroz jel üzerinde elektroforezle ayrılmıştır. Jel, etidyum bromür DNA boyası ile boyanıp UV transilluminatör (Vilber) altında incelenerek DNA bantları görselleştirilmiştir.

PCR aşamasından sonra, hedef gen bölgelerindeki polimorfizmi ortaya koymak için restriksiyon enzim kesimine geçilmiştir. BLG ve CAST gen bölgelerine ait PCR ürünleri sırasıyla *RsaI* ve *MspI* restriksiyon enzimleri ile kesim işlemine tabi tutulmuştur. RFLP işlemi için reaksiyon karışımı ve sıcaklığı *RsaI* ve *MspI* restriksiyon enziminin temin edildiği firmanın belirlediği protokole göre gerçekleştirilmiştir.

BLG ve CAST genlerine ait PCR ürünlerinin restriksiyon analizi için toplam 31 µL’lik bir reaksiyon karışımı hazırlanmıştır. Bu karışım; 10 µL PCR ürünü, 1 µL restriksiyon enzimi (*RsaI* veya *MspI*), 2 µL 10X Buffer Tango ve 18 µL nükleaz içermeyen sudan oluşmuştur. BLG geni için *RsaI* (Thermo Scientific™), CAST geni için ise *MspI* restriksiyon endonükleaz enzimleri kullanılmış ve sindirim işlemleri her iki gen için de 37°C’de 1 saat boyunca gerçekleştirilmiştir.

RsaI enzimi, DNA üzerindeki GT^{AC} tanıma bölgesinden kesim yaparken, *MspI* enzimi ise C^{CGG} dizisini tanıyarak kesim gerçekleştirir. Enzimatik sindirimin ardından elde edilen fragmentler elektroforez ile ayrılmıştır. BLG genine ait sindirilmiş PCR ürünleri, ayrıntılı ayırt edilebilirlik sağlamak amacıyla %3 agaroz jelde, CAST genine ait ürünler ise %2 agaroz jelde yürütülmüştür. Jel üzerindeki DNA bantları, etidyum bromür (EtBr) ile boyanarak UV ışık altında görüntülenmiştir. Elektroforez sonucunda oluşan bant desenleri, ilgili genlerin farklı genotiplerine karşılık gelecek şekilde yorumlanmıştır. Böylece koyunların BLG (AA, AB, BB) ve CAST (MM, MN, NN) genotipleri, jel üzerinde gözlemlenen bant modellerine göre belirlenmiştir (Tablo 8).

BLG ve *CAST* genlerine ait kesim enzimi sonucu oluşan allellerin fragment uzunlukları ve genotiplerin jel desenleri tablo 8’de sunulmuştur.

Tablo 8. Kesim sonucu oluşan allellerin fragment uzunlukları ve genotiplerin jel desenleri.

Gen	Allel	Fragment Uzunlukları (bp)	Genotip	Jel Deseni (bp)
BLG	A	66 + 147	AA	66, 147
	B	213	AB	213, 147, 66
			BB	213
CAST	M	336 + 286	MM	336, 286
	N	622	MN	622, 336, 286
			NN	622

3.3. İstatistiksel Analiz

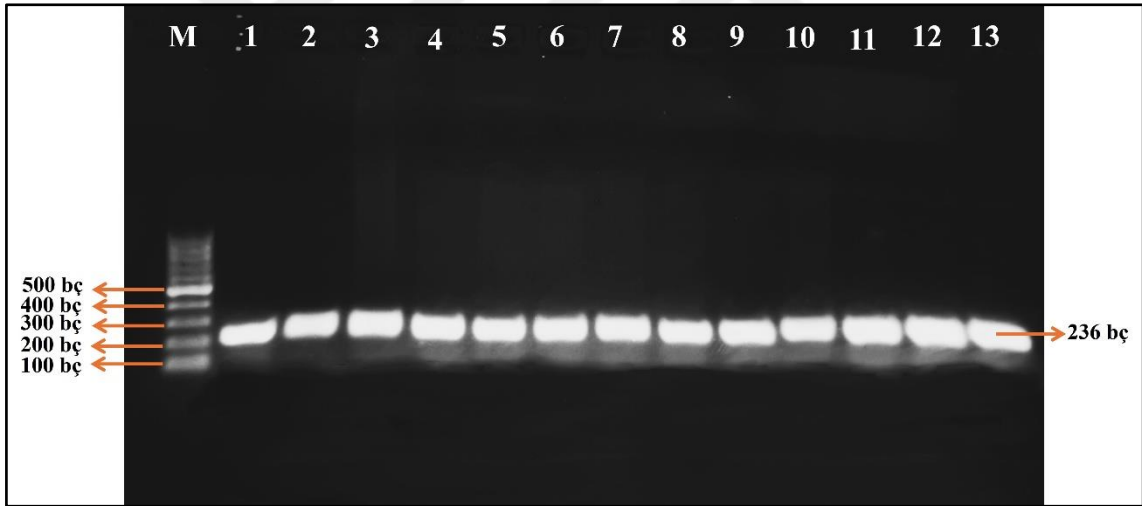
İncelenen örneklerde BLG ve CAST genine ait allel frekanslarının tahmin edilmesinde doğrudan gen sayma yöntemi kullanılmıştır. Gözlenen ve beklenen genotipik frekansların dağılımının Hardy-Weinberg Genetik Denge eşitliğine göre, uyum gösterip göstermediği ise ki-kare (χ^2) testi ile belirlenmiştir. İstatistiksel hesaplamalarda Popgene ver. 1.32 (Yeh ve ark. 1999) paket programı kullanılmıştır. İstatistiksel analizlerde anlamlılık düzeyi $p < 0.05$ olarak kabul edilmiştir.

4. BULGULAR

Bu çalışmada, Akkaraman koyunlarında BLG ve CAST genlerine ait genotip ve allel frekansları PCR-RFLP yöntemi ile belirlenmiştir. Kesim ürünleri agaroz jel elektroforezinde yürütülmüştür. Her bir koyunun genotipi, UV görüntüleme cihazında görüntülenen bant desenlerine göre belirlenmiştir.

