



Kahramanmaraş Sütçü İmam University

Journal of Engineering Sciences



Geliş Tarihi : 01.11.2024
Kabul Tarihi : 26.12.2024

Received Date : 01.11.2024
Accepted Date : 26.12.2024

ARI KOVANLARININ ÇEVRESEL VE AKUSTİK VERİLERE DAYALI DURUM ANALİZİ: NORMAL VE ÖZEL KOŞULLARIN KARŞILAŞTIRILMASI

ENVIRONMENTAL AND ACOUSTIC DATA-BASED STATUS ANALYSIS OF THE HONEYBEE COLONIES: A COMPARISON OF NORMAL AND SPECIAL CONDITIONS

Yeliz DURGUN^{1*} (ORCID: 0000-0003-3834-5533)

Mahmut DURGUN² (ORCID: 0000-0002-5010-687X)

¹ Tokat Gaziosmanpaşa Üniversitesi, Elektronik ve Otomasyon Bölümü, Tokat, Türkiye
² Tokat Gaziosmanpaşa Üniversitesi, Elektronik Ticaret ve Yönetimi Bölümü, Tokat, Türkiye

*Sorumlu Yazar / Corresponding Author: Yeliz DURGUN, yeliz.durgun@gop.edu.tr

ÖZET

Arı kolonilerinin sağlık ve faaliyetlerine ilişkin sürekli ve doğru bilgi elde etmek, arı popülasyonlarının korunması ve sürdürülebilir tarım uygulamalarının desteklenmesi için hayati öneme sahiptir. Çalışmamız, çevresel ve akustik sensör verilerini bütünleştirerek arı kolonilerinin durumunu etkin şekilde izlemeyi hedeflemektedir. Özellikle çalışmada CO₂ konsantrasyonu, TVOC konsantrasyonu, sıcaklık ve nem gibi çevresel parametrelerin yanı sıra akustik verilerin analizi de yer almaktadır. Kullanılan yöntem, çeşitli çevresel sensörlerden elde edilen verilerin zaman serisi analizi ve ses dosyalarından spektral özelliklerin çıkarılmasını içermektedir. Analiz sürecinde, normal ve özel koşulları ayırt etmek için aykırı değer analizi uygulanmıştır. Sonuçlarımız, çevresel parametrelerde zamanla önemli değişiklikler olduğunu göstermektedir. Özellikle, özel koşullarda CO₂ ve TVOC konsantrasyonlarında önemli artışlar gözlemlenmiştir (CO₂: 1200 ppm'den 1450 ppm'ye, TVOC: 0 ppb'den 450 ppb'ye). Ayrıca, ses analizi, iki koşul arasında belirgin spektral özellik farkları göstermiştir. Sonuç olarak, araştırmamız, çevresel ve akustik sensör verilerinin birleşiminin arı kolonilerinin durumunu kapsamlı ve doğru izlememize olanak sağladığını doğrulamaktadır. Bulgular, bu tür bir yaklaşımın izleme uygulamaları için değerli bir araç olabileceğini önermektedir.

Anahtar Kelimeler: Çevresel sensör, akustik veri analizi, zaman serisi analizi, arı kovani sağlığı

ABSTRACT

The continuous and accurate monitoring of bee colony health and activity is crucial for the conservation of bee populations and the support of sustainable agricultural practices. Our study aims to effectively monitor the status of bee colonies by integrating environmental and acoustic sensor data. This includes the analysis of environmental parameters such as CO₂ and Total Volatile Organic Compounds (TVOC) concentrations, temperature, and humidity, along with the analysis of acoustic data. The methodology employed involves the time-series analysis of data obtained from various environmental sensors and the extraction of spectral features from audio files. An outlier analysis is applied during the analytical process to distinguish between normal and special conditions. Our results indicate significant temporal changes in environmental parameters. Notably, substantial increases in CO₂ and TVOC concentrations were observed under special conditions (CO₂: from 1200 ppm to 1450 ppm, TVOC: from 0 ppb to 450 ppb). Additionally, acoustic analysis revealed distinct spectral feature differences between the two conditions. In conclusion, our research confirms that the combination of environmental and acoustic sensor data enables comprehensive and accurate monitoring of bee colony status. The findings suggest that this integrated approach can be a valuable tool for monitoring applications.

Keywords: Environmental sensor, acoustic data analysis, time series analysis, beehive health

GİRİŞ

Arılar, yalnızca bal, balmumu, arı sütü ve propolis üretimiyle sınırlı olmayan, ekosistemlerde hayati bir rol oynayan organizmalardır(Papa vd., 2022). Bitkilerin tozlanmasında kritik bir öneme sahip olan arılar, doğal ve yetiştirilen flora çeşitliliğinin artırılmasına katkı sağlarlar (Thapa, 2006)(Kearns & Inouye, 1997). 2010 ile 2021 yılları arasında toplanan istatistiksel verilere göre, dünya genelinde arı kovanı sayısında sürekli bir artış gözlemlenmiştir(Tang vd., 2023). Yaygın inanışın aksine, bu veriler arı kolonilerinin sayısında bir düşüş olmadığını, aksine artış olduğunu göstermektedir. Bu durum, arılar ve arıcılık endüstrisi hakkında daha fazla araştırma yapılması gerektiğini ve mevcut verilerin detaylı bir şekilde incelenmesi ihtiyacını vurgular. Sonuç olarak, bu, arı popülasyonlarındaki değişikliklerin ve bu değişikliklerin ekosistemler üzerindeki etkilerinin daha iyi anlaşılmasına yol açacaktır(Murray vd., 2009). Bu zararlar, doğal bitki çeşitliliğinin korunması, geniş ekosistem istikrarı ve tarımsal verimlilik açısından ciddi sonuçlar doğurabilir(Ratnadass vd., 2012). Arı popülasyonlarındaki bu düşüşe katkıda bulunan faktörler arasında, kovanlardan bal arılarının ani kayboluşu ile karakterize edilen Koloni Çöküş Bozukluğu (CCD) gibi hastalıklar bulunmaktadır(vanEngelsdorp vd., 2009)(VanEngelsdorp vd., 2017). Çoğu arı bilimcisi, bal arı kolonilerindeki azalmanın, arı sağlığını bağımsız olarak, birleşik şekilde veya sinerjik olarak etkileyen çoklu stres faktörlerinden kaynaklandığı konusunda hemfikirdir(Goulson vd., 2015)(Doublet vd., 2015). Arı kolonilerini izlemek, sağlıkları ve üretkenlikleri hakkında kritik bilgiler sağlayarak sürdürülebilir arıcılık uygulamalarının desteklenmesine yardımcı olur. Son yıllarda, arıları izlemek ve analiz etmek için çeşitli sensör teknolojilerinin kullanımında bir artış görülmüştür. İzleme ve değerlendirme için çok sayıda sensör kullanılmaktadır(Bromenshenk vd., 2015)(Gil-Lebrero vd., 2016). Bu sensörleri seçerken düşük enerji tüketimi, uzun menzilli iletişim, güvenilir veri toplama ve bakım gereksinimleri gibi kritik faktörler göz önünde bulundurulmuştur. Bu sensörler, kovanların mikro-iklimini, arı aktivitesini ve koloninin genel durumunu izleyerek, arı yetiştiricilerine koloni sağlığı ve üretkenlikleri hakkında değerli bilgiler sağlar. Sensörler ve veri toplama sistemleri, endüstri, tarım, sağlık hizmetleri, eğlence, ulaşım ve spor gibi çeşitli alanlarda olayları izlemek için yaygın olarak kullanılan araçlardır(Cecchi vd., 2020)(W. G. Meikle & Holst, 2015). Bu sistemler, otomatik karar verme mekanizmalarını destekleyerek insan hayatının birçok yönünü kolaylaştırır. Bu bağlamda, veri toplama sistemleri, makine öğrenimi algoritmalarını eğitmek için gerekli verileri toplamada temel bir rol oynamaktadır. Ancak, bu sistemlerin uzak bölgelerde kullanılması, enerji, bakım ve iletişim sınırlamaları nedeniyle önemli zorluklar sunmaktadır(Tien, 2017). Uzak bölgelerden gelen yanıltıcı sensör verileri ve güvenilir olmayan iletişim, kesin ve zamanında karar verme sürecini karmaşıklaştırır.

Arı kolonileri sensörleri arasında, çevresel parametreleri (sıcaklık, nem, atmosferik basınç vb.) ölçen sensörler, arı hareket ve aktivitesini izleyen sensörler ve kovan içi hava kalitesini değerlendiren sensörler bulunmaktadır(Zaman & Dorin, 2023). Bu sensörler, kolonilerin iç ve dış koşullarını sürekli olarak izleyerek, anormal durumların veya olası problemlerin erken tespit edilmesini sağlar. Sıcaklık, arı aktivitesi ve sağlığı açısından kritik bir rol oynar. Dış sıcaklık 10 °C'nin altına düştüğünde arılar uçmayı durdurur(Abou-Shaara vd., 2017)(Bretzlaff vd., 2023). Düşük sıcaklıklarda arılar, kovanda kümelenir ve hayati ısı üretmek için vücut kaslarını kullanır. Ancak bu metabolik aktivite, depolanan yiyeceklerin çok daha yüksek bir oranda tüketilmesini gerektirir. Yeterli polen ve nektar depolarına sahip güçlü arı kolonileri, sıfırın altındaki sıcaklıklarda kışı atlatabilir. Ancak arılar, 45 °C'nin üzerindeki sıcaklıklarda hayatta kalamaz(Anwar vd., 2022)(Maxwell & Knapp, 2012). Arı kovanlarında nem seviyeleri genellikle nem sensörleri ile izlenir. Literatür, arıların kuluçka alanında %50'nin üzerinde nispi nem seviyelerini sürdürdüğünü göstermektedir(Ayton vd., 2016). Düşük nem seviyeleri, yumurtaların kurummasına neden olabilir, bu da hemşire arıların nem kaybını azaltmak için kuluçka alanını mühürlemesine yol açar (Kauffeld, 1967). Arılar taze nektar getirdiğinde, kovanın nem seviyeleri artar. Nektar, su içeriğini azaltmak için bir arıdan diğerine aktarılır. Sonunda, kovandaki buharlaşma, nektarın su içeriğini %17 ile %21 arasında azaltmaya yardımcı olur(Mitchell, 2019)(Cane & Love, 2021), bunun ardından arılar bal hücrelerini mumla mühürler. Kovan içindeki yüksek nem, buharlaşma sürecini yavaşlatır ve kış aylarında küf riskini artırır. Arılar, nem ve sıcaklık seviyelerini makul seviyelerde tutmak için kovan girişinde yelpaze hareketi yapar(Wardhany vd., 2020). Sağlıklı koloniler, kovanın mikro-iklimini düzenlemede iyidir, bu nedenle nem seviyelerinin kovan sağlığının bir göstergesi olması beklenir. Atmosferik basıncın arılara etkisi detaylı olarak incelenmemiştir. Araştırmalar, yerel hava koşullarını, atmosferik basınç dahil, arıların yiyecek toplama aktivitesini tahmin etmek için kullanmanın, tahmin modellerinin performansını hafifçe iyileştirebileceğini göstermektedir (Clarke & Robert, 2018). Ancak, atmosferik basınçtaki önemli değişiklikler yalnızca yükseklik değişiklikleriyle gözlemlenir ve önemli yükseklik değişiklikleri de sıcaklık değişikliklerine neden olur. Arılar üzerinde önemli yükseklik/basınç değişikliklerinin etkilerini bulmayı amaçlayan

