

Yapay Zekâ Destekli Isı Haritası (Heatmap) Yöntemiyle Temsil Kabiliyeti Düşük Hayvancılık Anket Verilerinin Görsel Analizi: Kırsal Bir Uygulama Örneği*

Vahyettin DİLBİLİR¹, Ayşe Özge DEMİR^{2**}

¹Hakkari Damızlık Koyun Keçi Yetiştiricileri Birliği, 30300, Hakkari

²Van Yüzüncü Yıl Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Zootečni Bölümü, 65080, Van

¹<https://orcid.org/0009-0000-4268-2247>

²<https://orcid.org/0000-0001-7203-4734>

**Sorumlu yazar: aodemir@yyu.edu.tr

Araştırma Makalesi

Makale Tarihiçesi:

Geliş tarihi: 30.06.2025

Kabul tarihi: 29.09.2025

Online Yayınlanma: 16.03.2026

Anahtar Kelimeler:

Hayvancılık anketleri

Heatmap görselleştirme

Sınırlı veri setleri

Veri görselleştirme teknikleri

Yapay zeka destekli analiz

ÖZ

Kırsal bölgelerde yürütülen hayvancılık anketlerinde temsiliyetin düşük olduğu durumlar sıklıkla karşılaşılan bir sorundur. Bu tür verilerle geleneksel istatistiksel analizlerin yürütülmesi genellikle sınırlı geçerlilik ve güvenilirlik üretmektedir. Bu çalışma, saha koşullarının izin verdiği ölçüde toplanmış verilerin Yapay zekâ (YZ) destekli görselleştirme yöntemleri ile nasıl anlamlı hale getirilebileceğini göstermektedir. Heatmap tekniği kullanılarak hem demografik hem de üretimsel örüntüler açık ve karşılaştırılabilir şekilde sunulmuştur. Bulgular düşük temsiliyetli ve sınırlı veri yapılarında dahi güçlü görsel analiz çıktıları ile yönetsel ve mekânsal örüntülerin sezgisel biçimde analiz edilebileceğini göstermiştir.

Visual Analysis of Low-Representativeness Livestock Survey Data Using AI-Assisted Heatmap Methods: A Rural Case Study

Research Article

Article History:

Received: 30.06.2025

Accepted: 29.09.2025

Published online: 16.03.2026

Keywords:

Livestock surveys

Heatmap visualization

Limited datasets

Data visualization techniques

AI-assisted analysis

ABSTRACT

In livestock surveys conducted in rural areas, low representativeness is a frequently encountered issue. Traditional statistical analyses performed on such data often yield limited validity and reliability. This study demonstrates how data collected under field constraints can be made meaningful using Artificial Intelligence (AI) assisted visualization techniques. By employing the heatmap method, both demographic and production patterns have been presented in a clearly and comparably. The findings indicate that even with low representativeness and limited data structures, strong visual analysis outputs can facilitate intuitive interpretation of managerial and spatial patterns.

To Cite: Dilbilir V., Demir AO. Yapay Zekâ Destekli Isı Haritası (Heatmap) Yöntemiyle Temsil Kabiliyeti Düşük Hayvancılık Anket Verilerinin Görsel Analizi: Kırsal Bir Uygulama Örneği. Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi 2026; 9(2):725-743.

1. Giriş

Bitkisel ve hayvansal üretimle ilgili araştırmalarda güvenilir sonuçlara ulaşmak için, evreni temsil eden örneklem yapılarının oluşturulması önemlidir. Bu amaçla kullanılan tabakalı örnekleme (stratified sampling) yöntemi alt gruplar arasındaki heterojenliği ve grup içi homojenliği dikkate alarak her tabakanın (coğrafi bölge, yaş grubu, üretim tipi gibi değişkenlere göre oluşturulmuş alt grupların) adil temsiline olanak tanır (Cochran, 1977; Lohr, 2009).

Ancak sahada gerçekleştirilen zootečni çalışmaları zaman zaman lojistik zorluklar, iklimsel koşullar ve sağlık temelli engeller nedeniyle bu ve benzeri örnekleme stratejileri her zaman uygulanamayabilir (Gökmener ve Öztürk, 2022). Özellikle dağlık alanlarda faaliyet gösteren küçük ölçekli hayvancılık işletmeleri üzerinde yürütülen anket çalışmaları, temsiliyet eksikliği, bulguların genellenebilirliğini sınırlayan temel bir metodolojik kısıttır (Chambers, 1994). Chambers (1994) kırsal alanlardaki saha araştırmalarında temsiliyet eksikliğini katılımcı yöntemlerle nasıl aşmaya çalışıldığını, Groves ve ark. (2009) ise örnekleme çerçevesinin belirsizliğinin istatistiksel analizlerde nasıl metodolojik sorunlara yol açtığını detaylandırmaktadır. Ayrıca Lohr (2009) ve Babbie (2013) gibi kaynakların da örnekleme ve temsiliyet tartışmalarında kullanılması önerilmektedir.

Temsiliyet Sorunu ve Düzensiz Anket Uygulamaları

Örnekleme yapılmaksızın yürütülen anket çalışmaları aşağıdaki kısıtlara sahiptir:

1. Temsil Oranının Düşüklüğü (Low Representativeness)

Tanımsız ya da plansız bir evrende yapılan anketlerde, belirli demografik grupların aşırı temsil edilmesi ya da tamamen dışlanması sonucu istatistiksel genelleme yapılamaz. Özellikle kırsal alanlarda yapılan bitkisel üretim ya da hayvancılık temelli anketlerde bu sorun sıklıkla yaşanmaktadır (Groves ve ark., 2009).

2. Örnekleme Çerçevesinin Belirsizliği (Uncertainty of the Sampling Frame)

Örnekleme yapılmadığında, çalışma evreninin sınırları tanımlı olmadığı için örnekleme çerçevesi oluşturulamaz. Bu durum, çalışmanın geçerlilik (validity) ve güvenilirlik (reliability) değerini zayıflatır (Babbie, 2013).

3. Seçim Yanlılığı (Selection Bias)

Gönüllü katılım ya da saha kolaylığına göre örnek alınması, verilerin sistematik şekilde belirli gruplarda yoğunlaşmasına neden olur. Seçim yanlılığı, dışsal geçerliliği zayıflatarak evrenin bazı segmentlerinin sistematik dışlanmasına yol açmaktadır (Dillman ve ark., 2014).

4. İstatistiksel Analiz Uygulamalarındaki Kısıtlar (Limitations in the Applicability of Statistical Analysis)

Temsil oranı düşük olan anket setlerinde betimsel istatistikler sınırlı bilgi sağlar, yüksek düzey parametrik/non-parametrik analizlerin yapılması ise istatistiksel anlamlılık açısından hatalı sonuçlara yol açabilir. Bu nedenle, kümeleme, regresyon veya genelleştirilebilir testler bu tür verilerde dikkatle kullanılmalıdır (Groves ve ark., 2009; Lohr, 2009).

5. Tutarlı Olmayan Anket Yönetimi ve Veri Kalitesi Üzerindeki Etkisi (Inconsistent Survey Administration and Its Impact on Data Quality)

Uygun yöntem eğitimi almamış saha personeli (anketör) ya da sistemsiz anket akışı, hem soru sorma hem de yanıt kaydetme biçimlerinde hatalara neden olur. Bu da veri kalitesini düşürür ve ölçme geçerliliğini zedeler (Bryman, 2016). Doğrudan gözleme dayalı olarak elde edilen verilerin yorumlanmasında, ısı haritası gibi görsel analiz teknikleri önemli katkı sağlamaktadır. Isı haritası yöntemleri, örüntülerin keşfedilmesi ve mekânsal/kategorik ilişkilerin ortaya konulması açısından güçlü bir araçtır (Słomska-Przech ve ark., 2021). Bu tekniğine ilişkin avantaj ve kısıtlar karşılaştırmalı olarak yapılandırılmış ve sistematik biçimde sunulmuştur (Tablo 1).

Tablo 1. Isı haritası tekniğinin görsel veri analizinde kullanımına ilişkin avantajları ve kısıtları

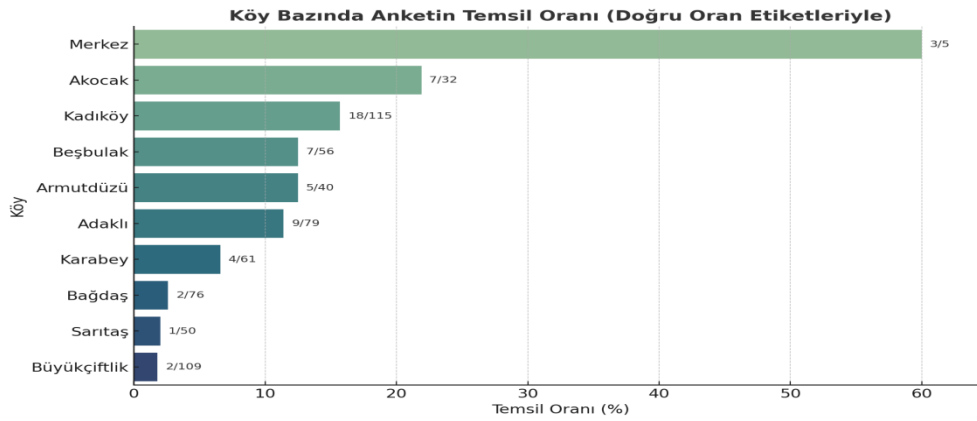
Isı Haritası	Kategori	Açıklama	Referans
Avantajları	Karmaşık Verilerin Görselleştirilmesi	Isı haritaları, özellikle farklı kategoriler veya gruplar arasında nicel verilerin dağılımını görselleştirmek için oldukça uygundur. Yüksek boyutlu verilerdeki örüntüleri renk tonları üzerinden hızlıca algılamayı sağlar	Wilkinson ve Friendly, 2009
	Örüntülerin ve Anormalliklerin Belirlenmesi	Verilerdeki sistematik farklar, aykırı değerler ve kümelenmeler renk geçişleri aracılığıyla kolayca fark edilebilir. Bu yönüyle karar destek süreçlerine katkı sağlar	Bertin, 2010
	Korelasyon ve Fark Analizlerinde Etkisi	Özellikle iki değişken grubu arasındaki farkların ya da ilişki düzeylerinin mekânsal ya da kategorik düzeyde yorumlanmasında kullanılabilir	Netek ve ark., 2019
	Kolay Okunabilirlik ve Sunum Gücü	Akademik sunumlarda veya raporlarda izleyiciye/okuyucuya etkili bilgi aktarımı sağlar. Görsellik sayesinde çok sayıda değişkenin karşılaştırması sade bir yapıyla sunulabilir	Słomska-Przech ve ark., 2022
	Kullanıcı Deneyimi ve Etkileşim	Isı haritalarının kullanıcı arayüzü öğeleriyle etkileşim hacmini sezgisel bir şekilde gösterebilir	Davila ve ark., 2023
Kısıtları	Nicel Hassasiyetin Kaybı	Renk skalası genellikle sınırlı sayıda ton içerdiğinden, küçük sayısal farklar görsel olarak ayırt edilemeyebilir. Bu durum özellikle düşük varyanslı verilerde bilgi kaybına neden olabilir	Haroz ve Whitney, 2012
	Renk Tercihlerinin Yorum Etkisi	Kullanılan renk paletleri, verinin anlamlandırılmasını subjektif hale getirebilir. Örneğin, sıcak renklerin olumsuzlukla, soğuk renklerin ise olumlu sonuçlarla ilişkilendirilmesi yanlış algılara neden olabilir	Borland ve Taylor II, 2007
	Eksik Verilerin Yönetimi Zordur	Isı haritalarında eksik veriler genellikle boş bırakılır veya nötr bir renkle gösterilir. Bu da eksik verilerin analiz üzerinde etkisinin göz ardı edilmesine yol açabilir	Alsufyani ve ark., 2024
	Aşırı Kategorileştirme Karmaşaya Yol Açabilir	Çok fazla satır veya sütunun olduğu veri setlerinde görsel karmaşa artar ve bu durum yorumlamayı güçleştirebilir	Friendly, 2002