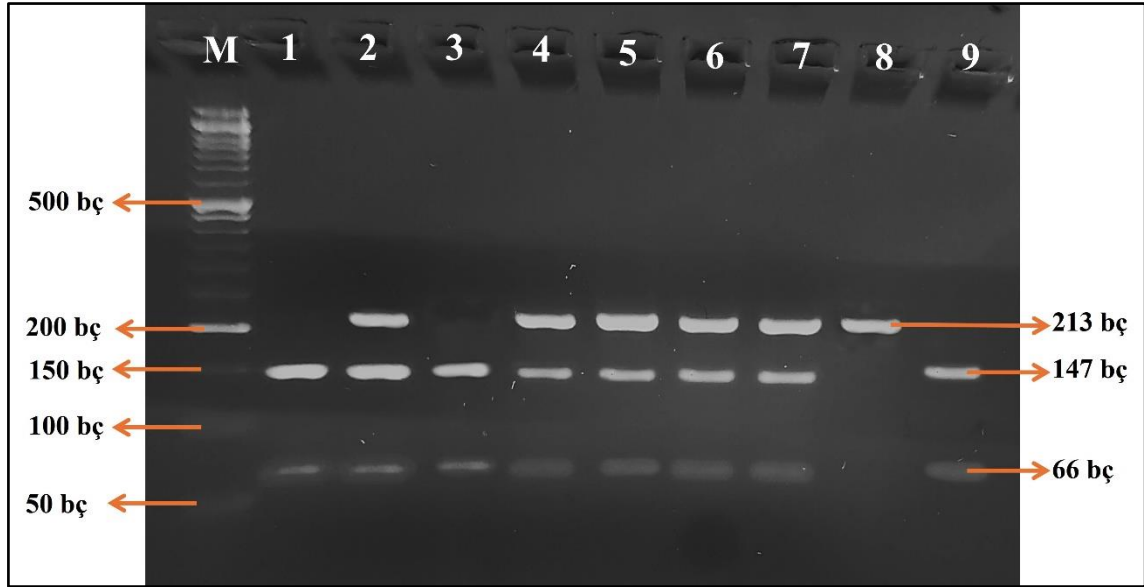
4.1. Beta laktoglobulin (BLG) Genine ait Bulgular

PCR işlemi ile BLG geninin 2. ekzonunda yer alan 236 bp'lik kısmı çoğaltılmıştır. PCR ürünlerinin agaroz jel elektroforezinde yürütülmesi sonucu oluşan UV görüntüsü Şekil 8'de sunulmuştur.



Şekil 8. BLG geninin 236 bp'lik PCR ürünlerinin agaroz jel görüntüsü (M: 100 bp'lik DNA merdiveni)

BLG genine ait PCR ürünlerine *RsaI* kesim enzimi uygulanmıştır. Kesim ürünlerinin agaroz jel elektroforezinde yürütülmesi sonucu oluşan görüntüsü Şekil 9'da verilmiştir.



Şekil 9. BLG geninin kesim sonrası agaroz jel görüntüsü (M: 100 bç'lik DNA merdiveni; 1, 3, 9: AA; 2, 4, 5, 6, 7: AB; 8: BB)

Şekil 9'da verilen agaroz jel görüntüsü değerlendirildiğinde, AA genotipindeki bireylerde 66 ve 147 bç'lik iki bant, AB genotipindeki bireylerde 66, 147 ve 213 bç'lik üç bant, BB genotipindeki bireylerde ise 213 bç'lik tek bant gözlenmiştir.

Kesim sonrası elde edilen bant desenlerine göre koyunların BLG genotipleri belirlenmiştir. BLG genine ait allel ve genotip frekansları Tablo 9'da sunulmuştur.

Tablo 9. BLG genine ait allel ve genotip frekanslar.

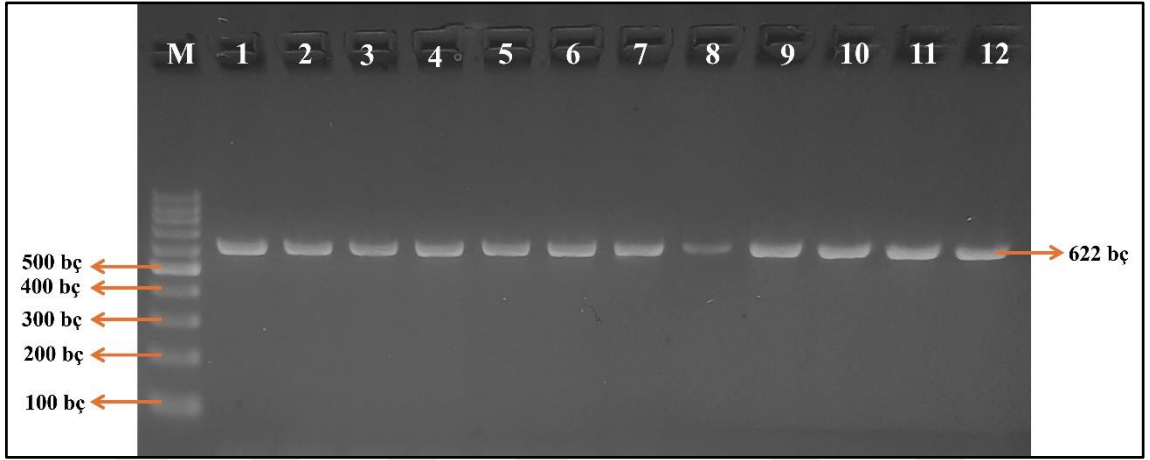
	Genotip Frekansları			Allel Frekansları			
	AA	AB	BB	A	B	χ^2	p
Frekans	0.23	0.68	0.9	0.57	0.43	14.9915	0.0001
Gözlenen	23	68	9				
Beklenen	32.49	49.02	18.49				

BLG geninin allel ve genotip frekanslarına ilişkin Tablo 9 incelendiğinde; BLG geninin A ve B allel frekansları sırasıyla 0.57 ve 0.43 olarak; BLG geninin AA, AB ve BB genotip frekansları ise sırasıyla 23.0, 68.0 ve 9.0 olarak saptanmıştır. Bu verilere göre, AB genotipi popülasyonda baskın olup heterozigot bireylerin oranı yüksektir. Hardy-

Weinberg denge testi sonucunda BLG genine ait genotiplerin dağılımı popülasyonun denge durumunda olmadığını göstermektedir ($\chi^2 = 14.9915$, $p < 0.05$).