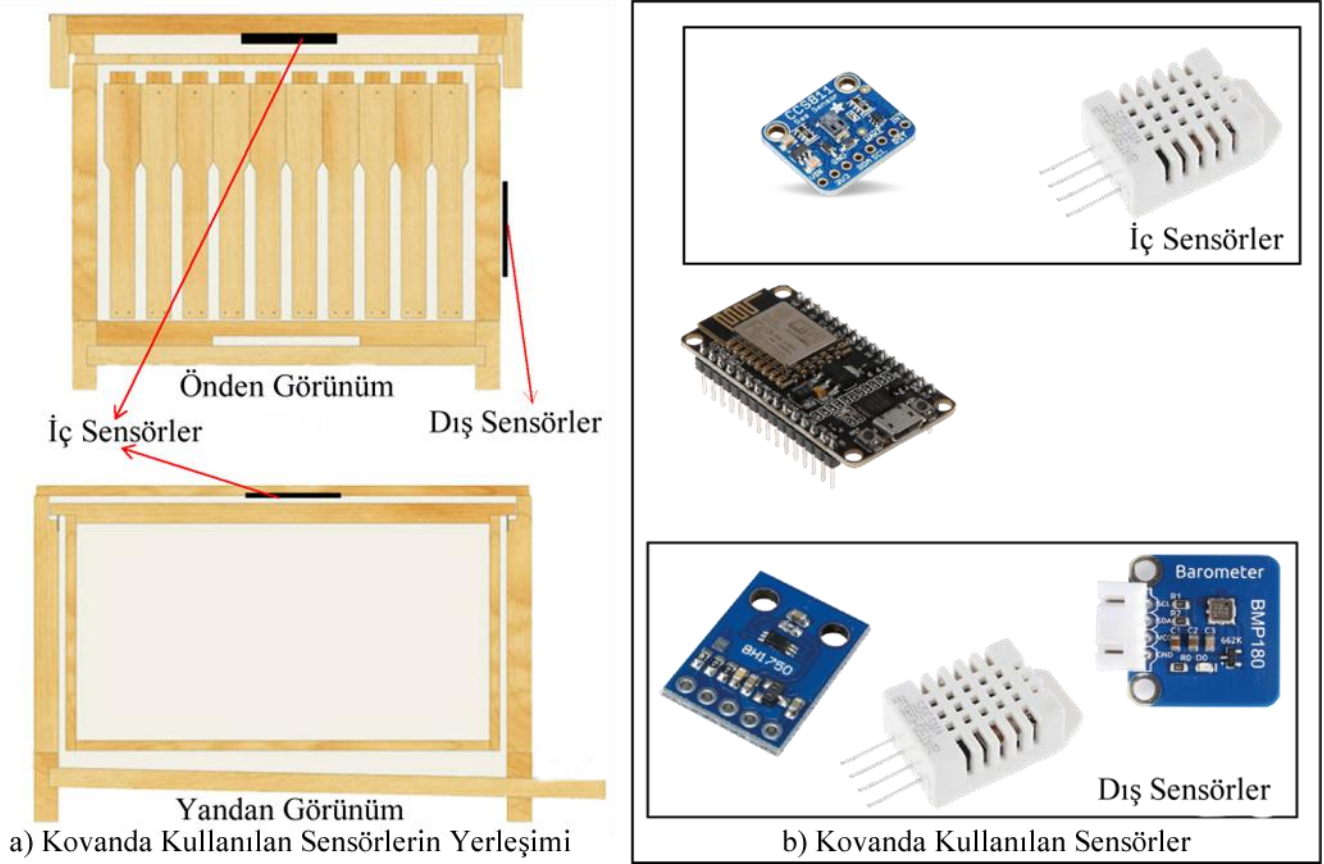
herhangi bir çalışma, yükseklik nedeniyle sıcaklık değişikliklerinin etkilerini göz önünde bulundurmalıdır. Kovanlardan elde edilen akustik veriler, kovan aktivitesi hakkında bilgi açısından zengindir (Rafael Braga vd., 2020) ve araştırmacılar tarafından yoğun bir şekilde incelenmiştir. Literatür, bir kovanın içindeki çoğu ses frekansının 100 Hz ile 1 kHz arasında olduğunu ve kovan hakkında en fazla bilgiyi sağladığını belirtmektedir (Ferrari vd., 2008; Qandour vd., 2014). Bazı arıcılar, arıların vızıltısını dinleyerek bir kovanın durumunu değerlendirebilir, çünkü vızıltının şiddeti arı aktivitesiyle doğru orantılıdır. Arılar, sürü oluşumu veya alarm durumları gibi belirli olaylar sırasında farklı akustik frekanslar üretir (Terenzi vd., 2020). Ses verileri, ayrıca kovanın en önemli arısı olan kraliçenin varlığını veya yokluğunu belirlemek için kullanılabilir (Ruvina vd., 2021). Kovan içindeki gaz emisyonları, kovan sağlığının iyi bir göstergesidir (Braga vd., 2020; Szcurek vd., 2023). Bazı arı hastalıkları belirgin kokular üretir (Schöning vd., 2012). Bu kokular tespit edilirse, arıcılar hastalığı tedavi etmek veya diğer kovanlara yayılmasını önlemek için adımlar atabilir. Sağlıklı bir kovanda, CO₂ seviyeleri ve dalgalanmaları arıların metabolik aktivitesiyle ilişkilidir (Genç & Genç, 2019). Ancak, gazları doğru bir şekilde tespit etmek nispeten pahalı ve enerji tüketen sensörler gerektirir. Ayrıca, belirli gaz emisyonlarını tespit etmek için gereken birçok farklı gaz sensörünün karmaşıklığı ve maliyet faktörleri ayrıntılı olarak düşünülmeli ve haklı çıkarılmalıdır. Işık sensörlerinin arı aktiviteleri üzerindeki etkisi, kovan içi ışık koşullarını izlemek için kullanılan ışık sensörleri ile incelenir ve kovan içindeki arı aktiviteleri ve genel durum hakkında yararlı bilgiler sağlar. Arılar, gündüz yiyecek toplama faaliyetleri sırasında kovan içindeki ışık seviyelerindeki değişiklikleri algılar. Hava koşullarındaki ani değişiklikler veya kovanın fiziksel olarak taşınması gibi ışık seviyelerindeki ani değişiklikler, arıları strese sokabilir ve böylece kovanın genel sağlığını etkileyebilir. Bu nedenle ışık sensörleri, kovan içindeki çevresel koşulları izlemek ve arı sağlığını korumak için önemli bir araçtır.

Dolayısıyla, sensör teknolojilerinin entegrasyonu, arı kolonilerini izleme uygulamasını daha etkili ve verimli hale getirmiştir. Bu teknolojik ilerlemeler sayesinde, arıcılık endüstrisi arıların sağlığı ve üretkenliği hakkında daha doğru ve zamanında bilgiler elde edebilir. Bu durum, arı ölümlerini azaltmaya ve arıcılık uygulamalarının sürdürülebilirliğini artırmaya katkıda bulunur. Her sensör, arıların sağlığı ve aktivitesi hakkında özel ve kritik bilgiler sağlar. Bu veriler, arı kolonilerinin genel durumunu anlamamıza yardımcı olur ve potansiyel sorunlara zamanında müdahale imkanı tanır. Arı kolonilerinin izlenmesinde kullanılan IoT tabanlı sensörlerin etkinliği, literatürde de geniş bir şekilde ele alınmıştır. Özellikle, Özger ve arkadaşlarının yaptığı sistematik derleme, IoT teknolojilerinin hayvan sağlığı ve davranışlarının izlenmesindeki uygulamalarını kapsamlı bir şekilde incelemektedir (Özger vd., 2024). Bu çalışma, arı kolonilerinin durumunu sürekli olarak izlemek için çevresel ve akustik sensör verilerini entegre etmeyi amaçlamaktadır ve arıların durumları hakkında daha doğru ve kapsamlı bilgiler elde etmeyi hedeflemektedir. Hipotezimiz, çevresel ve akustik verilerin birleştirilmesinin, arı kolonilerinin sağlığı ve aktivitesi hakkında derinlemesine bilgi sağlayarak daha etkili izleme ve koruma stratejileri geliştirmemize yardımcı olacağı yönündedir. Çalışmamız, bu alandaki bilgiyi genişletmeyi ve uygulamalı sorunları çözmeyi amaçlayan geçmiş araştırmalar üzerine kuruludur. Bu bağlamda, giriş bölümü çalışmanın amacını, birincil ve ikincil hipotezleri ve bu hipotezlere uygun araştırma tasarımını sunar. Çalışmanın teorik ve pratik sonuçları, ilgili literatürle birlikte detaylı bir şekilde tartışılacaktır. Çalışma ayrıca, çalışma kapsamında tasarlanmış ve geliştirilmiş çok sensörlü uzaktan veri toplama sistemi kullanılarak arı kolonilerinden veri toplamayı da hedeflemektedir. Düşük enerji tüketimi ve uzun menzilli iletişim, sistemin odak noktasıdır. Arı kolonilerinin durumu, bu sistem tarafından toplanan çevresel ve akustik verilerle izlenmektedir. Arı kolonilerinin iç ve dış ortamlarındaki çeşitli parametreler, kullanılan sensörlerle özel olarak izlenmektedir. Bu sensörler, CO₂ ve VOC konsantrasyonları, iç ve dış sıcaklık ve nem, atmosferik basınç ve ışık yoğunluğunu ölçer; ayrıca arı hareketlerini izlemek için tasarlanmıştır. Arı kolonilerinde sensör kullanımının önemi ve bu alandaki mevcut teknolojiler, çalışma tarafından incelenecektir. Çalışma ayrıca, arı kolonilerinde gözlemlenen özel koşulları, örneğin CO₂ eşdeğeri (ppm) ve Toplam Uçucu Organik Bileşen (TVOC - ppb) konsantrasyonlarını da tartışacaktır. Bu özel koşullar, arı aktiviteleri ve kovanın genel sağlığı hakkında kritik bilgiler sağlar. Çalışma, bu özel koşulları tanımlamak ve analiz etmek için kullanılan sensör verilerini ve bu koşullar sırasında kovan içinde kaydedilen ses verilerini inceleyecektir. Ses analizi, arıların davranışları ve kovanın genel durumu hakkında benzersiz ve değerli bilgiler sunar, bu nedenle bu çalışma, ses verilerinin analizine özel bir önem vermektedir. Ayrıca, kovan içindeki CO₂_eq (ppm) ve TVOC (ppb) konsantrasyonlarındaki değişikliklerin kovanın genel sağlığı ve arı aktiviteleri üzerindeki etkilerini gösterecektir. Ek olarak, belirli kimyasal konsantrasyonlarındaki değişikliklerin kovanın ses profiline nasıl yansıtıldığını gösterecektir. Çalışma, bu teknolojilerin arı kovanlarını izleme ve analiz etmede nasıl katkıda bulunduğunu ve daha ileri geliştirme için potansiyel alanları tartışacaktır. Bu, hem arıların sağlığını korumak hem de arıcılık uygulamalarını iyileştirmek için kullanılabilir güçlü ve etkili bir izleme aracı yaratacaktır. Bu bölüm, arı kovanlarında sensör kullanımının artan önemini ve bu teknolojilerin sürdürülebilir arıcılık uygulamalarına nasıl katkıda bulunduğunu vurgulamaktadır.