Bu saha çalışmasında eksik örneklem nedeniyle klasik analiz yaklaşımlarının yetersiz kaldığı durumda, Yapay zekâ (YZ) destekli grafik tabanlı analitik yöntemlerin kullanımı ve sonuçların heatmap ile sunumunun avantajlarına değinilmiştir.

2. Materyal ve Metot

2.1. Çalışma Alanı

Çalışma Hakkari ili Yüksekova ilçesine bağlı 10 köyde küçükbaş hayvancılıkla uğraşan 58 işletmeyi kapsamaktadır. Başlangıçta, evrenin tamamına ulaşılması hedeflendiğinden olasılığa dayalı tabakalı örnekleme yöntemine başvurulmamış, bunun yerine tam sayım (census) yaklaşımı tercih edilmiştir. Hakkari İli Damızlık Koyun ve Keçi Yetiştiricileri Birliğine kayıtlı tüm işletmeler evren olarak ele alınmıştır. Ancak çeşitli sebeplerle bazı işletmelere ulaşamamış ve veri toplanamamıştır. Bu nedenle, elde edilen örneklem yapısı istatistiksel açıdan homojenlik ve temsiliyet ölçütlerini karşılamamaktadır (Şekil 1).



Şekil 1. Köy bazında anketlerin temsil oranı

2.2. Veri Yapısı

Veri seti öz bildirim temelli anket formları ile kurumsal birlik kayıtlarının entegrasyonu yoluyla bütüncül bir şekilde oluşturulmuştur. Çalışma Kıl keçisi ile Akkaraman, Morkaraman, Hamdani, İvesi koyun ırklarının yanı sıra, Akkaraman'ın varyetesi olarak kabul edilen Norduz ve Karakaş koyunlarına ait sürü büyüklüğü, işletme tipi, mera kullanımı ve göçer hayvancılık gibi işletme düzeyindeki yapısal özellikleri kapsamaktadır. İşletmelerin tamamından veri toplanamadığından, klasik listwise deletion yöntemi uygulanabilir olmamış; bu nedenle, eksik veriye sahip işletmeler analiz dışı bırakılmıştır.

2.3. Analiz Süreci

Veri analizi sürecinde, OpenAI tarafından geliştirilen YZ tabanlı büyük dil modeli (LLM) olan, çok modlu analiz kapasitesine sahip, Chat Generative Pre-trained Transformer 4.0 (ChatGPT-4), yenilikçi "Veri Analisti" özelliği aracılığıyla kullanılmıştır (Huang ve ark., 2024). Bu sistem, klasik istatistik yazılımlarında (örneğin SPSS, R, STATA) sıklıkla karşılaşılan kodlama bilgisi gerektiren geleneksel istatistiksel yazılımlara alternatif olarak, doğal dil ile yönlendirilebilen esnek ve kullanıcı dostu bir analiz altyapısı sunmaktadır (Cheng ve ark., 2023). ChatGPT-4o destekli bu analiz sürecinde, Python programlama dili içerisinde pandas (Abdennur ve ark., 2024), seaborn (Waskom, 2021) ve matplotlib (Hunter, 2007) gibi kütüphaneler kullanılarak entegre yorumlama teknikleri uygulanmış; elde edilen

çıktıların görsel ve bağlamsal işlenmesi, GPT-4o'nun çok modlu işleme kapasitesi ile desteklenmiştir (Chou ve ark., 2025).

Bu kapsamda uygulanan analiz adımları aşağıdaki gibidir:

Veri temizliği: Geçersiz girişler (örneğin “.” sembolü), NaN (eksik değer) olarak yeniden kodlanmış ve bu gözlemler analiz dışında bırakılmıştır (Little ve Rubin, 2019).

Gruplama ve özetleme: Köy, işletme tipi ve göçerlik durumu gibi kategorik değişkenler, groupby ve pivot_table fonksiyonları aracılığıyla yeniden yapılandırılarak özetlenmiş; örüntülerin karşılaştırmalı analizi sağlanmıştır (McKinney, 2022).

Isı haritası üretimi: Her köydeki işletme başına düşen hayvan sayısı, mera kullanımı ve benzeri parametreler, doğrudan sayısal değerlerle renklendirilmiş ısı haritaları (heatmaps) ile görselleştirilmiştir (Waskom, 2021).

Renk ve erişilebilirlik: Tüm grafiklerde yüksek kontrastlı ve renk görme eksikliği (CVD) duyarlı paletler (ör. Set2, tab10) kullanılarak sezgisel ve erişilebilir bir görsel temsil sağlanmıştır (Nunez ve ark., 2017).

ChatGPT-4o'nun çok modlu işleme kapasitesi sayesinde analiz sürecinde oluşabilecek sessiz hatalar (invisible errors) etkin şekilde tespit edilmiş; kullanıcı etkileşimiyle yürütülen açıklamalı çıktı üretimi sayesinde analiz süreci şeffaf ve yeniden üretilebilir hâle getirilmiştir (Kamoi ve ark., 2024). Özellikle küçük örneklemli kırsal hayvancılık verilerinde, modelin hem istatistiksel hem de görsel doğruluğu artıran özellikleri, politika yapıcılar ve saha araştırmacıları için karar destek altyapısını önemli ölçüde güçlendirmiştir (Panda ve ark., 2024; Zhu ve ark., 2024).

2.4. Yöntemsel Gerekeçe

Eksik veri problemi, nicel araştırmalarda sıklıkla karşılaşılan temel metodolojik zorluklardan biridir. Literatürde bu sorunun aşılması amacıyla K-en yakın komşu (KNN), Random Forest (RF) ve Predictive Mean Matching (PMM) gibi çeşitli veri madenciliği teknikleri önerilmektedir (Shah ve ark., 2014; Tang ve Ishwaran, 2017). Bu yaklaşımlar, gözlemlenebilir değişkenler arasındaki örüntülerden yararlanarak eksik değerleri tahmin etmeye dayanır. Ancak, doğrudan erişilemeyen işletmeler olması sebebiyle, eksik verilerin belirli bir sistematik nedene dayandığı durumlarda bu yöntemlerin uygulanması metodolojik belirsizlikler ve sapma riski doğurabilmektedir (Little ve Rubin, 2019).

Özellikle, veri kaybı mekanizması MCAR (Missing Completely at Random) ya da MAR (Missing at Random) kategorilerine girmediğinde, yani eksiklikler MNAR (Missing Not at Random) niteliği taşıdığına, algoritmaların tahmin ettiği değerlerin bilimsel geçerliliği ve yorumlanabilirliği ciddi şekilde sınırlanabilir (Little ve Rubin, 2019). Bu nedenle, analizde yalnızca eksiksiz gözlem birimlerinin kullanılması tercih edilmiş ve herhangi bir tahmine dayalı tamamlama işlemi uygulanmamıştır.

Bu bağlamda, Stekhoven ve Bühlmann (2012), özellikle yüksek boyutlu ve eksik verili veri setlerinde, tahmine dayalı yöntemlerin (ör. MissForest) doğruluğunun veri yapısına ve kayıp mekanizmasına aşırı duyarlı olduğunu vurgulamıştır. Eksik verilerin sistematik bir örüntüyle ilişkili olması, tahmin sürecinde

yanlılık (bias) oluşturabilir ve karar destek sistemlerini yanlış yönlendirebilir (Azur ve ark., 2011). Bu çalışmada eksik veriler, araştırmacının doğrudan gözlem yapamadığı, dışsal faktörlerle erişimi kısıtlı işletmelerden kaynaklandığı için, istatistiksel olarak tahmine dayalı doldurma yöntemleri yerine, yalnızca doğrudan anketlerden elde edilen veriler kullanılmıştır.