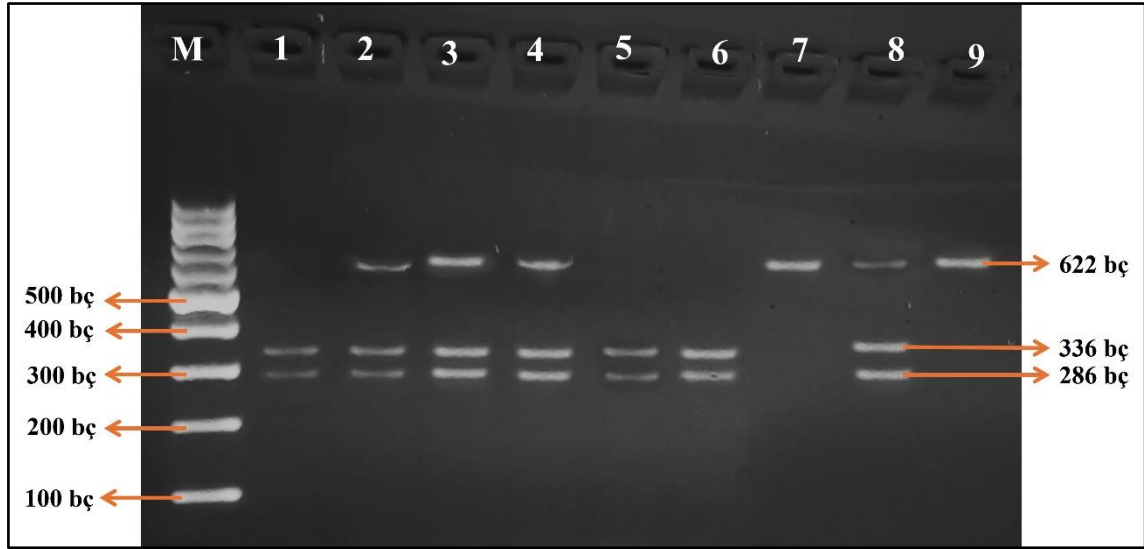
4.2. Kalpastatin (CAST) Genine ait Bulgular

PCR işlemi ile CAST geninin 1C/1D ekzonunda yer alan 622 bp'lik kısmı çoğaltılmıştır. PCR ürünlerinin agaroz jel elektroforezinde yürütülmesi sonucu oluşan görüntüsü Şekil 10'da sunulmuştur.



Şekil 10. Akkaraman koyunlarına ait CAST geninin 622 bp'lik PCR ürünlerinin agaroz jel görüntüsü (M: 100 bp'lik DNA merdiveni).

PCR ürünlerine *MspI* kesim enzimi uygulanmış ve kesim ürünlerinin agaroz jel elektroforezinde yürütülmesi sonucu oluşan görüntüsü Şekil 11'de verilmiştir.



Şekil 11. CAST geninin kesim sonrası agaroz jel görüntüsü (M: 100 bç'lik DNA merdiveni; 1, 5, 6: MM; 2, 3, 4, 8: MN; 7, 9: NN)

Şekil 11'de görüldüğü gibi, MM genotipli bireylerde 336 ve 286 bç'lik 2 bant, MN genotipli bireylerde 622, 336 ve 286 bç'lik 3 bant ve NN genotipli bireylerde ise 622 bç'lik tek bant elde edilmiştir.

Kesim sonrası elde edilen bant desenlerine göre koyunların CAST genotipleri belirlenmiştir. CAST genine ait allel ve genotip frekansları Tablo 10'da sunulmuştur.

Tablo 10. CAST genine ait allel ve genotip frekanslar.

	Genotip Frekansları			Allel Frekansları			
	MM	MN	NN	M	N	χ^2	p
Frekans	0.61	0.34	0.05	0.78	0.22	0.0087	0.9257
Gözlenen	61	34	5				
Beklenen	60.84	34.32	4.84				

Tablo 10 incelendiğinde, CAST geninin M ve N allellerinin frekanslarının sırasıyla 0.78 ve 0.22 olarak, MM, MN ve NN genotip frekanslarının ise sırasıyla 61.0, 34.0 ve 5.0 olarak gerçekleşmiştir. CAST geni açısından, MM genotipi popülasyonda baskındır. Ki-kare testi sonucunda, genotip dağılımlarının istatistiksel olarak Hardy-Weinberg dengesinde olduğu tespit edilmiştir ($\chi^2=0.0087$, $p>0.05$).

5. TARTIŞMA VE SONUÇ

Bu çalışmada, Akkaraman koyunlarında BLG ve CAST genlerine ait polimorfizmler, PCR-RFLP yöntemi kullanılarak belirlenmiştir. Elde edilen genotip ve alel frekansları, bu ırkın genetik çeşitliliğini ve ilgili genlerin varyasyon düzeyini ortaya koymuştur. Elde edilen sonuçlar, daha önce farklı koyun ırklarında yürütülen benzer çalışmalarla karşılaştırılarak değerlendirilmiştir.

BLG genine ait genotip ve alel frekanslarının incelenmesi sonucunda, en yüksek genotip frekansı 68 ile heterozigot AB genotipine aitken, bunu 23 ile AA ve 9 ile BB genotipleri takip etmiştir. Alel frekansları bakımından ise A alleli 57 ile B allele (43) göre daha yüksek frekansa sahiptir. Ancak, gözlenen ve beklenen genotip frekansları arasındaki fark istatistiksel olarak anlamlı bulunmuş ($\chi^2 = 14.9915$, $p = 0.0001$), bu da popülasyonun Hardy-Weinberg dengesi altında olmadığını göstermektedir. Bu dengesizlik; seçim, göç, küçük popülasyon etkisi ya da diğer evrimsel faktörlerin etkisiyle açıklanabilir. Elde edilen bu sonuçlar, BLG geni bakımından Akkaraman koyunlarının genetik yapısında belirli bir yönelim ya da seçim baskısının olabileceğine işaret etmektedir. Literatürde farklı koyun ırklarında yapılan benzer çalışmalarla karşılaştırıldığında, özellikle AB genotipinin yüksekliği bazı ırklarda da gözlemlenmiş ve bu genotipin süt bileşimi veya verimiyle ilişkilendirilebileceği yönünde bulgular elde edilmiştir.