MATERYAL METOT:

Sensörler ve Sensör Verilerinin Tanımı

Veri toplama donanım platformu, bir arı kolonisine hizmet eden iki bileşenden oluşmaktadır. Verileri birleştiren ve kaydeden, mikrofon bilgilerini işleyip kaydedebilen gömülü bir bilgisayar (Raspberry Pi) bulunmaktadır. Gömülü bilgisayara bilgi aktarabilen bir sensör mikrodenetleyicisi içeren bir sensör okuma devresi (NodeMCU) da sistemin bir parçasıdır. Sistem, iki farklı modülden oluşmaktadır. Çalışmamızda kullanılan sensörlerin yerleşimi Şekil 1'de gösterilmiştir. İç sensörler, kovanın iç kısmında, özellikle petekler ile kovan kapağı arasında stratejik bir şekilde yerleştirilmiştir. Bu konumlandırma, kovan içi ikliminin doğru bir şekilde izlenmesini sağlamak için seçilmiştir. Dış sensörler ise kovanın dış yüzeyine monte edilerek çevresel koşulların sürekli olarak kaydedilmesi amaçlanmıştır. Bu yerleşim düzeni, arı kolonilerinin sağlık durumu ve çevresel etkileşimleri hakkında kapsamlı veri sağlamaktadır. Bu platform, giriş sensörlerine ve ses sinyallerini kaydetme kapasitesine sahiptir. Sensörler, arıların kovana giren yabancı nesnelere propolis ile kaplama eğilimleri göz önüne alındığında, arılara minimum müdahale ile kovana yerleştirilir (Mirzaei, 2024).



Şekil 1. Deney Düzeneği a) Kovanda Kullanılan Sensörlerin Yerleşimi b) Kovanda Kullanılan Sensörler

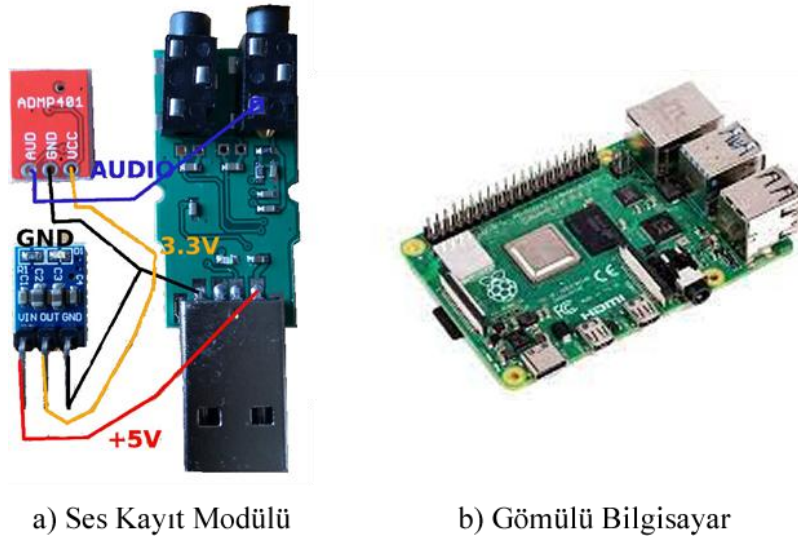
Ses verilerini toplamak için her kovana iki mikrofon monte edilmiştir. Küçük ve diskret yapıları nedeniyle MEMS (Mikro Elektro-Mekanik Sistemler) mikrofonları tercih edilmiştir. Özellikle seçilen model, 100 Hz ile 15 kHz arasında bir bant genişliğine sahip Analog Devices ADMP401'dir (Cecchi vd., 2020). Mikrofonlardan alınan sinyaller, Raspberry Pi'ye bağlı 32 kHz örnekleme hızına sahip 24-bit USB ses kartı tarafından alınır.

Sıcaklık ve nem verileri için, düşük maliyetli ve küçük tek telli dijital bir sensör olan DHT22 (Durgun, 2021; Mobaraki vd., 2022) seçilmiştir. Her kovan iki DHT22 sensörü ile donatılmıştır: biri iç veri toplama için petekler arasında ve kovan kapağı arasında yerleştirilirken, diğer sensör kovanın dışına monte edilmiştir. Sıcaklık açısından, her sensör -20 ile +80°C ölçüm aralığına sahiptir, ± 0.5 °C hassasiyet ve 0.1 °C çözünürlük ile. Görel nem, [0, 100]% Rh aralığında ± 2 % Rh hassasiyet ve ± 0.1 % Rh çözünürlükle ölçülür.

Karbon dioksit ve toplam uçucu organik bileşenler (TVOC) ölçmek için CCS811 Gaz Sensörü kullanılmıştır. Bu sensör, metal oksit (MOX) teknolojisi kullanılarak geniş bir TVOC ve eşdeğer karbon dioksit (eCO₂) seviyesini ölçebilen dijital bir gaz sensörüdür. Sensör, 400'den 8192 parça milyonda (ppm) eCO₂ konsantrasyonları ve 0'dan

1187 parça milyarda (ppb) TVOC konsantrasyonları ölçer. CCS811'in özellikleri arasında entegre bir MCU, 1.8V ile 3.6V arasında çalışma voltajı, çip üzerinde işleme, standart bir I²C dijital arayüzü (0x5A veya 0x5B I2C Adresi), düşük enerji modları ve 12-bit ADC bulunmaktadır.

Gömülü veri toplama platformu, her bir giriş sensöründen veri toplamak üzere programlanmış olan Raspberry Pi 3 Model B merkezi işlem birimi tarafından yönetilmektedir. Şekil 2, Raspberry Pi'yi, ses kartını, sensörlere analog arayüzü ve güç kaynağını içeren donanım kapsülünü göstermektedir. Her kovandan ilgili verileri toplayan ve her kovanla TCP/IP bağlantısı üzerinden iletişim kuran ana modülün genel şemasını göstermektedir. Ana modül, tüm sistemi MikroTik SXTG-5HPnD-SAr2 antenleri ile uygulanan noktadan noktaya radyo bağlantısı destekli yüksek hızlı kablosuz internet bağlantısı aracılığıyla dış dünyaya bağlar. Böylece, bir PC sunucusu doğrudan arı kolonisine bağlanır ve toplanan tüm verileri yönetmek için özel olarak geliştirilmiş yazılımı çalıştırır. Yazılım, her arı kovanının kitlesel depolama alanından verileri sunucuya aktarır ve verilerin grafik arayüzü üzerinden gerçek zamanlı görselleştirilmesini sağlar.



Şekil 2. Veri toplama donanım platformu a) Ses Kayıt Modülü b) Gömülü Bilgisayar

Veri toplama donanım platformu, Raspberry Pi 3 Model B merkezi işlem birimi tarafından yönetilmektedir. Güç kaynağı, Raspberry Pi, ses kartı, sensörlere analog arayüz ve güç kaynağını içeren bir donanım muhafazasına sahiptir. Verilerin ölçüm aralıkları hakkında spesifik bir bilgi verilmemiştir. Ancak, verilerin sürekli olarak toplandığı ve işlenip kaydedildiği belirtilmiştir. Bu çalışmada, arı kolonilerinin durumunu izlemek amacıyla çevresel ve akustik verilerin toplanması ve analizi için belirli bir deney süresi belirlenmiştir. Deney, arı kolonilerinin davranışlarını ve çevresel koşullardaki değişiklikleri gözlemlemek için yeterli veri elde edilmesini sağlamak amacıyla [deney süresi, örneğin: altı ay boyunca] gerçekleştirilmiştir. Bu süre zarfında, çeşitli sensörlerden sürekli veri toplanmış ve analiz edilmiştir. Deney süresinin uzunluğu, mevsimsel değişiklikler ve diğer çevresel faktörlerin arı kolonileri üzerindeki etkilerini daha iyi anlamamıza olanak tanımıştır. Bu çalışma kapsamında, on tane arı kolonisi izlenmiştir. İzleme süreci boyunca her bir koloniden çevresel ve akustik veriler sürekli olarak toplanmış ve analiz edilmiştir. Koloni sayısının bu şekilde belirlenmesi, çeşitli çevresel koşullar ve koloni davranışlarının geniş bir yelpazede gözlemlenmesine olanak tanımıştır.

Bu çalışmada, arı kolonilerinin durumunu izlemek amacıyla çevresel ve akustik verilerin toplanması ve analizi için belirli bir deney süresi belirlenmiştir. Deney, arı kolonilerinin davranışlarını ve çevresel koşullardaki değişiklikleri gözlemlemek için yeterli veri elde edilmesini sağlamak amacıyla altı ay boyunca gerçekleştirilmiştir. Bu süre zarfında, çeşitli sensörlerden sürekli veri toplanmış ve analiz edilmiştir.

İzlenen arı kolonileri, standart Langstroth kovanlarında barındırılmıştır. Her kovan, 10 çerçeve kapasitesine sahip olup, ahşap malzemeden yapılmıştır. Kovanların boyutları örneğin: 50 cm x 40 cm x 30 cm olarak belirlenmiştir. Kovanların iç yapısı, arıların doğal davranışlarını en iyi şekilde gözlemlemek amacıyla düzenlenmiştir. Ayrıca,

kovanların üzeri hava şartlarından koruyacak şekilde tasarlanmıştır ve içlerinde sıcaklık, nem ve diğer çevresel parametreleri sürekli olarak izleyen sensörler bulunmaktadır.

Verilerin Tanımları ve Kayıt Formatları

Bu bölümde, kullanılan veri setindeki özelliklerin tanımları, veri ve ses dosyalarının formatları ve uzantıları ile bunların karakteristikleri hakkında bilgi verilmektedir.

Zaman Damgası: Veri setindeki her ölçümün, ölçümün yapıldığı tarih ve saati belirten bir zaman damgası vardır. Zaman damgası, zaman serisi analizi için verilerin düzenlenmesine yardımcı olur.

CO₂_eq (ppm): Kovan içindeki eşdeğer karbondioksit (CO₂) konsantrasyonu milyon birim (ppm) cinsinden kaydedilir. CCS811 sensörü ile ölçülen bu değerler, kovanın genel hava kalitesini değerlendirmek için kullanılır. TVOC (ppb): Uçucu organik bileşiklerin (VOC) konsantrasyonu milyarda birim (ppb) cinsinden kaydedilir. Bu değerler, kovan içindeki organik bileşik miktarını gösterir ve hava kalitesinin bir göstergesi olarak hizmet etmektedir. İç sıcaklık(TempIn)_1 (°C) ve İç sıcaklık_2 (°C): Kovan içindeki sıcaklık, iki farklı sensör tarafından santigrat olarak ölçülmektedir ve kaydedilir. Bu iki değer, kovan içindeki sıcaklık dalgalanmalarını izlemek için kullanılmaktadır. İç nem (HumIn)_1 (%) ve iç nem_2 (%): Kovan içindeki nem seviyeleri, iki farklı sensör tarafından yüzde olarak ölçülür ve kaydedilmektedir. Bu değerler, kovan içindeki nem seviyesini izlemek için kullanılmaktadır.

Dış sıcaklık(TempOut) (°C): Kovanın dış sıcaklığı Santigrat olarak kaydedilir. Bu değer, dış ortamın kovan üzerindeki etkilerini analiz etmek için kullanılmaktadır.