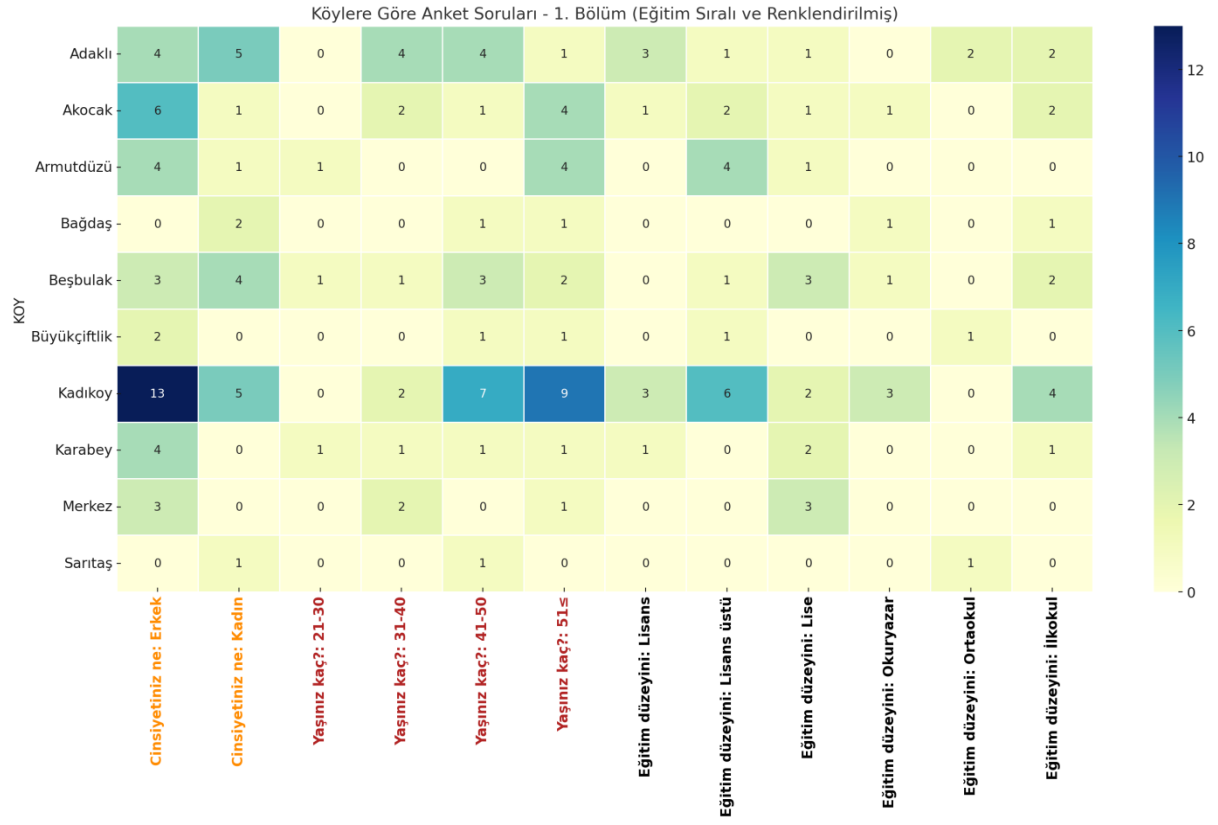
Bu yöntemsel tercih, hem bilimsel şeffaflık hem de çıkarımsal güvenilirlik açısından daha sağlam bir yaklaşım sunmaktadır. Literatürde, eksik verilerin nedensel yapısının net olmadığı durumlarda, görselleştirme ve betimsel analiz gibi non imputational (doldurmaya dayanmayan) tekniklerin tercih edilmesinin daha etik ve sağlam olduğu savunulmaktadır (Lee ve ark., 2021; Słomska-Przech ve ark., 2021). Öte yandan, veri madenciliği yöntemlerinin temelini oluşturan YZ algoritmaları sezgisel (heuristic) ve örüntü tanıma temelli çalışma mantıkları nedeniyle, insan benzeri öngörüler geliştirmeye odaklanır (Coşkun, 2015; Jordan ve Mitchell, 2015). Bu yaklaşım özellikle veri bolluğunun olduğu ve gözlemler arası ilişkilerin güçlü olduğu sistemlerde etkilidir. Ancak bu çalışmada olduğu gibi eksik verilerin gözlemlenemeyen nedenlerden (MNAR) dayandığı durumlarda, YZ tabanlı tahmin yöntemleri, epistemolojik açıdan riskli hale gelmektedir (van Buuren, 2018). Bu nedenle, veri madenciliği veya YZ temelli tamamlayıcı algoritmaların kullanılmaması, bilimsel sağlamlık, metodolojik şeffaflık ve analitik güvenilirlik ilkeleri doğrultusunda bilinçli bir tercih olarak yapılandırılmıştır.

3. Bulgular ve Tartışma

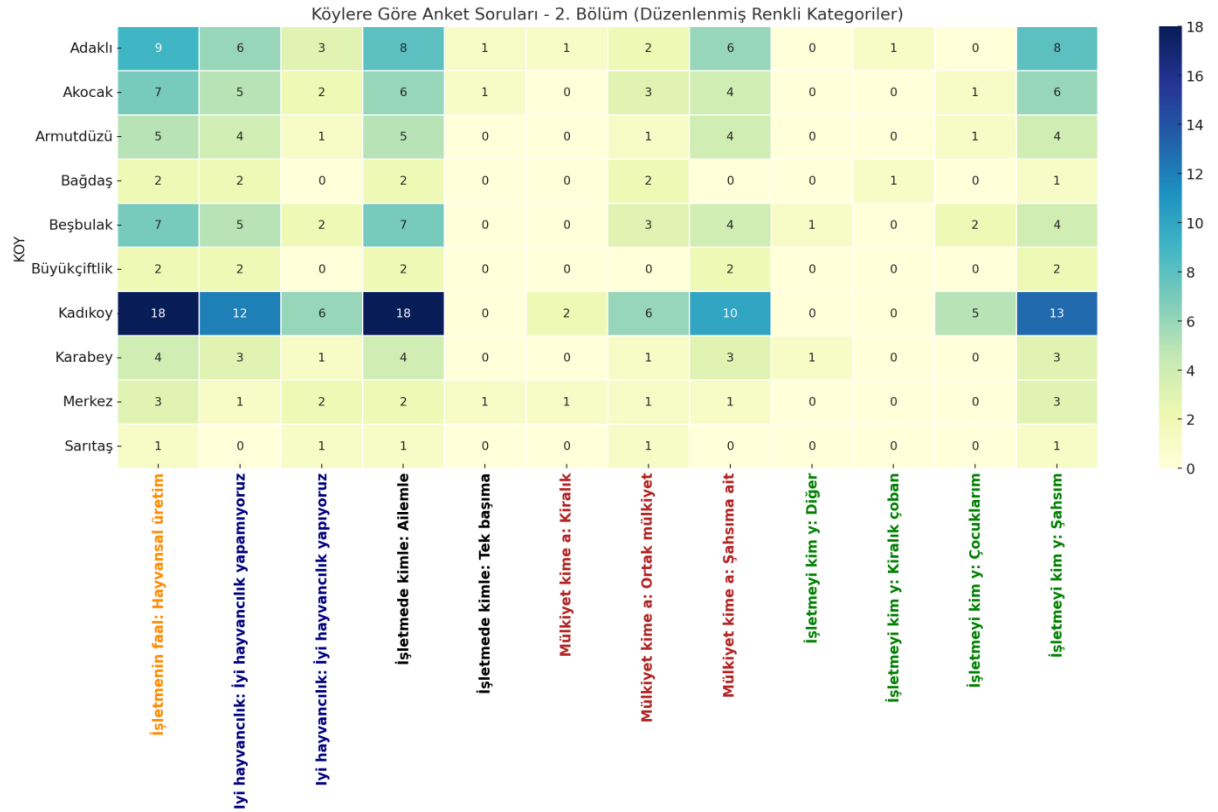
Köy bazında cinsiyet, yaş ve eğitim düzeyi verileri üzerinden oluşturulan ısı haritası, saha verilerinin demografik dağılımını görsel olarak ortaya koymaktadır (Şekil 2).

Eğitim düzeyleri incelendiğinde bazı köylerde “lisans üstü” yanıtının öne çıktığı, buna karşılık diğer bazı köylerde “lise” ve “lisans” düzeyindeki eğitim seviyelerinin daha yüksek olduğu belirlenmiştir. Kadıköy, “lisansüstü” eğitime sahip yetiştirici profiliyle dikkati çekmektedir. Diğer yandan cinsiyet bildiren işletmelerden Adaklı, Beşbulak, Bağdaş ve Sarıtaş’ta “kadın yetiştirici” profili öne çıkmıştır. Bu durum, köyler arasında yetiştirici niteliğinde anlamlı farklar bulunduğunu, dolayısıyla yönetim kapasitesi ve bilgi temelli üretim kararlarının heterojen yapılar sergilediğini göstermektedir. Isı haritası sayesinde bu farklar sezgisel biçimde yorumlanabilmekte ve yönetsel kapasitenin mekânsal farklılıkları analiz edilebilmektedir.

Çalışmada işletmenin faaliyet alanı, iyi hayvancılık inancı, mülkiyet yapısı ve yönetim biçimi gibi değişkenlere dayalı olarak oluşturulan görselleştirme, üretici davranışlarını doğrudan yansıtmaktadır (Şekil 3).