Bu çalışmada BLG genine ait genotip ve alel frekansları belirlenmiş, elde edilen bulgular literatürdeki farklı koyun ırklarına ait verilerle karşılaştırılmıştır.

Literatürdeki birçok çalışma ile benzer şekilde, Bu çalışmada da AB genotipinin baskın olduğu görülmektedir. Örneğin, Norduz koyunlarında yapılan iki ayrı çalışmada AB genotipi sırasıyla %69.6 (Çak ve ark., 2024) ve %58.82 (Şahin ve ark., 2011) oranında tespit edilmiştir. Çine Çaparı (Erdoğan, 2010; %45.3), Kangal (%54.76) ve Karakaş (%47.62) ırklarında da benzer şekilde AB genotip frekansı yüksektir.

BLG geninin A alleli frekansı açısından mevcut çalışmada elde edilen %57 değeri, Tuj (%56.25), Gökçeada (%55.26) ve Kıvrıkcık (%58.62) gibi ırklarla benzerlik göstermektedir (Elmaci ve ark., 2006; Şahin ve ark., 2011). Buna karşılık, Sakız ırkında

A alleli oldukça baskın olup frekansı %95.12 olarak bildirilmiştir (Elmaci ve ark., 2006), bu sonuç mevcut çalışmadaki bulgudan oldukça yüksektir.

BLG geni BB genotipi, bu çalışmada düşük frekansa sahipken (%9), Çine Çaparı (%46.9; Erdoğan, 2010) ve Munjal (%41; Malik ve ark., 2024) gibi bazı ırklarda bu genotip çok daha yüksek oranlarda bildirilmiştir. Özellikle Munjal ve Pramenka (%23; Rustempašić ve ark., 2018) ırklarında BB genotipinin daha baskın olabileceği görülmektedir. Bu farklılıklar, ırklar arası genetik yapı farklılıklarına ve çevresel faktörlerin etkisine bağlanabilir.

Dakheel ve ark. (2021) tarafından Irak Awassi koyunlarında yapılan çalışmada AB genotipi %37, BB %34 ve AA %29 olarak belirlenmiştir. Bu değerler mevcut çalışmadaki frekanslardan önemli ölçüde farklılık göstermektedir. Bununla birlikte, Dakheel ve ark. (2021) yapmış olduğu çalışmada da Hardy-Weinberg dengesinin sağlandığı bildirilmişken, bu çalışmada popülasyonun denge durumunda olmadığı belirlenmiştir. Bu durum, popülasyonun yapısı, seleksiyon baskıları ya da örnekleme farklılıkları ile açıklanabilir.

Yüksek AB genotipi frekansı, literatürde süt verimi ile olumlu ilişkilendirilmiş olup (Selionova ve ark., 2021; Malik ve ark., 2024), tez çalışması popülasyonunda bu genotipin yüksek frekansı, genetik ıslah programları açısından önemli bir potansiyel taşımaktadır. Ancak BB genotipinin düşük frekansı, süt yağ ve protein oranları gibi bazı özellikler açısından sınırlı bir varyasyon sunabileceğini göstermektedir.

Çalışmada BLG geninde gözlenen yüksek AB genotip frekansı ve Hardy-Weinberg dengesinden sapma, bu popülasyonda genetik yapının farklılaştığını ve seçim baskılarının ya da genetik sürüklenmenin etkili olabileceğini düşündürmektedir. Bu sonuçlar, BLG geni üzerine yapılacak daha geniş kapsamlı çalışmaların verim özellikleriyle ilişkili genetik varyasyonları daha ayrıntılı ortaya koyabileceğini göstermektedir. Ayrıca, BLG genotiplerinin süt verimi ve bileşimiyle olan ilişkilerinin ırka özgü olarak değerlendirilmesi, gelecekteki ıslah programlarının yönlendirilmesi açısından büyük önem taşımaktadır.

CAST genine ait analizler sonucunda, en yüksek genotip frekansı 61 ile homozigot MM genotipine aitken, bunu 34 ile heterozigot MN ve 5 ile homozigot NN genotipi takip etmiştir. Allel düzeyinde değerlendirildiğinde ise M allelinin 78 gibi yüksek bir frekansa sahip olduğu, N allelinin ise 22 oranında bulunduğu gözlenmiştir. Gözlenen ve beklenen genotip frekansları arasında istatistiksel olarak anlamlı bir fark bulunmamıştır ($\chi^2 = 0.0087$, $p = 0.9257$), bu da CAST geninin Hardy-Weinberg dengesi altında olduğunu göstermektedir. Bu durum, popülasyonda bu gen açısından herhangi bir seçim baskısının olmadığını ve popülasyonun rastlantısal olarak çiftleştiğini düşündürmektedir. M allelinin yüksek frekansı, bu allelin Akkaraman koyunlarında yaygın olduğunu göstermekte olup, bazı çalışmalarda M allelinin et kalitesiyle ilişkili olumlu etkiler gösterdiği belirtilmiştir. Bu nedenle, elde edilen veriler ıslah programlarında M allelini taşıyan bireylerin tercih edilmesine olanak sağlayabilir. Literatürde farklı koyun ırklarında CAST geni üzerine yapılan çalışmalarda da benzer allel dağılımları gözlenmiş, ancak bazı ırklarda N alleleline ait daha yüksek frekanslar rapor edilmiştir. Bu farklılıklar, ırk, çevre koşulları ve seleksiyon stratejilerine bağlı olarak değişiklik gösterebilir.

Çalışmada elde edilen bulgular, farklı koyun ırklarında yapılan benzer çalışmalarla karşılaştırıldığında hem genotip hem de allel düzeyinde benzerlikler ve bazı farklılıklar ortaya koymaktadır. Pek çok çalışmada M alleli, N alleleline göre daha yüksek frekansta tespit edilmiştir.

Norduz koyunlarında MM, MN ve NN genotip frekansları sırasıyla %64.7, %27.5 ve %7.8 olarak belirlenmiştir (Yılmaz ve ark., 2024). Bu oranlar, mevcut çalışmadaki MM ve MN genotip oranlarına oldukça yakındır. Benzer şekilde, Zel ırkında MM %62, MN %26 ve NN %12 oranlarında belirlenmiş; burada da M alleli baskın çıkmıştır (Gharahveysi ve ark., 2012).