Dış nem(HumOut) (%): Kovanın dış nemi yüzde olarak kaydedilir. Bu değer, dış ortamın kovan üzerindeki etkilerini analiz etmek için kullanılmaktadır.

Basınç (hPa): Atmosferik basınç hektopascal (hPa) cinsinden kaydedilmektedir. Bu değer, atmosferik basıncın kovan üzerindeki etkilerini incelemek için kullanılmaktadır.

Işık (-): Göreceli ışık yoğunluğu, kovan içindeki ışık seviyesini göstermektedir. Bu değer, kovan içindeki ışık seviyelerinin kovan aktiviteleri üzerindeki etkilerini analiz etmek için kullanılmaktadır.

Ses Dosyaları, Uzantılar, Formatlar ve Karakteristikler Ses Dosyaları: Ses dosyaları, kovan içindeki arıların faaliyetlerini ve davranışlarını analiz etmek amacıyla kaydedilmektedir. Bu dosyalar, arıların iletişimi, hareketliliği ve diğer işitilebilir sinyallerin analizi yoluyla koloninin genel durumu ve sağlığı hakkında bilgi sağlamaktadır.

Uzantılar ve Formatlar: Sağlanan örnekte olduğu gibi, ses dosyaları .wav formatında kaydedilmektedir.wav formatı, sıkıştırılmamış ses verilerini saklayan kayıpsız bir ses dosyası formatıdır. Bu format, ses analizinde ses kalitesinin kaybolmamasını sağlar.

Karakteristikler: Ses dosyaları çeşitli örnekleme hızları ve bit derinliklerinde kaydedilebilir. Sağlanan örnek gibi dosyalar tipik olarak 44.1 kHz örnekleme hızı ve 16-bit derinlikte kaydedilir. Bu özellikler, ses dosyasının frekans aralığını ve dinamik aralığını belirlemektedir. Örnekleme hızı, ses dosyasının saniyede kaç 'örnek' aldığını belirtir. Bit derinliği, her bir örneğin kaç bit olduğunu belirtir. Bu parametreler, ses dosyasının kalitesini ve boyutunu etkilemektedir.

Analiz: Ses dosyaları analiz edildiğinde, arıların farklı aktiviteleri ve davranışları ile ilişkili çeşitli frekans bileşenleri ve ses kalıpları ortaya çıkarmaktadır. Bu analizler, kovanın sağlık durumu, arıların aktivite seviyeleri ve kovan içinde gerçekleşen diğer dinamikler hakkında bilgi sağlamaktadır.

Veri Analiz Yöntemleri

Çalışmada uygulanan analiz süreci, zaman serisi analizi, aykırı değer tespiti ve spektral özellik çıkarımını içermektedir.

Zaman Serisi Analizi

Zaman serisi analizi, sürekli gözlemlenen parametrelerin (örneğin, sıcaklık, nem, basınç, CO₂ ve VOC konsantrasyonları) zaman içindeki davranışlarını incelemek için kullanılmıştır. Bu analitik yaklaşım, mevsimsel eğilimlerin, döngülerin ve genel eğilimlerin tanımlanmasını kolaylaştırmıştır.

Aykırı Değer Analizi

Aykırı değer analizi, sensör hatalarını veya ani değişiklikleri tespit etmek için uygulanmıştır. Belirlenen aykırı değerler analizden çıkarılmıştır.

Spektral Özellik Çıkarımı

Ses verilerinin spektral analizi, frekans alanında özelliklerin çıkarılmasını sağlamıştır. Spektral özellikler, kovan içindeki arı faaliyetlerini karakterize etmek için kullanılmıştır.

Veri Ön İşleme

Veri ön işleme süreci, analiz için hazır bir veri seti oluşturmak amacıyla gerçekleştirilmiştir. Bu süreç, veri temizleme, normalizasyon ve eksik değerlerin doldurulmasını içermektedir.

Veri Temizleme

Veri temizleme, ham veri setindeki hatalı, eksik veya tutarsız verilerin düzeltilmesini veya kaldırılmasını içermiştir. Bu süreç, veri setinin kalitesini artırmak ve analiz sonuçlarının güvenilirliğini sağlamak amacıyla yürütülmüştür. Aykırı değerler, IQR (Çeyrekler Arası Aralık) metodolojisine veya alan bilgisi ile belirlenen eşik değerlerine dayanarak tespit edilip kaldırılmıştır.

Normalizasyon

Verilerin farklı ölçeklerle karşılaştırılabilir hale getirilmesi için veri normalizasyonu yapılmıştır. Bu süreç, veri setindeki değişkenlerin değerlerinin belirli bir aralığa veya standart bir dağılıma dönüştürülmesini içermiştir. Veri setindeki tüm değişkenler, Min-Max normalizasyon tekniği veya Z-skoru normalizasyon tekniği kullanılarak ölçeklendirilmiştir.

Eksik Değerlerin Doldurulması

Eksik değerlerin doldurulması, veri setindeki eksik değerlerin tahmin edilmesi ve doldurulmasını içermiştir. Keşifsel veri analizi (EDA) teknikleri kullanılarak eksik değerler tespit edilmiştir. Eksik değerler, ortalama, medyan veya mod doldurma gibi basit istatistiksel metodolojiler ile veya k-NN (en Yakın Komşular) veya MICE (Bağlantılı Denklemler ile Çoklu İmputasyon) gibi daha sofistike doldurma teknikleri kullanılarak doldurulmuştur.

Analiz Süreci

Yukarıda belirtilen veri ön işleme prosedürlerinin ardından, temizlenmiş ve işlenmiş veri seti üzerinde zaman serisi analizi, aykırı değer analizi ve spektral özellik çıkarımı gerçekleştirilmiştir.

BULGULAR:

Genel İstatistiksel Özet

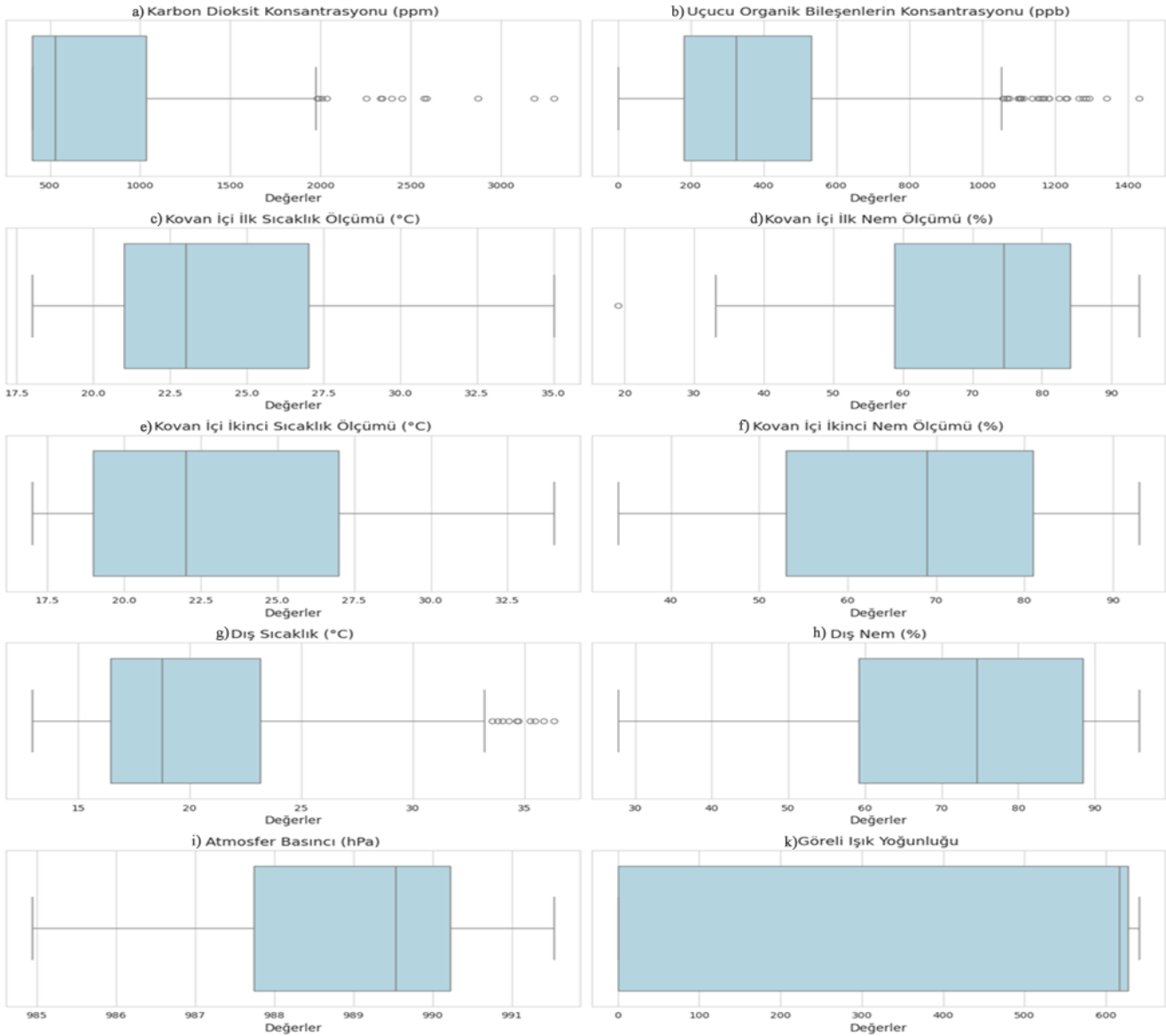
CO₂_eq (ppm): CO₂'nin ortalama konsantrasyonu yaklaşık 818 ppm'dir, kaydedilen maksimum değer ise 3291 ppm'dir.

TVOC (ppb): Toplam uçucu organik bileşenlerin (TVOC) ortalama konsantrasyonu yaklaşık 429 ppb'dir ve maksimum değer 1432 ppb'dir. Diğer sütunlar için benzer istatistiksel özet bilgiler mevcuttur.

CO₂ ve TVOC seviyelerindeki artışlar, kovan içindeki metabolik aktiviteler ve çevresel stres faktörleri ile doğrudan ilişkilidir. Araştırmamızda, CO₂ seviyesinin 1200 ppm'den 1450 ppm'ye, TVOC seviyesinin ise 0 ppb'den 450 ppb'ye yükselmesi, kovan içindeki havalandırma yetersizliği ve stres kaynaklı artan metabolik aktiviteye işaret etmektedir. Bu durum, arıların solunum ve enerji harcamalarını artırarak kolonideki bireysel ve toplu davranışları olumsuz etkileyebilir. Akustik analiz sonuçları, bu çevresel değişimlere eşlik eden spektral farklılıkları göstermiş ve arıların strese tepki olarak daha yoğun vızıltılar ürettiği gözlemlenmiştir (Bencsik vd., 2023). Literatür ışığında, bu artışların kolonideki stres seviyelerini artırdığı ve uzun vadede kovan sağlığını olumsuz etkileyebileceği düşünülmektedir (Lin vd., 2023).

Aykırı Değer Analizi

Her özellik için kutu grafiği çizerek aykırı değerleri gözlemlenmektedir. Bu, her özelliğin değer dağılımını ve potansiyel aykırı değerleri gösterecektir.