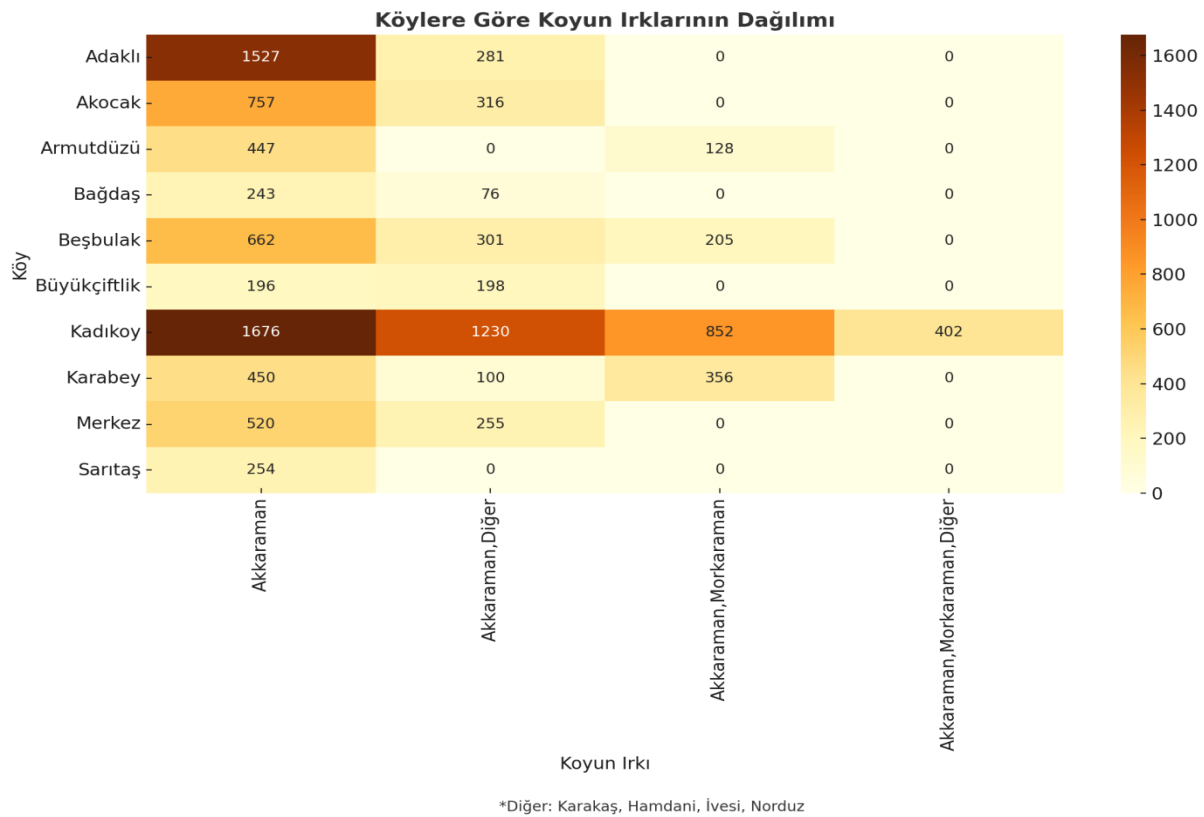
Şekil 2. Köy bazında yetiştirici bilgileri



Şekil 3. Köy bazında işletme özellikleri

Tüm işletmelerde sadece “hayvansal üretim” yapılırken; bazı köylerde “İyi hayvancılık yapamadığını” belirten işletmelerin sayısının görece yüksek olması, öznel memnuniyet düzeylerinin düşük olduğunu ve potansiyel destek gereksinimini işaret etmektedir. Aynı zamanda mülkiyetin ve işletme yönetiminin kimde olduğu bilgisi, karar alma süreçlerinde kimlerin etkili olduğunu görselleştirme yoluyla ortaya koymaktadır. Bu farklar, kırsal kalkınma politikalarının köy özelinde biçimlendirilmesi gerektiğini göstermektedir.

Çalışmada koyun ve keçi ırklarına dair analizde köy bazında keçi ırk dağılımına ait varyasyon tespit edilememiştir. Tüm keçilerin “Kıl keçi” olduğu ifade edilmiştir. Isı haritası ile sunulan koyun ırk dağılımı ise, Akkaraman koyunlarının bölgede en yaygın ırk olduğunu açık biçimde ortaya koymuştur (Şekil 4).

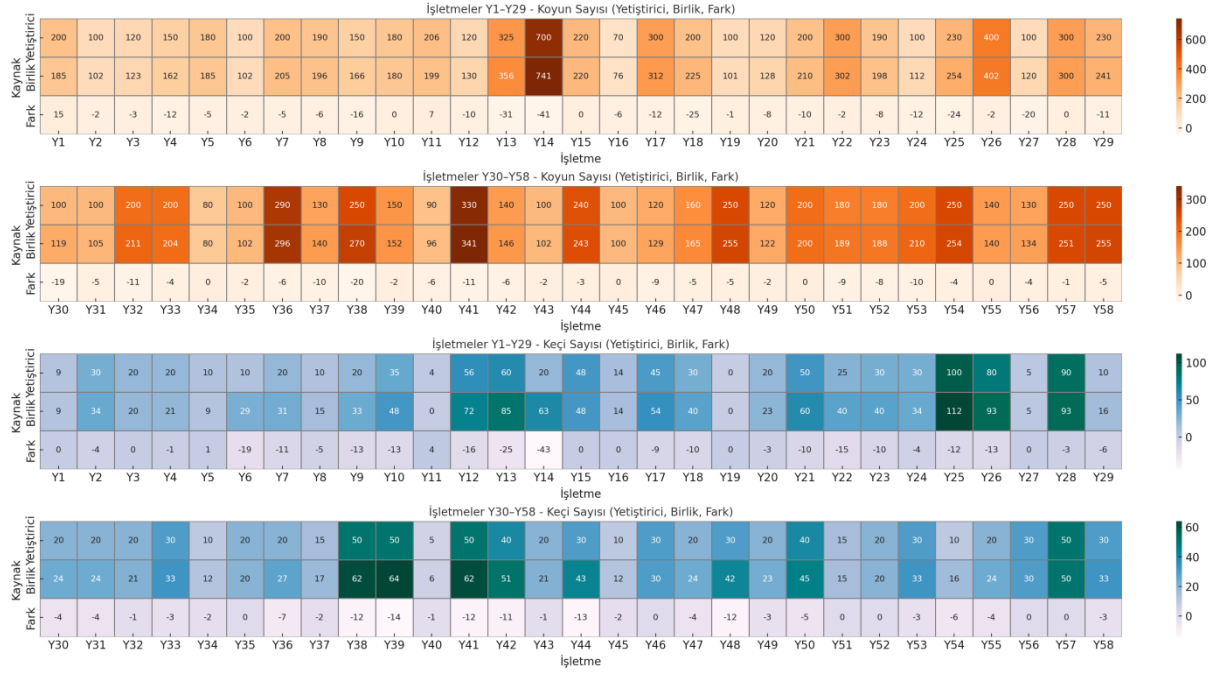


Şekil 4. Köy bazında koyun ırklarının dağılımı

Özellikle Adaklı, Akocak, Armutdüzü ve Bağdaş köylerinde Akkaraman ırkı belirgin şekilde baskındır. Morkaraman ırkı ise yalnızca sınırlı sayıda köyde tespit edilmiştir. Az sayıda olan koyun ırkları (Morkaraman, Hamdani, İvesi) ve varyeteleri (Norduz, Karakaş) “Diğer” başlığı altında gruplandırılmıştır. Görsel sunum, bölgedeki ırksal çeşitliliğin azaldığına ve “Akkaraman” üzerine yoğunlaştığına dair önemli bir işaret sunmaktadır. Bu bulgu, genetik çeşitlilik risklerinin değerlendirilmesi açısından dikkate değerdir.

Çalışmada 58 farklı küçükbaş hayvancılık işletmesinden elde edilen koyun ve keçi varlıklarına ilişkin üçlü veri yapısı heatmap (ısı haritası) formatında sunulmuştur. Her bir işletme için üç satırdan oluşan

görsel yapıda, ilk satır ‘Yetiştiricinin bildirdiği hayvan sayısını’, ikinci satır ‘Birlik kayıt sistemindeki resmi sayıyı’ ve üçüncü satır ise ‘Bu iki değer arasındaki farkı (Yetiştirici – Birlik)’ göstermektedir. (Şekil 5).



Şekil 5. Yetiştiricinin bildirdiği koyun ve keçi sayıları ile Birlik kayıtlarının karşılaştırması

Yetiştirici bildirimi ile birlik kayıtları arasında ciddi farklar tespit edilmiştir. En fazla koyun varlığı 14. işletmede iken en fazla keçi varlığı 25. işletmede tespit edilmiştir. Diğer yandan en fazla sayısal fark koyun ve keçi için 14. işletmede tespit edilmiştir. Buna karşın bazı işletmelerde koyunlara ait kayıtlar ile bildirimler arasında tam uyum gözlenmiştir (Y10, Y15, Y28, Y34, Y45, Y50, Y55).

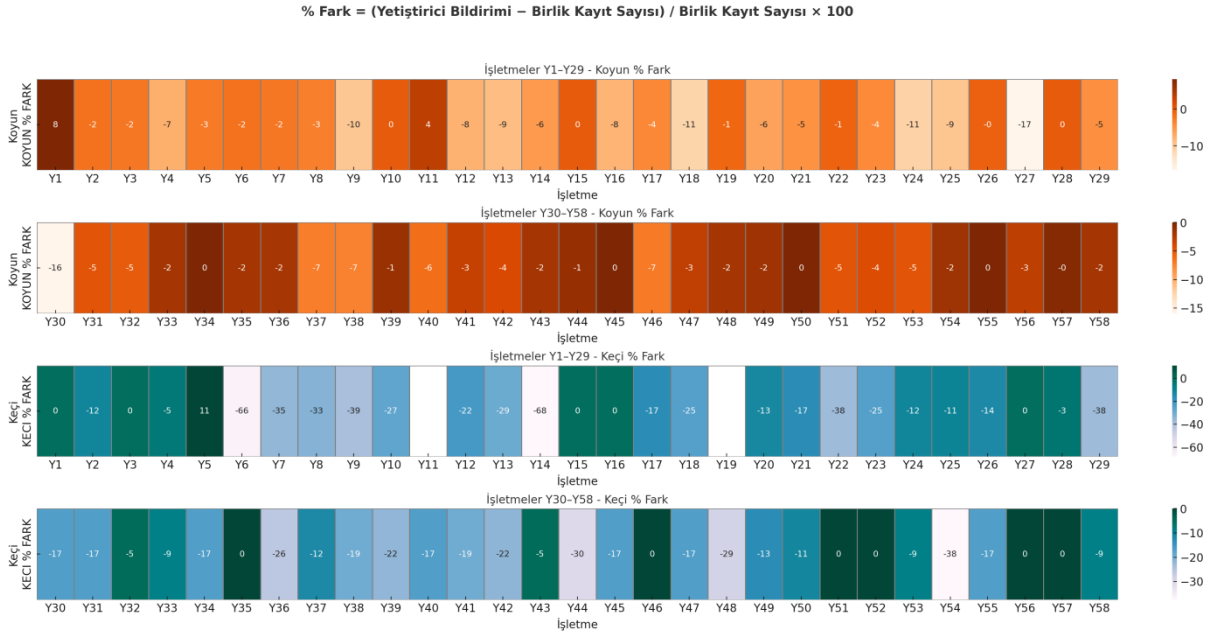
Genel olarak koyunlara ait farklar negatif yönlü eğilim göstermekte olup bu durum yetiştiricilerin birlik kayıtlarına kıyasla daha az sayıda hayvan bildirdiğini ortaya koymaktadır. Bu farklılıkların olası nedenleri kayıt dışı üretim, veri senkronizasyon eksiklikleri, birlik kayıtlarının güncellenme sıklığındaki farklılıklar ve yetiştiricilerin beyan hataları olabilir. Özellikle kayıt dışı üretim, küçük ölçekli kırsal işletmelerde sık rastlanan bir durum olarak, resmi kayıtlara tam yansımamaktadır (Gökmener ve Öztürk, 2022). Ayrıca, saha anketleri sırasında eksik ya da yanlış beyan verilmesi de bu farkların büyümesine neden olabilir (Dillman ve ark., 2014). Veri tabanlarının eş zamanlı güncellenmemesi, işletme ölçeklerindeki hızlı değişimlerin kayıtlara geç yansımaları da önemli bir faktördür. Bu durum, kırsal hayvancılık veri sistemlerinin güvenilirliği açısından önemli bir sorun alanına işaret etmektedir. Aynı zamanda, YZ destekli görselleştirme tekniklerinin bu tür veri uyumsuzluklarını sezgisel olarak tanımlamada etkili bir araç olduğunu göstermektedir.