İvesi koyunlarında yapılan iki farklı çalışmada ise genotip dağılımları farklılık göstermektedir. Balcıoğlu ve ark. (2014), MM: %50, MN: %19, NN: %31 olarak bildirirken; Dokgöz ve Özcan (2024) çalışmasında MM: %60, MN: %30 ve NN: %10 olarak rapor edilmiştir. Bu durum, aynı ırkta dahi genetik yapının yetiştirici bölgesi veya popülasyon büyüklüğüne bağlı olarak değişebileceğini göstermektedir. Bu çalışmadaki

NN oranı literatür sonuçlarından düşük kalmakla birlikte, genel eğilim olan M allelinin baskınlığı korunmuştur.

Karagül ırkında genotip dağılımı çalışmadan çalışmaya değişkenlik göstermektedir. Shahroudi ve ark. (2006), MM: %61, MN: %36, NN: %3 şeklinde rapor etmiş ve bu oranlar mevcut çalışmadaki değerlerle büyük oranda örtüşmektedir. Ancak Avanus (2015), Karagül ırkı için MN genotipini %53.3 oranında, MM'yi ise %46.7 oranında tespit etmiştir. Bu fark, çevresel faktörler, yetiştirme sistemi ve genetik çeşitlilik gibi parametrelerin etkisini göstermektedir.

Morkaraman ırkında yapılan üç çalışmada da M allelinin baskın olduğu görülmektedir. Balcıoğlu ve ark. (2014) %79, Avanus (2015) %57.2 ve Daldaban ve ark. (2025) %40 oranında MM genotipini tespit etmişlerdir. Daldaban ve ark. (2025) çalışmasında MN oranının daha yüksek olması (MN: %51), bu popülasyonda N allelinin daha yaygın hale geldiğine işaret etmektedir. Buna karşın, bu tez çalışmasındaki N alleli oranı (%22) bu değerlerin altında kalmaktadır.

Karakaş, Karayaka ve Kangal ırklarında MM genotipi sırasıyla %82, %85 ve %84 gibi oldukça yüksek oranlarda belirlenmiştir (Balcıoğlu ve ark., 2014). Bu oranlar, çalışmadaki MM oranından yüksek olsa da, genel eğilim olan M allelinin baskınlığı ile örtüşmektedir. İmroz ırkında MM genotip oranı %92.6 gibi oldukça yüksek bir seviyede tespit edilmiştir (Avanus, 2015), bu da belirli yerli ırklarda M allelinin sabitlenmeye yakın düzeyde olduğunu göstermektedir.

Buna karşın, Pırlak ve Tsigai ırklarında heterozigot bireylerin oranı dikkat çekici şekilde yüksektir. Pırlak koyunlarında MN genotip frekansı %69.6 (Özkan ve Şahin Semerci, 2025) ve Tsigai ırkında %64 (Ardıçlı ve ark., 2022) olarak bildirilmiştir. Bu, bu popülasyonlarda N allelinin daha yaygın olduğunu ve MM genotipine kıyasla MN bireylerin selektif olarak daha avantajlı olabileceğini düşündürmektedir.

Genel olarak değerlendirildiğinde, farklı ırk ve bölgelerde M allelinin çoğunlukla baskın olduğu; ancak bazı popülasyonlarda N allelinin frekansının belirgin şekilde arttığı gözlemlenmektedir. Bu çalışmadaki M:N oranı (0.78:0.22), genel eğilimi yansıtmakla birlikte, düşük NN oranı bu allelin popülasyonda sınırlı düzeyde yer aldığını

göstermektedir. Hardy-Weinberg dengesinin sağlanmış olması, popülasyonun rastgele çiftleştiğine ve seleksiyon baskısının sınırlı olduğuna işaret etmektedir.

CAST geni için elde edilen genotip ve allel frekansları, mevcut popülasyonun genetik yapısı hakkında önemli bilgiler sunmaktadır. Farklı çalışmalarla karşılaştırıldığında, belirli ırklarda genotip frekanslarındaki değişimin bölgesel yetiştiricilik koşulları, popülasyon büyüklüğü, seleksiyon baskıları ve genetik sürüklenme gibi faktörlerden kaynaklanabileceği düşünülmektedir. Bu nedenle, genetik yapıların izlenmesi ve genotip frekanslarının takip edilmesi, ıslah programlarının planlanmasında temel bir rol oynamaktadır.

Sonuç olarak, BLG geninde AB genotipinin yüksek oranda (%68.0) bulunması, heterozigot bireylerin popülasyonda yaygın olduğunu göstermektedir. Literatürde bu genotipin daha yüksek süt verimi, protein ve yağ içeriğiyle ilişkilendirildiği dikkate alındığında, bu bireylerin süt kalitesi bakımından genetik olarak avantajlı olabileceği düşünülmektedir. CAST geninde ise MM genotipinin baskın (%61.0) olması, bu popülasyonda M allelinin yaygın olduğunu ve bu alelle ilişkili kas gelişimi ve et kalitesi özelliklerinin ön planda olabileceğini göstermektedir. Gelecekteki çalışmalarda, bu genotiplerin süt verimi, süt bileşimi ve et kalitesi parametreleri ile olan doğrudan fenotipik ilişkileri araştırılması faydalı olacaktır. Akkaraman koyunlarında BLG ve CAST genlerinin popülasyon içi dağılımı, bu ırkın ıslah potansiyeli açısından önemli bir genetik kaynak sunduğunu ortaya koymuştur.