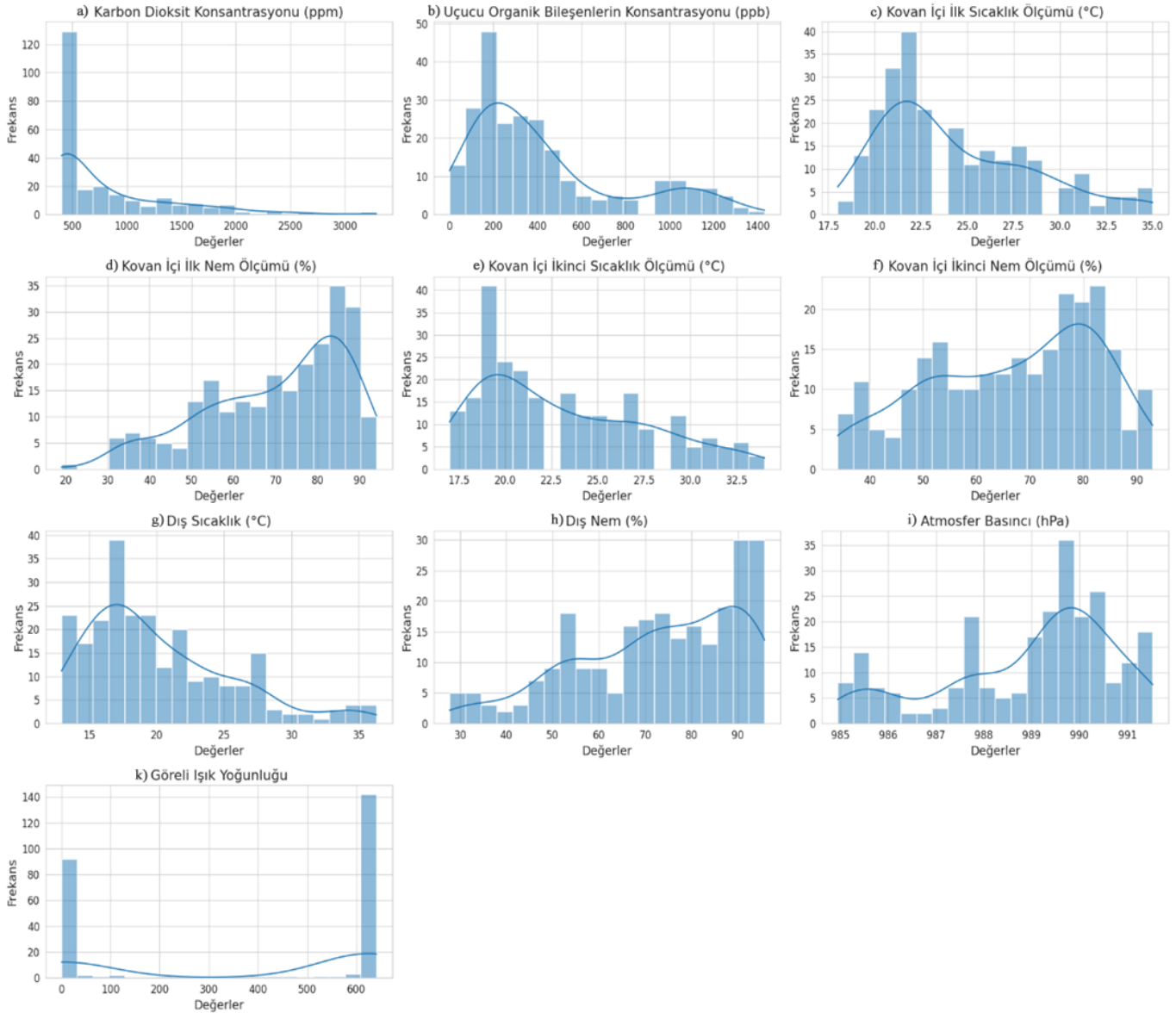
Şekil 3. Her Özellik İçin Değer Dağılımını Ve Potansiyel Aykırı Değerler

CO₂_eq (ppm) ve TVOC (ppb) sütunları için, bazı değerler genel dağılımdan önemli ölçüde farklı görünmektedir, bu da bu özelliklerde aykırı değerlerin varlığını göstermektedir.

Veri Dağılımları: Her özelliğin dağılımını temsil eden histogramlar elde edilmiştir. Bu grafikte, her özellik için değer dağılımını göstermektedir. CO₂_eq (ppm) ve TVOC (ppb) sütunlarında, çoğu değer daha düşük aralıklarda yoğunlaşmıştır, ancak daha yüksek değerlere sahip aykırı değerler bulunmaktadır. Kutu grafiği ve histogramlardan elde edilen bu içgörüler, verilerin genel davranışını anlamak ve analizi etkileyebilecek anomali türlerini belirlemek için hayati öneme sahiptir. CO₂_eq ve TVOC'deki aykırı değerlerin varlığı, kovanlardaki bazı koşulların normdan önemli ölçüde farklı olabileceğini öne sürmektedir, bu da kovan sağlığı ve çevresel faktörleri anlamak için kritik olabilmektedir. Bu aykırı değerler, kovanlardaki olağandışı olaylar veya koşullar, örneğin arı aktivitesindeki değişiklikler, sağlık sorunları veya çevresel stres faktörleri gibi durumları gösteriyor olabilir.

Veri setindeki farklı sütunların analizi, kovanlardaki çevresel koşullara dair değerli içgörüler sağlamaktadır.

İç sıcaklık(TempIn)_1 (°C), İçsıcaklık_2 (°C) ve Dış sıcaklık(TempOut) (°C): Bu sütunlar, kovanların içindeki (İç sıcaklık_1 ve İç sıcaklık_2) ve dışındaki sıcaklık ölçümlerini temsil eder. Bu sıcaklık sütunlarının dağılımı normal bir dağılımı göstermekte, bu da kovanların içinde ve çevresinde beklenen tipik sıcaklık değişim aralığını göstermektedir.



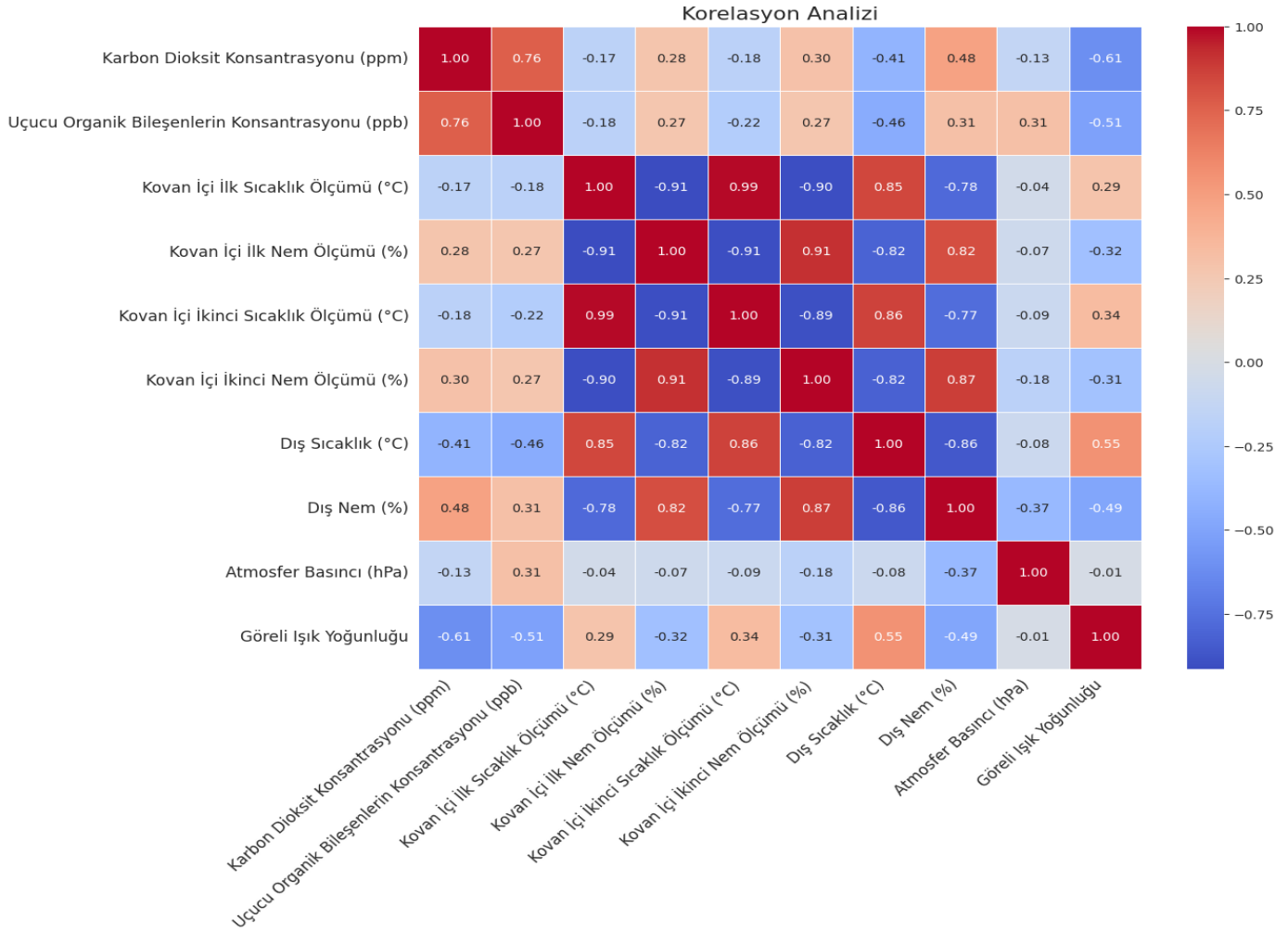
Şekil 4. Değişkenin Dağılımını Gösteren Histogram Grafikler

İç Nem(HumIn)_1 (%), İç nem_2 (%) ve Dış nem (%): Bu sütunlar, kovanların içindeki (HumIn_1 ve HumIn_2) ve dışındaki (HumOut) nem seviyelerinin nasıl değiştiğini göstermektedir. Nem seviyelerini anlamak, arı sağlığını ve kovan koşullarını değerlendirmek için önemlidir, çünkü aşırı nem seviyeleri arı aktivitesini ve kovan verimliliğini etkileyebilir.

Basınç (hPa): Bu sütun, atmosferik basıncın dağılımını gösterir. Atmosferik basınç okumaları, özellikle yiyecek toplama aktiviteleri sırasında arı davranışını ve sağlığını etkileyen çevresel koşulları anlamak için faydalı olabilir.

Işık (-): Bu sütun, ışık yoğunluğunun dağılımını gösterir ve verilerin büyük bir kısmı sıfır değerler gösterir. Işık yoğunluğu, özellikle yiyecek toplama için, arı aktivitelerini etkileyebilir çünkü arılar temel olarak gündüz saatlerinde aktiftir.

Korelasyon Analizi: Son olarak, bu özellikler arasındaki korelasyonları incelemek, aralarındaki ilişkileri anlamaya yardımcı olabilmektedir. Korelasyon katsayıları -1 ile 1 arasında değişir; 1 pozitif korelasyonu, -1 negatif korelasyonu ve 0 ise korelasyon olmadığını göstermektedir. Korelasyon analizi, sıcaklık, nem, basınç ve ışık gibi farklı çevresel faktörlerin nasıl birbirleriyle ilişkili olduğunu ve kolektif olarak arı kolonilerinin durumu ve davranışları üzerindeki etkilerini ortaya çıkarabilmektedir. Bu ilişkileri anlamak, kovan izleme ve yönetimi için kapsamlı stratejiler geliştirmek için hayati öneme sahiptir. Bu, hemen açık olmayan ancak sağlıklı ve üretken arı popülasyonlarını sürdürmek için hayati olan desenleri ve eğilimleri belirlemeye yardımcı olabilmektedir.