Keçilere ait verilerde sayısal olarak en yüksek fark 14. işletmeden sonra sırasıyla Y13, Y6 ve Y12 işletmelerinde tespit edilmiştir. Toplamda 12 işletmede ise kayıtlar ve bildirimler arasında tam uyum

gözlenmiştir. Bu oran koyunlardan fazladır. Diğer yandan genel olarak keçilere ait farklar (Yetiştirici-Birlik), koyunlardaki duruma benzer şekilde, negatif yönlü eğilim göstermektedir.

Çalışmada, işletmelerin koyun ve keçi varlıklarına ilişkin olarak, yetiştirici bildirimi ile birlik kayıtları arasındaki yüzde farklar (% Fark) görsel olarak sunulmuştur. Her hücre, ilgili işletmede bildirilen hayvan sayısının birlik kayıtlarına göre ne oranda farklılık gösterdiğini belirtmektedir. Yüzde fark şu formül ile hesaplanmıştır:

$$\% \text{ Fark} = (\text{Yetiştirici Bildirimi} - \text{Birlik Kayıt Sayısı}) / \text{Birlik Kayıt Sayısı} \times 100 \text{ (Şekil 6).}$$



Şekil 6. Yetiştiricinin bildirdiği koyun ve keçi sayıları ile Birlik kayıtları arasındaki farkın % dağılımı

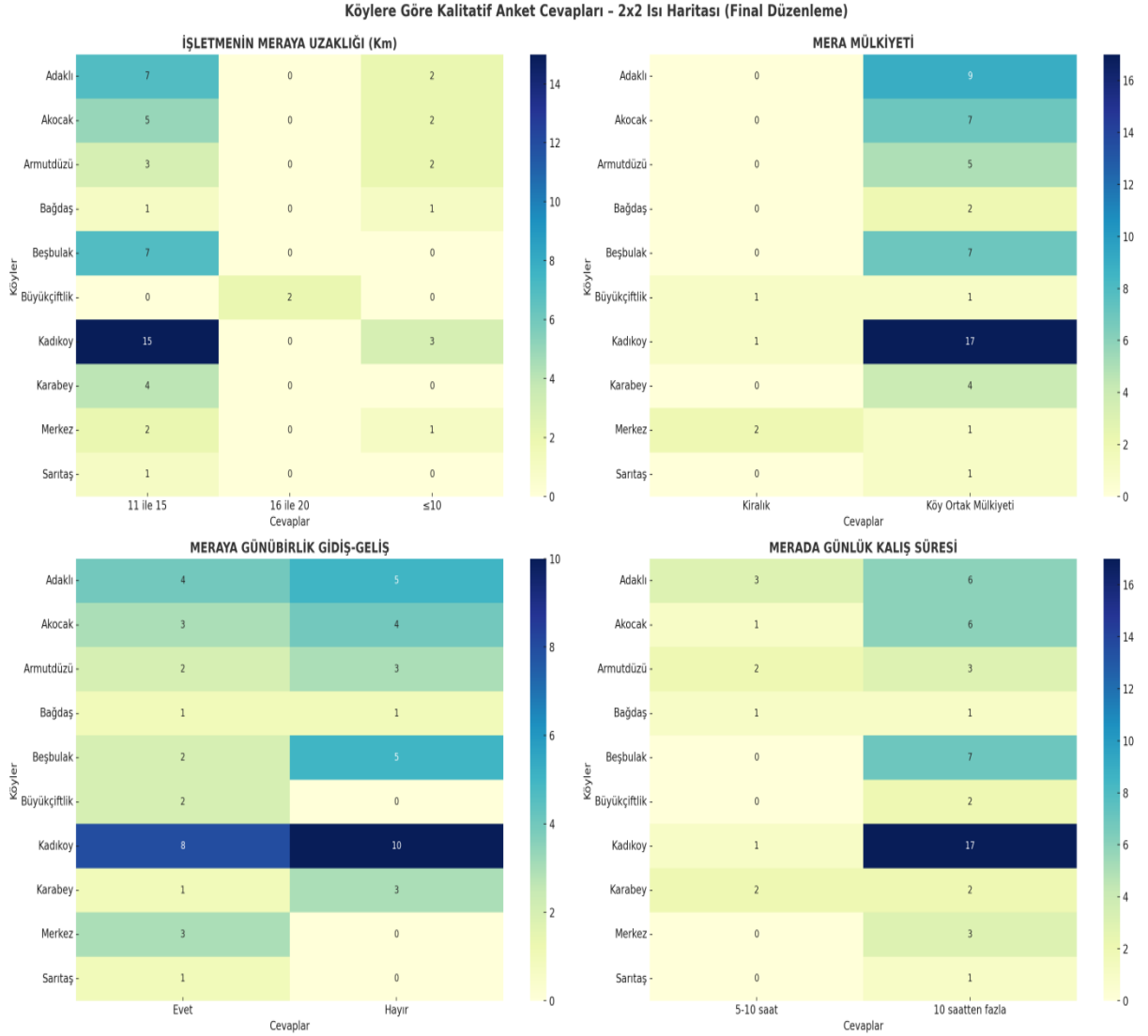
Görselde koyun yüzdelik farklarında, genellikle negatif değerler öne çıkmaktadır. Bu durum, birçok işletmede yetiştiricilerin birlik kayıtlarındaki sayıdan daha az beyan verdiğini göstermektedir. Özellikle Y27 ve Y30 gibi bazı işletmelerde % fark -17 ile -16 olup kayıt sistemine kıyasla önemli beyan eksiklikleri gözlenmiştir. Nadiren de olsa bazı işletmelerde (örneğin Y14 ve Y6) pozitif farklar tespit edilmiştir; bu işletmelerde yetiştirici beyanı, birlik kayıtlarının üzerinde gerçekleşmiştir.

Keçi varlığına ilişkin % farklara ait değerler çok daha belirgin negatif eğilim göstermektedir. Bazı işletmelerde farklar oldukça yüksek düzeyde kaydedilmiştir. Örneğin Y6 ve Y14'te sırasıyla %-66 ve %-68 gibi ciddi sapmalar mevcuttur. Y30-Y58 aralığındaki işletmelerde de yaygın biçimde %0 ila %-38 arasında değişen farklar bulunmuştur. Pozitif fark gözlenen işletme sayısı ise Y5 ile sınırlıdır.

Bu yüzdelik fark analizi, mutlak sayıların ötesinde oransal uyumsuzlukları ortaya koyarak veri güvenilirliğini değerlendirme açısından kritik bir araç sunmaktadır. Koyunlarda farklar genellikle %-5 ila %-15 bandında seyrederken, keçilerde farklar daha geniş dağılım göstermiş ve bazı örneklerde %-60'ın üzerine çıkmıştır. Bu bulgular, keçi kayıtlarında daha yüksek düzeyde heterojenlik ve potansiyel bildirim sorunlarını işaret etmektedir. Bu durum, keçi kayıtlarında daha yüksek düzeyde heterojenlik ve

potansiyel bildirim sorunlarını işaret etmekte olup, tür bazlı farklılıkların da ayrıca dikkate alınmasını gerektirmektedir.