KAYNAKLAR

- Acıbadem. PCR Nedir? PCR testi ve kullanım alanları [Internet]. 2025 [erişim tarihi 5 Ağustos 2025]. Erişim adresi: <https://www.acibadem.com.tr/ilgi-alani/pcr-nedir-neden-yapilir/>
- Akçapınar H. Koyun Yetiştiriciliği. Ankara: İsmat Matbaacılık; 2000.
- Aksoy A, Yavuz F. Çiftçilerin küçükbaş hayvan yetiştiriciliğini bırakma nedenlerinin analizi: Doğu Anadolu bölgesi örneği. *Anadolu Tarım Bilim Derg.* 2012;27(2):76-79.
- Anonim. Polimeraz Zincir Reaksiyonu (PCR) Yöntemi ve Real-Time PCR [Internet]. 2021 [erişim tarihi 25 Temmuz 2025]. Erişim adresi: <https://labakademi.com/polimeraz-zincir-reaksiyonu-pcr-yontemi-ve-real-time-pcr/>
- Anton I, Zsolnai A, Fesus L, Kukovics S, Molnar A. Survey of β -lactoglobulin and alfa S1-Casein polymorphism in Hungarian dairy sheep breeds and crosses on DNA level. *Arch Anim Breed.* 1999;42:387-392.
- Ardıçlı S, Üstüner H, Arslan Ö. Assessment of calpastatin and insulin-like growth factor 1 genotypes in Tsigai sheep. *J Adv VetBio Sci Tech.* 2022;7(1):29-36.
- Arzik Y, Kizilaslan M, White SN, Piel LM, Cinar MU. Estimates of genomic heritability and genome-wide association studies for blood parameters in Akkaraman sheep. *Sci Rep.* 2022;12(1):18477.
- Aslan S, Bozdoğan Ş, Uzun T, Gökmen C. Tarım Sektöründe Hayvancılık ve 50. Yılında EBK. Ankara: Et Balık Kurumu Ürünleri A.Ş. Genel Müdürlüğü; 2001.
- Ata N. Çine çaparı ve karya koyunlarda calpastatin gen polimorfizminin PCR-RFLP yöntemi ile belirlenmesi [Yüksek lisans tezi]. Aydın: Adnan Menderes Üniversitesi; 2012.
- Avanus K. Genetic variability of CAST gene in native sheep breeds of Turkey. *Kafkas Univ Vet Fak Derg.* 2015;21(6):829-834.
- Balcıoğlu M, Karşı T, Şahin E, Ulutaş Z, Aksoy Y. Türkiye’de Yetiştirilen Bazı Yerli Koyun Irklarında Kalpastatin (CAST) Geni Polimorfizminin PCR-RFLP Yöntemiyle Belirlenmesi. *J Agric Sci.* 2014;20(4):427-433.
- Bayraktar M, Shoshin O. Determination effects of SLC27A3 and β -Lactoglobulin gene polymorphisms on the milk composition in Hamdani sheep. *Appl Ecol Environ Res.* 2021;19(4):3293-3302.
- Bayraktar M, Shoshin O. Association between CAST and MSTN gene polymorphisms with growth traits in Awassi sheep. *Kuwait J Sci.* 2022;49(2):1-15.
- Bayram D, Akyüz B, Arslan K, Özdemir F, Aksel E, Çınar M. DGAT1, CAST and IGF-I gene polymorphisms in Akkaraman lambs and their effects on live weights up to weaning age. *Kafkas Univ Vet Fak Derg.* 2019;25(1):1-7.
- Büyüktekin M, Öztürk A. Effects of some factors on reproduction performance of Akkaraman sheep in breeder flocks in Konya Province, Turkey. *Selçuk J Agric Food Sci.* 2018;32(1):87-90.

- Çak B, Yılmaz O, Demirel AF. Investigation of genetic polymorphisms of CSN1S1 and BLG genes in Norduz sheep by PCR-RFLP method. *J Hellenic Vet Med Soc.* 2023a;74(4):6625-6630.
- Çak B, Keskin S, Yılmaz O, Demirel AF. Correspondence analysis to visualize the relationships between alpha-S1 casein and beta-lactoglobulin gene polymorphisms in Norduz sheep. *Van Vet J.* 2023b;34(2):163-167.
- Çak B, Dede S, Yüksek V, Yılmaz O, Demirel A. Genetic variability of alpha-casein, beta-casein, and kappa-casein genes in Holstein-Friesian, Simmental and Brown Swiss cattle. *J Hellenic Vet Med Soc.* 2025;76(1):8589-96.
- Çolaklar M. *Lactobacillus plantarum*un Beyaz Peynirlerde *Staphylococcus aureus* gelişimi üzerine etkisi [Yüksek lisans tezi]. Ankara: Ankara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü; 2012.
- Dağıstan E, Koç B, Gül A, Gül M. Koyunculuk üretim faaliyetinin faktör analizi: Orta-Güney Anadolu örneği. *YYÜ Tarım Bil Derg.* 2008;18(2):67-77.
- Dakheel MH, Fadhil IA, Al Sarai TQ, Ali RA. Polymorphism of β -lactoglobulin gene and its effect on selection program in Awassi sheep. *Indian J Ecol.* 2021;48:58-61.
- Demirel AF. Siyah Alaca sığırlarda alfa-kazein, beta-kazein ve kappa-kazein gen polimorfizminin süt verimi ve süt bileşenlerine etkisinin PCR-RFLP yöntemiyle araştırılması [Doktora tezi]. Van: Van Yüzüncü Yıl Üniversitesi Sağlık Bilimleri Enstitüsü; 2019.
- Demirel AF. β -Karoten oksijenaz 2 (BCO2) geni ve verimler üzerine etkisi. Demirel AF, Yılmaz O, Editörler. *Uygulamalı Bilimlerde Güncel Çalışmalar-II*. Ankara: İksad Yayınevi; 2024.
- Demirel AF, Çak B. Associations between polymorphisms of the CSN1S1, CSN1S2, CSN2 and CSN3 genes and milk composition traits in Holstein cattle. *Vet Med Sci.* 2025;11(3):e70334.
- Dincel D, Ardıçlı S, Soyudal B, Er M, Alpay F, Şamlı H, Balcı F. Analysis of FecB, BMP15 and CAST gene mutations in Sakiz sheep. *Kafkas Univ Vet Fak Derg.* 2015;21(4):559-564.
- Doğanay H, Özdemir Ü, Şahin İF. Genel Beşeri ve Ekonomik Coğrafya. 13. Baskı. Ankara: Pegem Akademi Yayıncılık; 2025.
- Dokgöz M, Özcan BD. Relationship of Calpastatin Gene Polymorphism with Growth Traits in Some Locally Reared Awassi and Akkaraman Sheep Breeds. *Osmaniye Korkut Ata Univ J Sci Inst.* 2024;7(5):2364-2373.
- Đokić M, Marković B, Gantner V, Marković M. Association of genetic variants of β -lactoglobulin gene with milk traits of jezeropivska sheep breed. *Agric For.* 2020;66(3):109-120.
- Dybus A. Associations between Leu/Val polymorphism of growth hormone gene and milk production traits in Black-and-White cattle. *Arch Tierz.* 2002;45:421-428.
- Elmacı C, Öner Y, Balcıoğlu MS. Genetic Polymorphism of β -Laktoglobulin Gene in Native Turkish Sheep Breeds. *Biochem Genet.* 2006;44(7-8):381-386.