Şekil 5. Korelasyon Matrisi

Veri setinizdeki özellikler arasındaki ilişkileri gösteren korelasyon matrisi, temel içgörüler sağlamaktadır: TempIn_1 (°C) ve TempIn_2 (°C): Bu iki özellik arasında güçlü pozitif bir korelasyon vardır (0.89). Bu, kovanın içindeki sıcaklıkların yakından uyumlu olduğunu ve kovanın iç sıcaklık koşullarında bir birlik olduğunu göstermektedir.

HumIn_1 (%) ve HumIn_2 (%): Bu iki özellik de güçlü pozitif bir korelasyon göstermektedir (0.86), bu da kovanın içindeki nem seviyelerinin tutarlı olduğunu gösterir. Bu tutarlılık, arı sağlığı ve verimliliği için uygun bir ortamın sürdürülmesinde önemlidir.

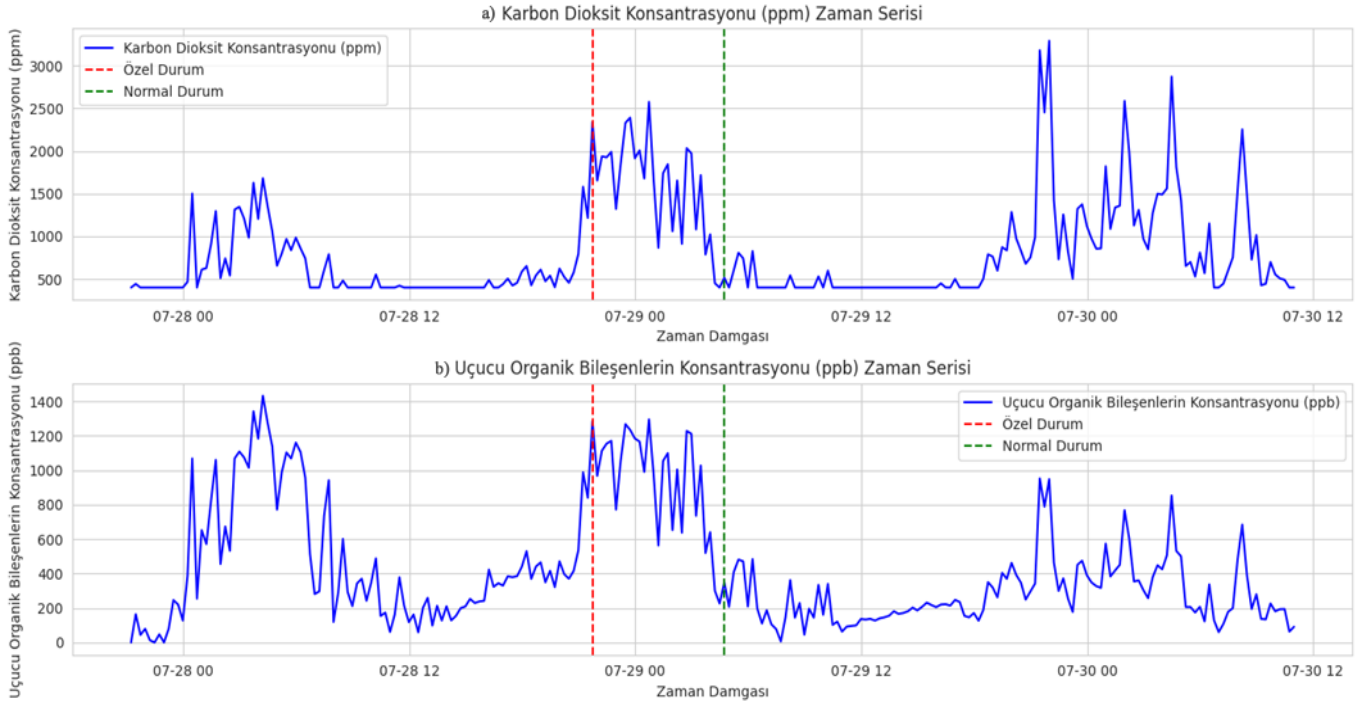
TempOut (°C) ve HumOut (%): Bu iki özellik arasında negatif bir korelasyon vardır (-0.71). Bu, dış sıcaklıklar arttıkça dış nemin azaldığını göstermektedir. Bu ilişki, dış çevresel koşulların kovana nasıl etki ettiğini anlamak için önemli olabilir.

Diğer Korelasyonlar: Diğer korelasyonlar daha düşük, bu da bu belirli özellikler arasında önemli bir ilişki olmadığını önerir.

Aykırı Değer Analizi: Veri setindeki aykırı değerleri belirlemek için Dörtte Birler Aralığı (IQR) yöntemi kullanılmıştır. IQR, bir veri setindeki birinci (Q1) ve üçüncü (Q3) çeyreklikler arasındaki farkı ölçer ve bu fark, aykırı değerleri belirlemek için bir eşik olarak kullanılmıştır.

Genellikle, $Q1 - 1.5IQR$ 'dan küçük veya $Q3 + 1.5IQR$ 'dan büyük olan değerler aykırı olarak kabul edilir. Analiz, "28.07.22 21:43:51" zaman damgasına sahip bir veri noktasını, CO₂_eq (ppm) ve TVOC (ppb) değerleri açısından bir aykırı olarak belirledi. Bu, bu sensörler tarafından kaydedilen değerlerin genel veri dağılımından önemli ölçüde sapma gösterdiği anlamına gelir. Böyle aykırı değerler, sensör hatalarından, veri kaydı sırasında anomalilerden veya kovandaki gerçek, atipik çevresel koşullardan kaynaklanabilmektedir. Buna karşın, "29.07.22 04:43:52" zaman

damgasına sahip veri noktası normal bir durumu temsil eder. Bu zaman damgası için kaydedilen değerler, tüm sensörler için beklenen aralıklarda yer alır ve genel veri dağılımıyla uyumludur. Normal koşullar, kovan için kararlı ve sağlıklı bir çevresel durumu gösterir ve analiz ve modelleme çabaları için güvenilir bir referans noktası sağlamaktadır. Bu detaylı korelasyon ve aykırı değer analizi, kovan içindeki dinamikleri anlamak için hayati öneme sahiptir ve arıcılık uygulamaları ile çevresel izleme stratejilerini önemli ölçüde bilgilendirebilir.

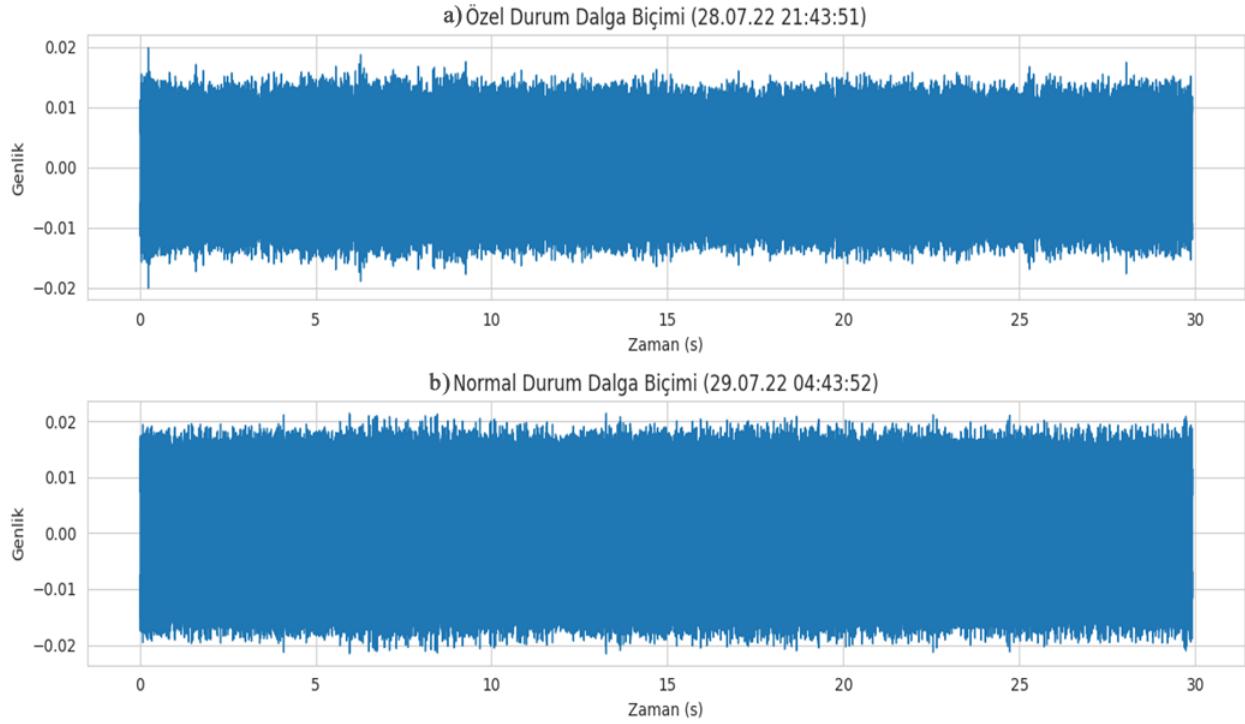


Şekil 6. Sensör Verilerinin Zaman Serisi Grafikleri a) Karbondioksit Konsantrasyonu b) Uçucu Organik Bileşiklerin Konsantrasyonu

Üst Grafik - CO₂eq(ppm) Zaman Serisi: Üst grafik, CO₂eq(ppm) değerlerinin zaman serisini göstermektedir. Bu, eşdeğer karbondioksit konsantrasyonunun zaman içinde nasıl değiştiğini gözlemlememize olanak tanımaktadır. Analiz edilen zaman diliminde önemli dalgalanmalar ve herhangi bir atıpkı (aykırı) değer incelenebilmektedir. Aykırı değer analizi bölümünde belirlenen "28.07.22 21:43:51" zaman damgası bu grafikte özellikle dikkat çekicidir. Bu zaman damgasında, CO₂eq(ppm) değerlerinde normdan bir sapma vardır, bu da bu noktanın daha fazla araştırılmayı gerektirdiğini önermektedir.

Alt Grafik - TVOC(ppb) Zaman Serisi: Alt grafik, TVOC(ppb) değerlerinin zaman serisini göstermektedir. TVOC, havadaki toplam uçucu organik bileşiklerin konsantrasyonunu temsil etmektedir. Grafik, belirli zamanlarda TVOC konsantrasyonlarındaki değişiklikleri göstermektedir. TVOC konsantrasyonu, hava kalitesini değerlendirmek için önemli bir parametredir. "28.07.22 21:43:51" zaman damgasında TVOC değerlerinde bir artış gözlemlenmektedir. Bu, belirli bir dönemde kovan içindeki hava kalitesinde bir değişiklik olduğunu gösterebilir. Ses Dalgalarının görselleştirilmesi akustik verileri daha fazla analiz etmek için, her iki ses dosyasının dalga formlarını görselleştirmek kritik öneme sahiptir. Bu görselleştirme, ses sinyallerinin zaman alanındaki yapısını temsil edecektir. Dalga formu görselleştirmeleri, arıların düzenli vızıltıları gibi desenleri veya kovan içindeki arı aktivitesindeki veya stres seviyelerindeki değişiklikleri gösterebilecek olağandışı gürültü desenleri gibi örüntüleri ortaya çıkarabilir. Bu içgörüler, arı kolonisini anlamak ve sağlığını değerlendirmek için değerlidir. Çevresel faktörlerin zaman serisi analizini akustik verilerle bütünleştirerek, kovanın durumu ve arıların çevresel değişikliklere verdiği tepkiler hakkında daha kapsamlı bir anlayış elde edilebilir. Bu yaklaşım, sürdürülebilir arıcılık ve ekolojik izlemede paha biçilmezdir.