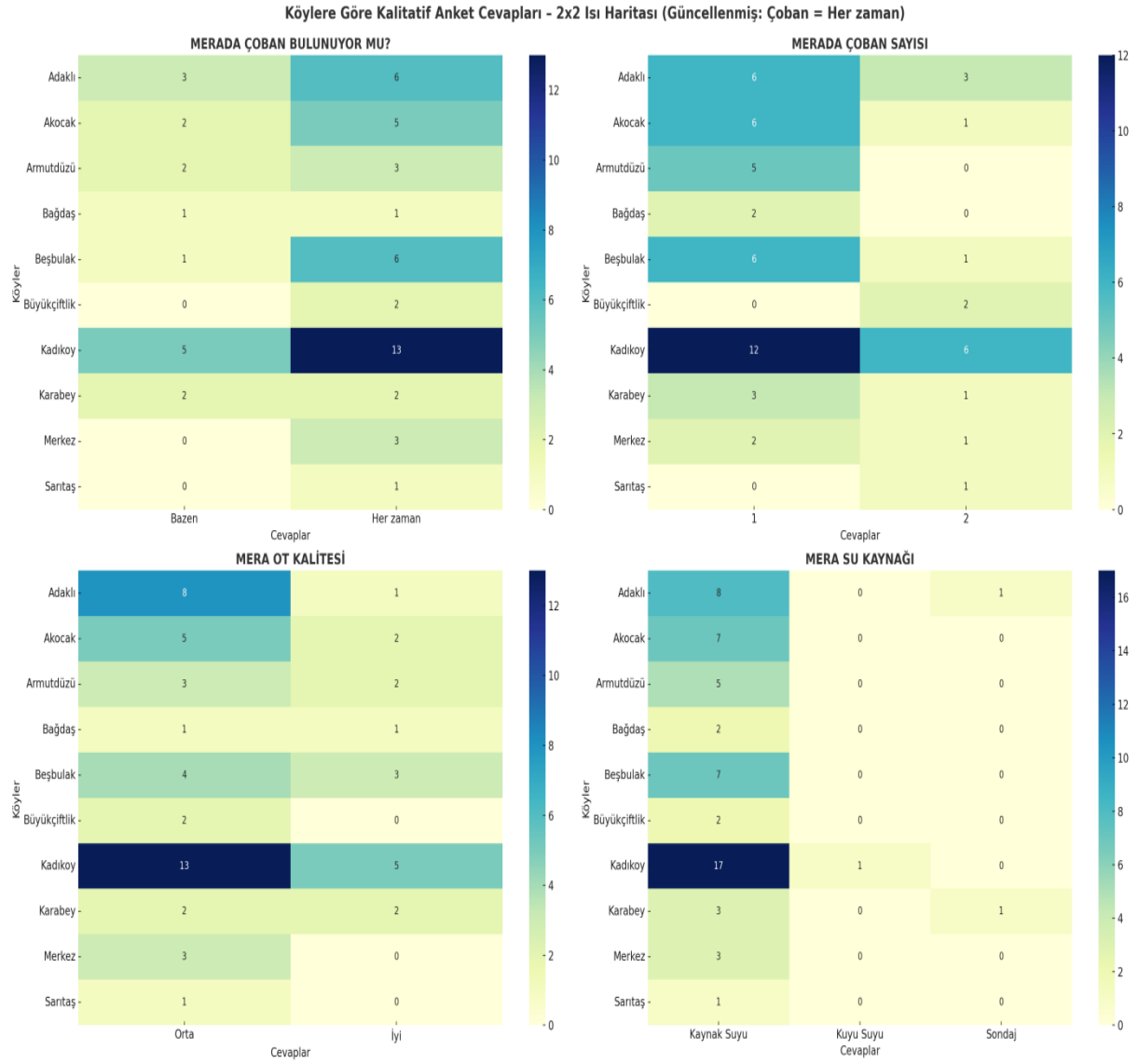
Çalışmada mera uzaklığı, mülkiyet durumu, günübirlik kullanım ve günlük kalış süresine ilişkin değişkenlerin görsel sunumu, köyler arası otlatma davranışlarındaki farklılıkları net biçimde göstermektedir (Şekil 7).



Şekil 7. Köy bazında mera verileri-I

10 km ve altı mesafedeki meralara erişim baskınken; 11–15 km mesafe özellikle Armutdüzü, Beşbulak ve Adaklı köylerinde daha fazla gözlenmiştir. Günlük kalış süresi çoğu köyde 10 saatten fazlayken, bazı köylerde 5–10 saatlik süreler de belirginleşmiştir. Birçok köylerde mera mülkiyetinin “köy ortak alanı” şeklinde olduğu görülmüş, bu durum ortak kaynak yönetiminin sürdürüldüğünü göstermektedir.

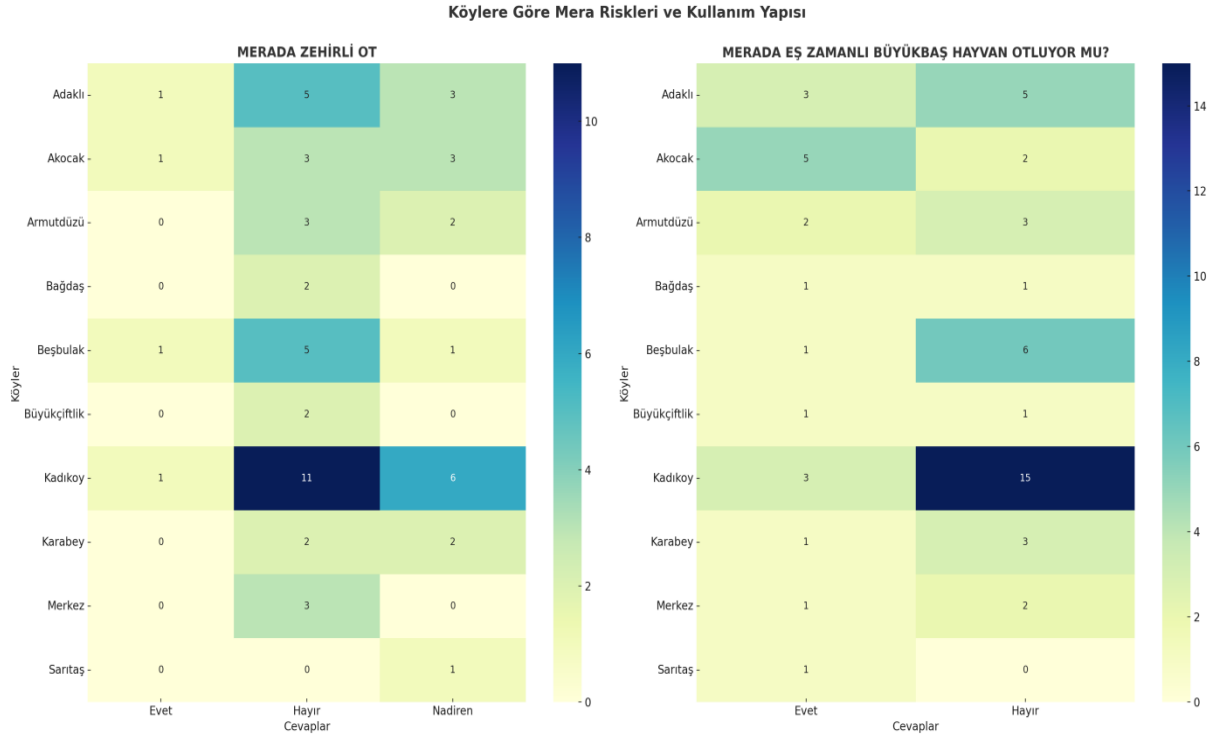
Çoban varlığı, çoban sayısı, ot kalitesi ve su kaynağı gibi göstergelere ilişkin veriler, meradaki üretim koşullarını doğrudan yansıtmaktadır (Şekil 8).



Şekil 8. Köy bazında mera verileri-II

Tüm köylerde “her zaman” çoban desteği sağlanması dikkat çekerken, bazı köylerde ikinci çobanın da kullanıldığı gözlenmiştir. Ot kalitesi genellikle “orta” düzeyde raporlanmış, “zayıf” kaliteye rastlanmamıştır. Su kaynağı olarak tüm köylerde “kaynak suyu” kullanıldığı belirlenmiştir. Bu durum, hayvan refahı açısından temel kaynaklara erişimin güçlü olduğunu göstermektedir.

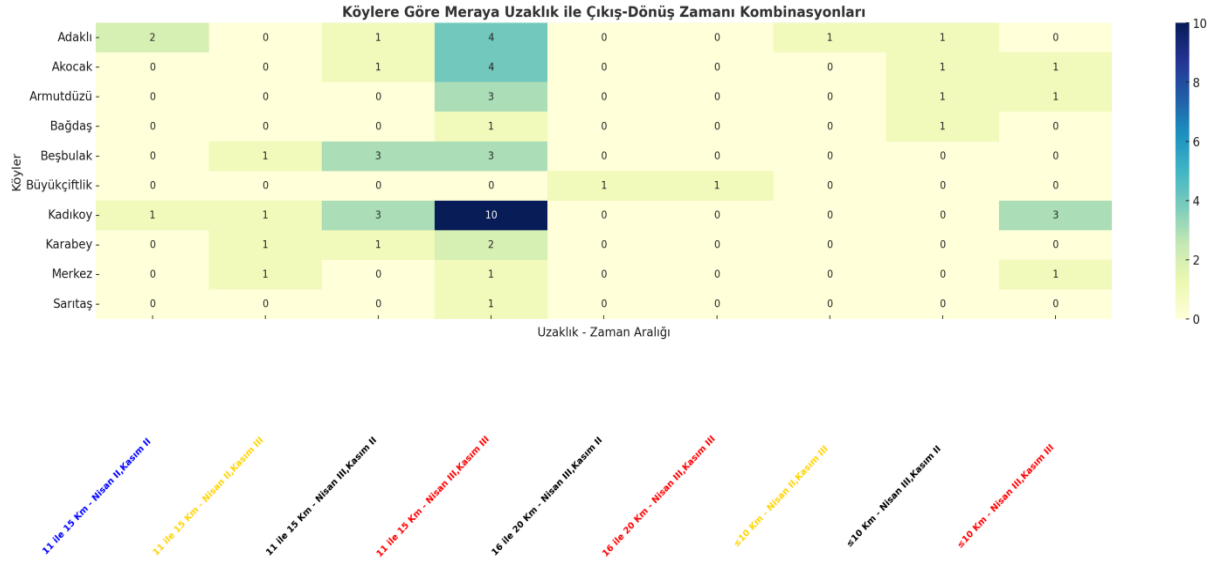
Sunulan ısı haritası, köy bazında meraların altyapısal ve doğal kaynak durumunu yansıtmaktadır (Şekil 9).



Şekil 9. Köy bazında mera verileri-III

Veriler mera alanlarında kullanılan su kaynaklarının tüm köylerde “kaynak suyu” olduğunu ortaya koymakta; bu durum, bölgedeki doğal su erişiminin güçlü olduğunu göstermektedir. Mera ot kalitesi değişkeni açısından değerlendirildiğinde, tüm köylerde “orta” kalite yanıtları baskın durumdadır; “zayıf” ot kalitesi hiçbir köyde bildirilmemiştir. Bu bulgu, mera alanlarının minimum kalite standardını karşıladığını, ancak “iyi” kalite düzeyinin sınırlı olduğunu ortaya koymaktadır. Görsel analiz, aynı zamanda bu tür çevresel altyapı değişkenlerinin mekânsal yayılımını karşılaştırmalı olarak göstermekte; mera yönetimi, sürdürülebilir otlatma ve verimlilik artırma stratejilerinin köy ölçeğinde planlanabilmesi için zemin hazırlamaktadır. Görselleştirme, klasik tablo veya betimsel istatistiklerle sınırlı kalacak bu farklılıkları daha sezgisel biçimde ortaya koyarak, veri yorumlama gücünü artırmaktadır.