- Erdoğan F. Yerli Gen Kaynağı Çine Çaparı Koyunlarının Süt Verim Özellikleri ve Beta Laktaglobulin Gen Polimorfizmi [Yüksek lisans tezi]. Aydın: Adnan Menderes Üniversitesi; 2010.
- Ertuğrul M, Dellal G, Soysal İ, Elmacı C, Akın O, Arat S, Yılmaz O. Türkiye yerli koyun ırklarının korunması. Uludağ Univ Ziraat Fak Derg. 2009;23(2):97-119.
- FAOSTAT 2022. Crops and livestock products [Internet]. [erişim tarihi 20 Eylül 2024]. Erişim adresi: <https://www.fao.org/faostat/en/#data/QCL>
- Gabor M, Trakovická A, Miluchová M. Analysis of polymorphism of CAST gene and CLPG gene in sheep by PCR-RFLP method. Sci Pap Anim Sci Biotechnol. 2009;42(2):470.
- Gharahveysi S, Abbasi HA, Irani M, Abdollahpour R, Mirhabibi S. Polymorphism investigation of calpastatin gene in Zel sheep population of Iran by PCR-RFLP method. Afr J Biotechnol. 2012;11:3211-4.
- Goll DE, Thompson VF, Li H, Wei W, Cong J. The calpain system. Physiol Rev. 2003;83:731-801.
- Gül S, Oflaz N, Keskin M, Behrem S. Aksaray ilinde koyun yetiştiriciliğinin yapısal özellikleri. Erciyes Tarım Hayvan Bilim Derg. 2022;5(2):1-11.
- Günaydın G. Koyun yetiştiriciliğinin ekonomi politiği. Uludağ Üniv Ziraat Fak Derg. 2009;23(2):15-32.
- Hakkâri Valiliği. Hakkâri ili hakkında [Internet]. 2025 [erişim tarihi 5 Ağustos 2025]. Erişim adresi: <https://www.hakkari.gov.tr>.
- Kabasakal A, Dünder E, Ün C, Seyrek K. Analysis of kappa-casein (κ -casein) gene of associated with milk yield on Turkish Grey cattle breed. Van Vet J. 2015;26(2):87-91.
- Kahraman M, Yüceer Özkul B. Akkaraman, Bafra ve Bafra x Akkaraman F1 koyunlarda süt verimi ve bazı süt kalitesi özellikleri. Eurasian J Vet Sci. 2020; 36(2):86-95.
- Kaymakçı M. İleri Koyun Yetiştiriciliği. 1. Baskı. İzmir: Meta Basım Matbaacılık Hizmetleri; 2016.
- Khederzadeh S. Polymorphism of calpastatin gene in crossbreed Dalagh sheep using PCR-RFLP. Afr J Biotechnol. 2011;10:10839-41.
- Küçük M, Akçapınar H. Akkaraman, Alman Siyah Başlı (ASB) Etçi X Akkaraman melezi (F1) koyunlarının süt verim özellikleri. Lalahan Hay Arş Derg. 1999;39(1):33-42.
- Lazar C, Gras MA, Pelmus RS, Rotar CM. Genetic evaluation of Teleorman Black Head ewes using genes polymorphism for improving milk traits. Arch Zootechnica. 2022;25(1):60-74.
- Malik D, Magotra A, Bangar Y, Chaudhari M, Chaudhary P, Garg AR. Evaluation of β -Lactoglobulin gene polymorphism with milk composition and udder conformation traits in indigenous sheep. Small Rumin Res. 2024;233:107222.
- Maddock Carlin KR, Steadham E, Huff-Lonergan E, Lonergan SM. Formation of the calpain-1/calpastatin complex promotes activation of calpain-1 under oxidizing conditions. J Anim Sci. 2024;102:skae135.

- Mele M, Conte G, Serra A, Buccioni A, Secchiari P. Relationship between beta-lactoglobulin polymorphism and milk fatty acid composition in milk of Massese dairy ewes. *Small Rumin Res.* 2007;73(1-3):37-44.
- Mundan D, Özbeyaz C. Akkaraman, Kıvrıkcık X Akkaraman G1 ve Sakız X Akkaraman G1 Koyunlarda Süt Verim Özellikleri ile Kuzularda Büyüme ve Yaşama Gücü. *Lalahan Hay Arş Derg.* 2004;44(2):23-35.
- Nanekarani S, Asadi N, Khederzadeh S. Genotypic frequency of calpastatin gene in Lori sheep by PCR-RFLP method. In: 2nd International Conference on Environmental Science and Development IPCBEE; 2011; Singapore. Singapore: IACSIT Press; 2011a. p.148-50.
- Nanekarani S, Khederzadeh S, Kaftarkari AM. Genotypic frequency of calpastatin gene in Atabi sheep by PBR method. In: International Conference on Food Engineering and Biotechnology IPCBEE; 2011; Singapore. Singapore: IACSIT Press; 2011b. p.189-92).
- Nosrati M, Nanaei HA, Javanmard A, Esmailizadeh A. The pattern of runs of homozygosity and genomic inbreeding in world-wide sheep populations. *Genomics.* 2021;113(3):1407-1415.
- Ocak E. Van ve yöresinde üretilen kış yoğurtlarının duyuşal, mikrobiyolojik, fiziksel ve kimyasal nitelikleri üzerine bir araştırma [Yüksek lisans tezi]. Van: YYÜ Fen Bilimleri Enstitüsü; 1996.
- Özbeyaz C. Sığır yetiştiriciliği. Ankara: Ankara Üniversitesi Veteriner Fakültesi Zootečni Anabilim Dalı; 2012.
- Özkan B, Semerci EŞ. Pırlak Koyunlarında Kalpastatin (CAST) ve Miyostatin (MSTN) Gen Polimorfizmleri. *ÇOMÜ Ziraat Fak Derg.* 2025;13(1):115-122.
- Özşensoy Y, Kurar E. Markör Sistemleri ve Genetik Karakterizasyon Çalışmalarında Kullanımları. *J Cell Mol Biol.* 2012;10(2):11-9.
- Paksoy M, Özçelik A. Kahramanmaraş İlinde Süt Üretimine Yönelik Keçi Yetiştiriciliğine Yer Veren Tarım İşletmelerinin Ekonomik Analizi. *Ankara Tarım Bilim Derg.* 2008;14:420-427.
- Palmer BR, Robert N, Hickford JGH, Bickerstaffe G. Rapid comunication: PCR-RFLP for MSPI and NCOI in the ovine calpastatin gene. *J Anim Sci.* 1998;76:1499-1500.
- Primi R, Bernabucci G, Evangelista C, et al. Ecosystem Services Linked to Extensive Sheep and Goat Farming in Mountain Areas: A Global Literature Analysis Using Text Mining and Topic Analysis. *Animals.* 2025;15(3):350.
- Ritchie H, Roser M. Meat and dairy production [Internet]. 2017 [erişim 25 Temmuz 2025]. Erişim adresi: <https://ourworldindata.org/meat-production>
- Rustempašić A, Dokso A, Zečević E, Hodžić A, Hrković-Porobija A, Sarić Z, Miskoska-Milevska E, Popovski Z, Brka M. Polymorphism of β -lactoglobulin in Pramenka sheep breed in Bosnia and Herzegovina. *J Anim Plant Sci.* 2018;28(1):168-172.
- Sacca E, Corazzin M, Bovolenta S, et al. Meat quality traits and the expression of tenderness-related genes in the loins of young goats at different ages. *Anim.* 2019;13(10):2419-2428.