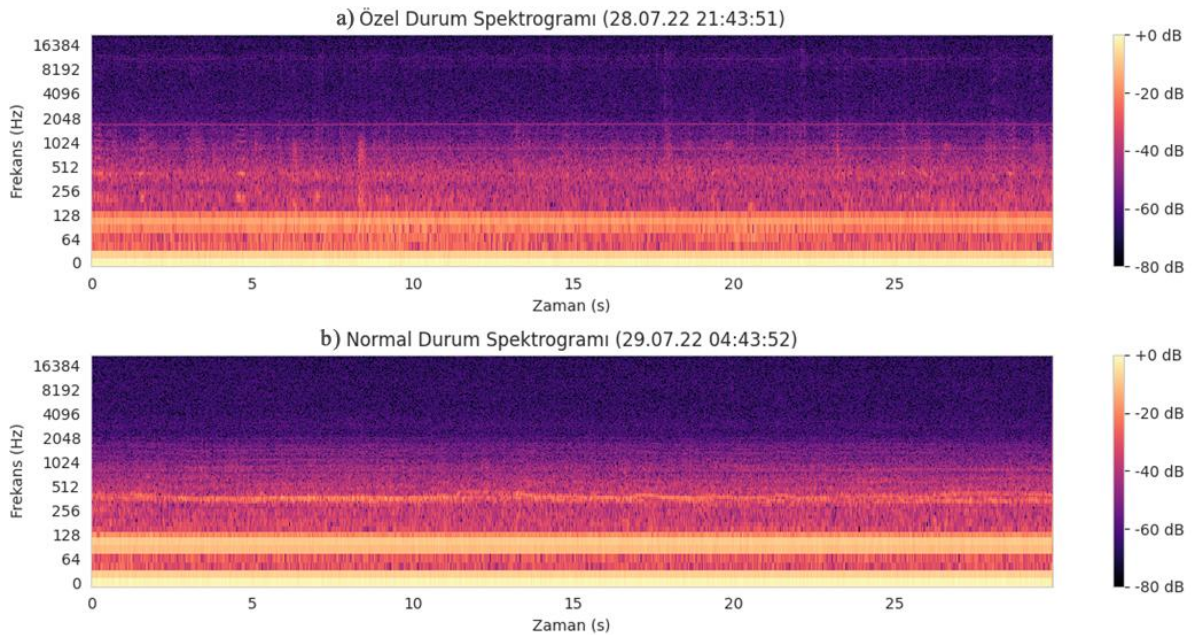
Üstteki Grafik- Özel Durum (28.07.22 21:43:51): Bu ses dosyası, daha yüksek genlikli ve daha karmaşık desenler içeren dalga formlarını göstermektedir. Dalga formunda bu tür özellikler, bu dönemde daha yoğun veya çeşitli ses olaylarının meydana geldiğini gösterebilir. Bu ses olayları, artan arı aktivitesi, kovandaki potansiyel stres faktörleri veya arıları etkileyen diğer önemli çevresel değişikliklerle ilgili olabilir.



Şekil 7. İki Ses Dosyası için Ses Dalga Formlarının Görselleştirilmesi a) Özel Durum b) Normal Durum
Alt Grafik- Normal Durum (29.07.22 04:43:52): Bu zaman damgasından gelen ses dosyası, daha düşük genlikli ve daha düzenli desenler gösteren dalga formlarını içermektedir. Bu daha tutarlı ve daha az yoğun ses deseni, genellikle normal kovan koşullarında düzenli arı aktivitesini temsil etmektedir. Bu iki dalga formu arasındaki karşılaştırma, kritik içgörüler sağlamaktadır. Genlik ve karmaşıklıkta bu kontrast, iki zaman damgası arasındaki arı davranışı ve kovan koşulları arasındaki farkları yansıtabilir. Bu varyasyonları anlamak, kovanın çevresindeki değişiklikleri yorumlamak için esastır ve potansiyel sorunları belirlemede veya kovanın sağlık ve istikrarını doğrulamada önemli bir araç olabilir.

Spektrogramların Görselleştirilmesi

Spektrogramlar, ses sinyallerinin zaman içinde frekans bileşenlerini görselleştirmek için etkili bir araçtır.



Şekil 8. İki Ses Dosyasının Spektrogramları a) Özel Durum b) Normal Durum

İki ses dosyasının spektrogramları, farklı kovan koşulları için frekans bileşenlerinin ve zaman içindeki değişikliklerinin görsel bir temsilini sağlamaktadır.

Üst Grafik - Özel Durum (28.07.28 21:43:51): Bu spektrogramda, zamanla değişen farklı frekanslarda güçlü bileşenler görebiliriz. Bu, özel bir zaman damgasında kovandaki olağandışı aktiviteleri veya rahatsızlıkları belirtebilecek karmaşık ve değişken bir ses profili olduğunu göstermektedir.

Alt Grafik - Normal Durum (29.07.22 04:43:52): Bu spektrogram daha basit olup, az sayıda güçlü frekans bileşeni içermektedir. Böyle bir desen, kovandaki daha istikrarlı ve tipik bir ses ortamını göstermektedir, bu da normal arı aktivitesi ve davranışını yansıtmaktadır. Bu spektrogramlar, farklı koşullar altında kovanın akustik ortamı hakkında bilgiler sağlamaktadır. Özel durumdaki karmaşık desenler, potansiyel stres faktörlerine veya çevresel değişikliklere kovanın tepkisini önerirken, normal durumdaki daha basit desenler, sakin ve istikrarlı bir kovana göstermektedir. Bu tür bir analiz, arıcılar ve araştırmacılar için arı kolonilerinin sağlığını ve aktivitesini izleme paha biçilmezdir.

TARTIŞMA

Bu çalışma, çevresel ve akustik verilerin bütünleştirilmesi yoluyla kovanların sağlık ve davranışlarının çok yönlü bir analizini sunarak, aykırı değer analizi ile tanımlanan normal ve özel koşullar arasındaki farklılıkları vurgulamaktadır. Bu veri türlerinin entegrasyonu, arı sağlığı ve davranışını anlamak için çok yönlü bir perspektif sunar, bu da sürdürülebilir arıcılık uygulamaları için kritik öneme sahiptir.

Özel koşullardaki ses kayıtları (zaman damgası: 28.07.22 21:43:51), normal koşullara kıyasla (zaman damgası: 29.07.22 04:43:52) daha yüksek genlik ve daha karmaşık dalga formları göstermiştir. Bu yüksek genlik ve karmaşık desenler, kovan içinde stres veya olağandışı aktiviteyi belirtebilecek yoğun veya çeşitli ses olaylarına işaret eder. Bu tür akustik sinyaller, artan arı aktivitesi, çevresel stres faktörleri veya kovana etkileyen rahatsızlıklarla ilişkili olabilir. Önceki araştırmalar, akustik verilerin arı aktivitesi ve sağlığını izlemek için kullanılabilirliğini desteklemektedir. Arıların aktivite ve stres durumlarına bağlı olarak değişen ses frekansları, kovanın genel sağlığını değerlendirmek için kullanılmaktadır (Ferrari vd., 2008; Terenzi vd., 2020). Bulgularımız, ses analizinin, kovan içi değişiklikleri belirlemede etkili olduğunu ortaya koymaktadır. Ses kayıtlarının spektrogramları, özel ve normal koşullar arasındaki farkları daha da netleştirmektedir. Özel koşuldan alınan spektrogram, zamanla değişen çeşitli frekanslarda güçlü bileşenler ile dinamik ve karmaşık ses desenleri göstermiştir. Bu karmaşıklık, kovana etkileyen olağandışı aktiviteleri veya çevresel değişiklikleri işaret etmektedir. Buna karşılık, normal koşuldan alınan spektrogram daha basit desenler ve daha az güçlü frekans bileşenleri göstererek stabilite ve düzenli arı aktivitesini ima etmektedir.

Spektrogramlardaki bu zıtlık, kovanın değişen çevresel koşullara tepkisini vurgulamaktadır. Araştırmalar, arıların akustik imzalarının çevresel stres faktörlerine ve iç kovan dinamiklerine tepki olarak değiştiğini göstermiştir (Gorgeva vd., 2023; Sharif vd., 2023). Bu nedenle, bu çalışmadaki spektrogram analizi, akustik izlemenin kovan sağlığını değerlendirmek için etkili bir araç olduğunu pekiştirmektedir. Dörtte Birler Aralığı (IQR) yöntemi kullanılarak yapılan aykırı değer analizi, CO₂ eq (ppm) ve TVOC (ppb) değerlerinde önemli sapmalar gösteren belirli zaman damgalarını tanımlamıştır. Örneğin, "28.07.22 21:43:51" zaman damgası, kovan içindeki olağandışı çevresel koşulları gösteren yüksek CO₂ ve TVOC seviyelerini göstermiştir. Bu aykırı değerler, sensör hatalarından, veri kaydı sırasında meydana gelen anormalliklerden veya kovana etkileyen gerçek atipik koşullardan kaynaklanabilir.

CO₂ ve TVOC seviyelerini izlemek, kovan sağlığını değerlendirmek için kritik öneme sahiptir, çünkü bu parametreler kovan içindeki metabolik aktivite ve hava kalitesinin göstergeleridir (Rigakis vd., 2023; Szczurek vd., 2023). Yüksek seviyeler, havalandırma sorunlarını veya stres nedeniyle artan metabolik aktiviteyi gösterebilir. Dolayısıyla, aykırı değerlerin tanımlanması ve analizi, potansiyel sorunların erken tespiti ve zamanında müdahale için esastır. Çevresel ve akustik sensör verilerinin entegrasyonu, kovan koşullarının bütüncül bir görünümünü sağlamaktadır. Bu veri türlerinin birleştirilmesi, arıcıların kovanın durumu hakkında kapsamlı içgörüler elde etmelerine olanak tanımaktadır ve proaktif izleme ve yönetimi mümkün kılmaktadır. Bu çalışma, bu tür entegre bir yaklaşımın olağandışı koşulları etkili bir şekilde tespit edebileceğini göstererek, arı kolonilerinin sağlığı ve sürdürülebilirliği için katkıda bulunur. Bulgularımız, CO₂ ve TVOC seviyelerindeki artışların arı kolonilerindeki stres seviyelerini artırdığına işaret etmektedir. Literatürle karşılaştırıldığında, bu artışların kolonilerin sağlık durumunu etkilediği birçok çalışmada benzer şekilde rapor edilmiştir. Örneğin, Amsalem ve Grozinger'in 2017 yılında yaptıkları çalışmada, CO₂ seviyelerinin artmasının bireysel arı davranışlarını etkilediğini ve kolonide stres belirtilerini tetiklediğini göstermiştir (Amsalem & Grozinger, 2017). Benzer şekilde, Bahreini ve Currie 2015 yılında, sınırlı havalandırma koşullarında artan CO₂ seviyelerinin varroa akarlarının kontrolüne katkı sağlarken arıların genel sağlığı üzerinde

olumsuz etkilere neden olabileceğini belirtmiştir (Bahreini & Currie, 2015). Meikle ve arkadaşları 2021 yılında ise pestisitlerle ilişkili olarak artan CO₂ seviyelerinin kovan içindeki metabolik aktiviteyi değiştirdiğini ve kolonilerin uzun vadeli performansını olumsuz etkilediğini bulmuşlardır (William G Meikle vd., 2021). Bu çalışmalar, mevcut bulgularımızı destekler niteliktedir ve CO₂ ve TVOC seviyelerindeki artışların arı kolonilerindeki çevresel stres faktörleri ile doğrudan ilişkili olduğunu doğrulamaktadır.