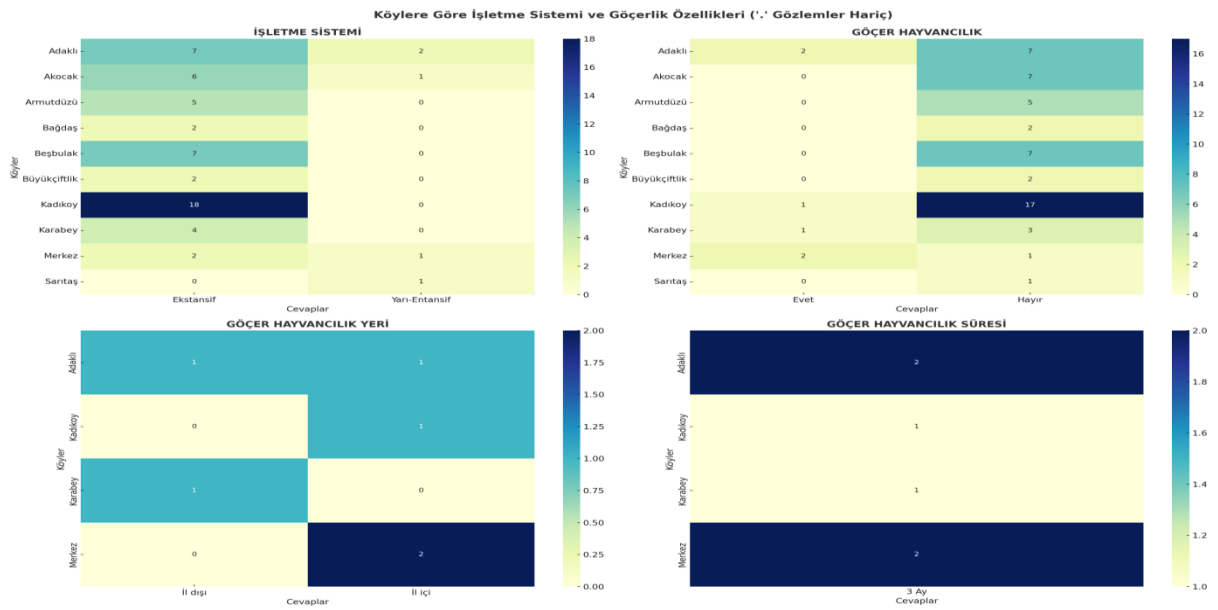
2024 yılı Meraya çıkış-dönüş zamanlamaları ile fiziksel mesafelerin eş zamanlı olarak ısı haritasında sunulmuştur (Şekil 10).



Şekil 10. Köy bazında meraya uzaklık ile meraya çıkış-dönüş zamanı kombinasyonları

Isı haritası değerlendirildiğinde, özellikle Kadıköy’de geç dönem (Nisan III–Kasım III) kullanımının baskın olduğu ve bu durumun 11–15 km uzaklıkla çakıştığı tespit edilmiştir. Diğer köylerde de benzer mesafe-aralık kombinasyonları gözlenmiş, ancak ≤ 10 km mesafedeki işletmelerin daha kısa sezonlarla sınırlı kaldığı belirlenmiştir. Bu kombinasyon analizleri, otlatma stratejilerinin iklim, coğrafya ve işletme kararlarına bağlı olarak nasıl değiştiğini ortaya koymaktadır.

Köy bazında işletme sistemi ve göçerlik özelliklerinin sunulduğu ısı haritasında göçer hayvancılık yeri ve sürelerine ait bilgiler sunulmuştur (Şekil 11).



Şekil 11. Köy bazında işletme sistemi ve göçerlik özellikleri

İşletme sisteminin çoğunlukla “ekstansif” olduğu belirlenmiştir. “Yarı entansif” sistem yalnızca birkaç köyde sınırlı sayıda işletmede gözlenmiştir. “Göçer hayvancılık” büyük ölçüde yapılmamakla birlikte, Adaklı, Armutdüzü ve Beşbulak gibi köylerde az sayıda göçerlik yapan işletme tespit edilmiştir. Bu işletmelerin göçerlik süresi 3 ay olarak beyan edilmiş ve göç yeri tercihi “il içi” ile sınırlı kalmıştır. Bu bulgular, göçerlik uygulamasının bölge özelinde azaldığını, işletmelerin büyük ölçüde yerleşik üretim modeline geçtiğini göstermektedir.

3. Tartışma

Geleneksel istatistik yazılımlarının (SPSS, SAS, STATA, R vb.) kod tabanlı yapıları, analiz sürecini hataya açık hale getirmekte; ölçüm düzeylerinin yanlış tanımlanması, eksik verilerin işlenmemesi veya kategori etiketleme hataları gibi durumlar, sonuçların istatistiksel geçerliliğini ciddi biçimde tehdit etmektedir (Slutsky, 2013; Godsey, 2017; Hodges ve ark., 2023; Kaul ve ark., 2023). Literatürde “sessiz hata” (invisible error) olarak tanımlanan bu tür durumlar, özellikle acemi kullanıcılar açısından tespit edilmesi güç, ancak sonuçları itibarıyla oldukça kritik sapmalara neden olabilmektedir.

Buna karşılık, ChatGPT’nin doğal dil temelli analiz yaklaşımı, kod yazımı gerektirmeden kullanıcıya doğrudan komut verebilme olanağı sunmakta; analiz süreci boyunca sürekli etkileşim ve sorgulama imkânı sağlayarak hata yakalama kapasitesini artırmaktadır. Örneğin, bir heatmap’in hangi değişkenlere dayalı oluşturulduğu ya da eksik değerlerin nasıl ele alındığı gibi soruların doğrudan modele yöneltilebilmesi, veri şeffaflığını ve analiz güvenliğini artıran önemli bir unsurdur.

Son yıllarda YZ modellerinin, özellikle GPT-4o gibi gelişmiş dil modellerinin, istatistiksel veri analizi ve biyomedikal araştırmalarda kullanımı önemli ölçüde artmıştır. Zhu ve arkadaşları (2024), GPT-4o’nun hipotez testleri gibi karmaşık görevlerde %64.8 oranında doğru analiz gerçekleştirdiğini, insan denetimiyle birlikte kullanıldığında bu doğruluğun daha da arttığını raporlamıştır. Benzer şekilde Meo ve ark. (2024), GPT-4o’nun üç ayrı biyomedikal veri setinde %85’in üzerinde doğruluk oranı ile hem analiz hem grafik üretimi gerçekleştirdiğini göstermiştir. Bu bulgular, dil modellerinin istatistiksel analizde yalnızca yardımcı değil, aynı zamanda görsel doğruluk sağlayan etkili araçlar olduğunu ortaya koymaktadır. OpenAI’nin Chat Generative Pre-trained Transformer 4.0 (ChatGPT-4) adlı YZ tabanlı büyük dil modeli (LLM), yenilikçi “Veri Analisti” özelliği sayesinde tıp araştırma camiasından giderek artan bir ilgi görmektedir (Huang ve ark., 2024).

Çalışmada YZ destekli analizlerin kullanılması yenilikçi bir yaklaşım sunmaktadır. Huang ve ark. (2024), GPT-4’ün istatistiksel analizlerde SAS, SPSS ve R yazılımlarına kıyasla daha doğru sonuçlar verdiğini ortaya koyarken; Meo ve ark. (2024), ChatGPT-4o’nun biyomedikal veri analizinde %85’in üzerinde doğruluk sağladığını bildirmektedir. van Buuren (2018) ise epistemolojik belirsizlikler yaratabileceğini vurgulamaktadır. Bu çerçevede, YZ’nin sunduğu çok boyutlu veri işleme kapasitesi, hızlı görselleştirme imkânları ve kullanıcı dostu yapısı öne çıkarılabilirken; algoritmik önyargı, model seçimine duyarlılık ve veri kalitesine bağımlılık gibi sınırlılıklar da açık biçimde ifade edilmelidir.

Genel olarak, GPT-4o'nun çok modlu ve güçlü YZ özellikleri, veri analizi alanında insan-makine iş birliğini artırarak doğruluk ve verimlilik açısından kayda değer gelişmeler vaat etmektedir. Ancak, halen modelin sınırlamaları ve doğruluk oranlarının iyileştirilmesi için kapsamlı testler ve insan denetimi gerekliliği devam etmektedir. Bu bağlamda, GPT-4o gibi modellerin istatistiksel analizlerde yardımcı bir araç olarak kullanılması, hem araştırma kalitesini hem de iş süreçlerinin etkinliğini artırabilir. Saha çalışmaları genellikle örnekleme sınırlılıklarıyla yürütülmektedir. Bu çalışmada olduğu gibi, doğrudan gözleme dayalı görselleştirme teknikleri, hem analitik bilgi üretiminde hem de politika yapıcıların karar destek süreçlerinde önemli katkılar sağlamaktadır (Few, 2009).

Bu çalışmanın literatürdeki bir diğer güçlü örneği, ChatGPT-4o'nun test edildiği saha ortamında klasik yazılımlar karşısında daha yüksek doğruluk ve görsel açıklık sunmasıdır. Huang ve ark. (2024) tarafından sunulan çalışma, ChatGPT-4.0 ile SAS/SPSS/R kıyaslamalarına dayalı deneylerde LLM'in yalnızca istatistiksel tutarlılık sağlamadığını, aynı zamanda sessiz hataları algılamada ve kullanıcıya açıklamada geleneksel yazılımlardan açık ara önde olduğunu göstermiştir.

Isı haritaları, sayısal örüntüleri sezgisel biçimde sunarak farklı köylerdeki durumları karşılaştırmalı olarak değerlendirmeye imkân verir. Bu durum, destekleme ve denetleme politikalarında bölgeye özgü önceliklendirme yapılabilmesi için önemli bir veri altyapısı sunmaktadır.