- Selionova M, Evlagina D, Svetlichny S. Lacaune sheep beta-lactoglobulin (β -LG) gene polymorphism and the relationship of its genotypes to milk productivity indices. In: Int Sci Conf Fundamental and Applied Scientific Research in the Development of Agriculture in the Far East; 2021; Cham. Cham: Springer Int Publ; 2021. p.270-6.
- Sevinç G, Şahin Z, Aydoğdu MH. Türkiye'nin küçükbaş hayvan varlığı ile süt üretimindeki gelişmelerin son dönemlerindeki trend analizi. ASR J. 2022;35(7):377-384.
- Schlee P, Rottmann O. Sheep β -lactoglobulin: determination of alleles A and B by PCR and RFLP analysis using plucked hair as a source of DNA. In: Genetic Conservation of Domestic Livestock. Vol. 2. Wallingford: CAB Int; 1992. p.243-6.
- Shahrudi FE, Nassiry MR, Valizadh R, HeraviMoussavi A, Pour MT, Ghiasi H. Genetic polymorphism at MTNR1A, CAST and CAPN loci in Iranian Karakul sheep. Iran J Biotechnol. 2006;4:117-22.
- Suleman M, Khan SU, Riaz MN, Yousaf M, Shah A, Ishaq R. Calpastatin (CAST) gene polymorphism in Kajli, Lohi and Thalli sheep breeds. Afr J Biotechnol. 2012;11(47):10655-60.
- Surov AI, Skorykh LN, Skokova AV, Omarov AA, Fominova IO. Polymorphisms of Growth Hormone and Calpastatin Genes and Their Association with Sheep Meat Quality. Russ Agric Sci. 2023;49(Suppl 2):S333-8.
- Sutikno S, Yamin M, Sumantri C. Association of polymorphisms calpastatin gene with body weight of local sheep in Jonggol, Indonesia. Media Peternakan. 2011;34(1):1-1.
- Şahin E, Karşı T, Balcıoğlu MS. Beta-Lactoglobulin gene types in Turkish fat-tailed sheep breeds. Kafkas Univ Vet Fak Derg. 2011;17(6):1031-1033.
- Tamer B. Yozgat Merkez İlçede Koyunculuk Yapan İşletmelerin Sosyo-Ekonomik Yapısı ve Üretim Maliyetlerinin Araştırılması [Yüksek lisans tezi]. Kayseri: Erciyes Üniversitesi, Sağlık Bilimleri Enstitüsü; 2014.
- TÜİK. Hayvancılık istatistikleri [Internet]. 2025 [erişim tarihi 25 Temmuz 2025]. Erişim adresi: <https://data.tuik.gov.tr>
- TÜİK. Süt ve süt ürünleri üretim miktarı [Internet]. 2023 [erişim tarihi 25 Temmuz 2025]. Erişim adresi: <https://www.tuik.gov.tr>
- Uzabacı E, Dincel D. Associations between c.2832A>G polymorphism of CAST gene and meat tenderness in cattle: a meta-analysis. Kafkas Univ Vet Fak Derg. 2022;28(5):613-20.
- Vigne JD. The origins of animal domestication and husbandry: a major change in the history of humanity and the biosphere. C R Biol. 2011;334(3):171-81.
- Yeh FC, Yang RC, Boyle T, Ye Z, Xian JM. POPGENE version 1.32: Microsoft Windows-based freeware for population genetics analysis quick user guide. Alberta: University of Alberta and CIFOR; 1997.
- Yerlikaya O, Karagözlü C. Koyun sütünün beslenmedeki önemi ve teknolojik özellikleri. Süt Dünyası Dergisi. 2008;14:58-61.
- Yıldırım İ. Van ili Çatak ilçesinde koyunculuk işletmelerinin üretim ekonomisi ve pazarlaması [Doktora tezi]. İzmir: Ege Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü; 1993.

Yılmaz O, Çak B, Demirel AF. Investigation of calpastatin (CAST) gene polymorphism in Norduz sheep by PCR-RFLP method. J Hellenic Vet Med Soc. 2024;75(2):7451-6.

Zhou H, Hickford JGH. Allelic polymorphism of the caprine calpastatin (CAST) gene identified by PCR-SSCP. Meat Sci. 2008;79:403-5.



ÖZGEÇMİŞ



EKLER

EK 1. Etik Kurul Raporu



EK 2. Tez Orijinallik Raporu