4. Sonuç

Bu çalışma temsil oranı düşük anket verilerinin YZ destekli grafiksel analizlerle nasıl anlamlı hale getirilebileceğini göstermektedir. Isı haritası gibi araçlar sayesinde, kırsal bölgelerdeki küçükbaş hayvancılık işletmelerinin yapısal ve yönetsel örüntüleri, hem akademik hem de uygulamalı düzeyde değerlendirilebilir hale gelmiştir. Özellikle politika üretimi, destekleme planlamaları ve yerel kalkınma stratejilerinde bu tür görsel analizlerin etkili bir araç olduğu gösterilmiştir. Bu tür YZ destekli görsel analizler, Tarım ve Orman Bakanlığı başta olmak üzere yerel yönetimlerin politika üretim süreçlerinde karar destek aracı olarak işlev görebilir.

Teşekkür

*Bu çalışma, birinci isimli yazarın lisans bitirme tezinden türetilmiştir.

Çıkar Çatışması Beyanı

Makale yazarları herhangi bir çıkar çatışması olmadığını beyan eder.

Araştırmacıların Katkı Oranı Beyan Özeti

Yazarlar isim sırasına göre %30 ve %70 oranda katkı sağlamış olduklarını beyan ederler.

Kaynakça

- Abdennur N., Fudenberg G., Flyamer IM., Galitsyna AA., Goloborodko A., Imakaev M., Venev S. Bioframe: Operations on genomic intervals in Pandas dataframes. *Bioinformatics* (Oxford, England) 2024; 40(2): btae088. <https://doi.org/10.1093/bioinformatics/btae088>
- Alsufyani S., Forshaw M., Johansson Fernstad S. Visualization of missing data: A state of the art survey. *arXiv*. 2024. Available from: <https://arxiv.org/abs/2410.03712>
- Azur MJ., Stuart EA., Frangakis C., Leaf PJ. Multiple imputation by chained equations: what is it and how does it work? *International Journal of Methods in Psychiatric Research* 2011; 20(1): 40-49. doi:10.1002/mpr.329
- Babbie ER. The practice of social research. 13th ed. Boston: Cengage Learning 2013.
- Bertin J. Semiology of graphics. 1st ed. Redlands, CA: ESRI Press 2010.
- Borland D., Taylor RM II. Rainbow color map (still) considered harmful. *IEEE Computer Graphics and Applications* 2007; 27(2): 14–17.
- Bryman A. Social research methods. 5th ed. Oxford: Oxford University Press 2016.
- Chambers R. The origins and practice of participatory rural appraisal. *World Development* 1994; 22(7): 953–969. [https://doi.org/10.1016/0305-750X\(94\)90141-4](https://doi.org/10.1016/0305-750X(94)90141-4)
- Cheng L., Li X., Bing L. Is GPT-4 a good data analyst? 2023. *arXiv preprint arXiv:2305.15038*.
- Chou WH., Feng Z., Li B., Liu F. A first look at financial data analysis using ChatGPT-4o. *Journal of Risk and Financial Management* 2025;18(2): 99. doi:10.3390/jrfm18020099
- Cochran WG. Sampling techniques. 3rd ed. New York: John Wiley & Sons 1977.
- Coşkun C. Veri madenciliği algoritmalarının karşılaştırılması (Yüksek lisans tezi). Diyarbakır: Dicle Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü 2015. <https://acikerisim.dicle.edu.tr/items/c1ed471a-30e2-442f-9439-bd5816f3272f>
- Davila F., Paz F., Moquillaza A. Usage and application of heatmap visualizations on usability user testing: A systematic literature review. In: Marcus A, editor. *Design, User Experience, and Usability*. Cham: Springer 2023: 3–17. doi:10.1007/978-3-031-35702-2_1
- Dillman DA., Smyth JD., Christian LM. Internet, phone, mail, and mixed-mode surveys: The Tailored design method. 4th ed. Hoboken: Wiley 2014. <https://content.e-bookshelf.de/media/reading/L-2753682-49f7ffb446.pdf>
- Few S. Now You See It: Simple Visualization Techniques for Quantitative Analysis. 1st ed. Oakland, CA: Analytics Press 2009.
- Friendly M. Corrgrams: Exploratory displays for correlation matrices. *The American Statistician* 2002; 56(4): 316–324.
- Godsey B. Think like a data scientist: Tackle the data science process step by step. Shelter Island, NY: Manning Publications 2017.

- Gökmener H., Öztürk A. Erzurum ili Uzundere ilçesinde küçükbaş hayvancılık faaliyetleri ve genel sorunlar. Bahri Dağdaş Hayvancılık Araştırma Dergisi 2022; 11(1): 21–29. <https://dergipark.org.tr/tr/pub/bdhad>
- Groves RM., Fowler FJ Jr., Couper MP., Lepkowski JM., Singer E., Tourangeau R. Survey Methodology. 2nd ed. Hoboken: Wiley 2009.
- Haroz S., Whitney D. How capacity limits of attention influence information visualization effectiveness. IEEE Transactions on Visualization and Computer Graphics 2012;18(12): 2759–2768.
- Hodges CB., Stone BM., Johnson PK., Carter JH 3rd., Sawyers CK., Roby PR., Lindsey HM. Researcher degrees of freedom in statistical software contribute to unreliable results: A comparison of nonparametric analyses conducted in SPSS, SAS, Stata, and R. Behavior Research Methods 2023; 55(6):2813–2832. doi:10.3758/s13428-022-01932-2
- Huang Y., Wu R., He J., Xiang Y. Evaluating ChatGPT-4.0's data analytic proficiency in epidemiological studies: A comparative analysis with SAS, SPSS, and R. J Glob Health 2024; 14:04070. doi:10.7189/jogh.14.04070
- Hunter JD. Matplotlib: A 2D graphics environment. Computing in Science & Engineering 2007; 9(3): 90–95. doi:10.1109/MCSE.2007.55
- Jordan MI., Mitchell TM. Machine learning: Trends, perspectives, and prospects. Science 2015; 349(6245): 255–260. doi:10.1126/science.aaa8415
- Kamoi R., Das SSS., Lou R., Ahn JJ., Zhao Y., Lu X., Zhang N., Zhang Y., Zhang RH., Vummanthala SR., Dave S., Qin S., Cohan A., Yin W., Zhang R. Evaluating LLMs at detecting errors in LLM responses (Version 2). arXiv. 2024. Available from: <https://arxiv.org/abs/2404.02552>
- Kaul M., Küchler A., Banse C. A uniform representation of classical and quantum source code for static code analysis. arXiv. 2023. doi:10.48550/arXiv.2308.06113
- Lee KJ., Tilling KM., Cornish RP., Little RJA., Bell ML., Goetghebeur E., Hogan JW., Carpenter JR., STRATOS initiative. Framework for the treatment and reporting of missing data in observational studies. Journal of clinical epidemiology 2021; 134: 79–88. doi:10.1016/j.jclinepi.2021.01.008
- Little RJA., Rubin DB. Statistical Analysis with Missing Data. 2nd ed. Hoboken: Wiley 2019. doi:10.1002/9781119482260
- Lohr SL. Sampling: Design and Analysis. 2nd ed. Boston: Brooks/Cole; 2009.
- McKinney W. Python for Data Analysis: Data Wrangling with pandas, NumPy, and Jupyter (3rd ed.). O'Reilly Media 2022.
- Meo AS., Shaikh N., Meo SA. Assessing the accuracy and efficiency of Chat GPT-4 Omni (GPT-4o) in biomedical statistics: Comparative study with traditional tools. Saudi medical journal. 2024; 45(12):1383–1390. doi:10.15537/smj.2024.45.12.20240454
- Netek R., Brus J., Tomecka O. Performance testing on marker clustering and heatmap visualization techniques: A comparative study on JavaScript mapping libraries. ISPRS International Journal of Geo-Information 2019; 8(8): 348. doi:10.3390/ijgi8080348

- Núñez JR., Anderton CR., Renslow RS. Optimizing colormaps with consideration for color vision deficiency to enable accurate interpretation of scientific data 2017. (arXiv:1712.01662). arXiv. <https://doi.org/10.48550/arXiv.1712.01662>
- Panda SS., Terrill TH., Siddique A., Mahapatra AK., Morgan ER., Pech-Cervantes AA., Van Wyk JA. Development of a decision support system for animal health management using geo information technology: A novel approach to precision livestock management. *Agriculture* 2024; 14(5): 696. doi:10.3390/agriculture14050696
- Shah AD., Bartlett JW., Carpenter J., Nicholas O., Hemingway H. Comparison of random forest and parametric imputation models for imputing missing data using Mice: A Caliber study. *American journal of epidemiology* 2014; 179(6): 764–774. doi:10.1093/aje/kwt312
- Słomska-Przech K., Panecki T., Pokojski W. Heat maps: Perfect maps for quick reading? Comparing usability of heat maps with different levels of generalization. *ISPRS International Journal of Geo-Information* 2021; 10(8):562. doi:10.3390/ijgi10080562
- Słomska-Przech K., Panecki T., Pokojski W. User study of heat maps with different levels of generalisation. *Abstracts of the ICA 2022*; 5(1–2): 66. doi:10.5194/ica-abs-5-66-2022.
- Slutsky DJ. Statistical errors in clinical studies. *J Wrist Surg* 2013; 2(4): 285–287. doi:10.1055/s-0033-1359421
- Stekhoven DJ., Bühlmann P. MissForest nonparametric missing value imputation for mixed type data. *Bioinformatics* 2012; 28(1): 112–118. doi:10.1093/bioinformatics/btr597
- Tang F., Ishwaran H. Random forest missing data algorithms. *The ASA Data Science Journal* 2017; 10(6): 363–377.
- van Buuren S. *Flexible Imputation of Missing Data*. 2nd ed. Boca Raton: Chapman & Hall/CRC 2018. doi:10.1201/9780429492259
- Waskom ML. seaborn: Statistical data visualization. *Journal of Open Source Software* 2021; 6(60): 3021. doi:10.21105/joss.03021
- Wilkinson L., Friendly M. The history of the cluster heat map. *Am Stat* 2009; 63(2):179–184.
- Zhu Y., Du S., Li B., Luo Y., Tang N. Are Large Language Models Good Statisticians? arXiv 2024. Available from: <https://arxiv.org/abs/2406.07815>