Bu çalışma, arı kovana izleme için entegre ve etkili analiz metodolojilerinin geliştirilmesine katkıda bulunmaktadır. Bulgular, çevresel parametrelerin akustik verilerle birleştirilmesinin, kovan koşullarındaki değişiklikleri tespit etme ve yorumlama yeteneğini artırdığını önermektedir. Gelecekteki araştırmalar, bu metodolojilerin rafine edilmesine ve kovan izleme sistemlerini daha da geliştirmek için ek sensör teknolojilerinin keşfedilmesine odaklanmalıdır.

İleri veri analizi teknikleri ve sensör teknolojilerinin kullanılmasıyla, arıcılık uygulamaları daha verimli ve sürdürülebilir hale gelebilir. Bu çalışma, kovan izleme konusundaki yeniliklerin temellerini atarak, arı popülasyonlarının korunması ve verimliliğinin artırılmasını desteklemektedir.

KAYNAKLAR

- Abou-Shaara, H. F., Owayss, A. A., Ibrahim, Y. Y., & Basuny, N. K. (2017). A review of impacts of temperature and relative humidity on various activities of honey bees. *Insectes Sociaux*, 64(4), 455–463. <https://doi.org/10.1007/s00040-017-0573-8>
- Amsalem, E., & Grozinger, C. M. (2017). Evaluating the molecular, physiological and behavioral impacts of CO₂ narcosis in bumble bees (*Bombus impatiens*). *Journal of Insect Physiology*, 101, 57–65. <https://doi.org/10.1016/j.jinsphys.2017.06.014>
- Anwar, O., Keating, A., Cardell-Oliver, R., Datta, A., & Putrino, G. (2022). Design and development of low-power, long-range data acquisition system for beehives - BeeDAS. *Computers and Electronics in Agriculture*, 201, 107281. <https://doi.org/10.1016/j.compag.2022.107281>
- Ayton, S., Tomlinson, S., Phillips, R. D., Dixon, K. W., & Withers, P. C. (2016). Phenophysiological variation of a bee that regulates hive humidity, but not hive temperature. *Journal of Experimental Biology*, 219(10), 1552–1562. <https://doi.org/10.1242/jeb.137588>
- Bahreini, R., & Currie, R. W. (2015). The Potential of Bee-Generated Carbon Dioxide for Control of Varroa Mite (Mesostigmata: Varroidae) in Indoor Overwintering Honey bee (Hymenoptera: Apidae) Colonies. *Journal of Economic Entomology*, 108(5), 2153–2167. <https://doi.org/10.1093/jee/tov202>
- Bencsik, M., McVeigh, A., Tsakonas, C., Kumar, T., Chamberlain, L., & Newton, M. (2023). A Monitoring System for Carbon Dioxide in Honeybee Hives: An Indicator of Colony Health. *Sensors (Basel, Switzerland)*, 23. <https://doi.org/10.3390/s23073588>
- Braga, A. R., Gomes, D. G., Rogers, R., Hassler, E. E., Freitas, B. M., & Cazier, J. A. (2020). A method for mining combined data from in-hive sensors, weather and apiary inspections to forecast the health status of honey bee colonies. *Computers and Electronics in Agriculture*, 169, 105161.
- Bretzlaff, T., Kerr, J. T., & Darveau, C. A. (2023). High temperature sensitivity of bumblebee castes and the colony-level costs of thermoregulation in *Bombus impatiens*. *Journal of Thermal Biology*, 117, 103710. <https://doi.org/10.1016/j.jtherbio.2023.103710>
- Bromenshenk, J. J., Henderson, C. B., Seccomb, R. A., Welch, P. M., Debnam, S. E., & Firth, D. R. (2015). Bees as biosensors: Chemosensory ability, honey bee monitoring systems, and emergent sensor technologies derived from the pollinator syndrome. İçinde *Biosensors* (C. 5, Sayı 4, ss. 678–711). MDPI. <https://doi.org/10.3390/bios5040678>
- Cane, J. H., & Love, B. G. (2021). Hygroscopic larval provisions of bees absorb soil water vapor and release liquefied nutrients. *Apidologie*, 52(6), 1002–1016. <https://doi.org/10.1007/s13592-021-00883-5>
- Cecchi, S., Spinsante, S., Terenzi, A., & Orcioni, S. (2020). A Smart Sensor-Based Measurement System for Advanced Bee Hive Monitoring. *Sensors 2020, Vol. 20, Page 2726, 20(9)*, 2726. <https://doi.org/10.3390/S20092726>
- Doublet, V., Labarussias, M., de Miranda, J. R., Moritz, R. F. A., & Paxton, R. J. (2015). Bees under stress: Sublethal doses of a neonicotinoid pesticide and pathogens interact to elevate honey bee mortality across the life cycle. *Environmental Microbiology*, 17(4), 969–983. <https://doi.org/10.1111/1462-2920.12426>
- Durgun, Y. (2021). Nesnelerin İnterneti Teknolojisinin Kümes Ortamına Uygulanması ve Etkileri. *European Journal of Science and Technology*. <https://doi.org/10.31590/ejosat.1005685>

- Ferrari, S., Silva, M., Guarino, M., & Berckmans, D. (2008). Monitoring of swarming sounds in bee hives for early detection of the swarming period. *Computers and Electronics in Agriculture*, 64(1), 72–77. <https://doi.org/10.1016/j.compag.2008.05.010>
- Genç, M., & Genç, F. (2019). Stress Factors on Honey Bees (*Apis mellifera* L.) and The Components of Their Defense System Against Diseases, Parasites, and Pests. *Mellifera*, 19(1), 7–20.
- Gil-Lebrero, S., Quiles-Latorre, F. J., Ortiz-López, M., Sánchez-Ruiz, V., Gámiz-López, V., & Luna-Rodríguez, J. J. (2016). Honey Bee Colonies Remote Monitoring System. *Sensors* 2017, Vol. 17, Page 55, 17(1), 55. <https://doi.org/10.3390/S17010055>
- Gorgeva, E., Robertson, J., Voss, S., & Hoogewerff, J. (2023). The potential of bioacoustics for surveying carrion insects. İçinde *Australian Journal of Forensic Sciences* (ss. 1–20). Taylor & Francis. <https://doi.org/10.1080/00450618.2023.2295447>
- Goulson, D., Nicholls, E., Botías, C., & Rotheray, E. L. (2015). Bee declines driven by combined Stress from parasites, pesticides, and lack of flowers. İçinde *Science* (C. 347, Sayı 6229, s. 1255957). American Association for the Advancement of Science. <https://doi.org/10.1126/science.1255957>
- Kauffeld, N. M. (1967). Seasonal colony activity and individual bee development. *Beekeeping in the United States*, 335, 5.
- Kearns, C. A., & Inouye, D. W. (1997). Pollinators, Flowering Plants, and Conservation Biology. *BioScience*, 47(5), 297–307. <https://doi.org/10.2307/1313191>
- Lin, Z., Zheng, M., Li, Z., & Ji, T. (2023). Editorial: Biotic and abiotic stresses on honeybee physiology and colony health. *Frontiers in Physiology*, 14. <https://doi.org/10.3389/fphys.2023.1260547>
- Maxwell, J. T., & Knapp, P. A. (2012). Reconstructed tupelo-honey yield in northwest Florida inferred from Nyssa Ogeche tree-ring data: 1850-2009. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 149, 100–108. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2011.11.004>
- Meikle, W. G., & Holst, N. (2015). Application of continuous monitoring of honeybee colonies. *Apidologie*, 46(1), 10–22. <https://doi.org/10.1007/S13592-014-0298-X/TABLES/1>
- Meikle, William G, Adamczyk, J. J., Weiss, M., Ross, J., Werle, C., & Beren, E. (2021). Sublethal concentrations of clothianidin affect honey bee colony growth and hive CO2 concentration. *Scientific Reports*, 11(1), 4364. <https://doi.org/10.1038/s41598-021-83958-8>
- Mirzaei, S. (2024). *Smart Beehive System for Measuring Honey Level and Controlling Temperature*.
- Mitchell, D. (2019). Nectar, humidity, honey bees (*Apis mellifera*) and varroa in summer: A theoretical thermofluid analysis of the fate of water vapour from honey ripening and its implications on the control of Varroa destructor. *Journal of the Royal Society Interface*, 16(156), 20190048. <https://doi.org/10.1098/rsif.2019.0048>
- Mobaraki, B., Komarizadehasl, S., Castilla Pascual, F. J., & Lozano-Galant, J. A. (2022). Application of Low-Cost Sensors for Accurate Ambient Temperature Monitoring. *Buildings*, 12(9), 1411. <https://doi.org/10.3390/buildings12091411>
- Murray, T. E., Kuhlmann, M., & Potts, S. G. (2009). Conservation ecology of bees: Populations, species and communities. İçinde *Apidologie* (C. 40, Sayı 3, ss. 211–236). EDP Sciences. <https://doi.org/10.1051/apido/2009015>
- Ozger, Z. B., Cihan, P., & Gokce, E. (2024). A Systematic Review of IoT Technology and Applications in Animals. *Kafkas Universitesi Veteriner Fakültesi Dergisi*, 411. <https://doi.org/10.9775/kvfd.2024.31866>
- Papa, G., Maier, R., Durazzo, A., Lucarini, M., Karabagias, I. K., Plutino, M., Bianchetto, E., Aromolo, R., Pignatti, G., Ambrogio, A., Pellicchia, M., & Negri, I. (2022). file:///C:/Users/togu/Downloads/scholar (26).ris. *Biology*, 11(2), 233. <https://doi.org/10.3390/biology11020233>
- Qandour, A., Ahmad, I., Habibi, D., & Leppard, M. (2014). Remote beehive monitoring using acoustic signals. *Acoustics Australia*, 42(3), 204–209.
- Rafael Braga, A., G. Gomes, D., Rogers, R., E. Hassler, E., M. Freitas, B., & A. Cazier, J. (2020). A method for mining combined data from in-hive sensors, weather and apiary inspections to forecast the health status of honey bee colonies. *Computers and Electronics in Agriculture*, 169(7), 105161.

<https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.compag.2019.105161>

Ratnadass, A., Fernandes, P., Avelino, J., & Habib, R. (2012). Plant species diversity for sustainable management of crop pests and diseases in agroecosystems: A review. İçinde *Agronomy for Sustainable Development* (C. 32, Sayı 1, ss. 273–303). Springer. <https://doi.org/10.1007/s13593-011-0022-4>

Rigakis, I., Potamitis, I., Tatlas, N. A., Psirofonias, G., Tzagaraki, E., & Alissandrakis, E. (2023). A Low-Cost, Low-Power, Multisensory Device and Multivariable Time Series Prediction for Beehive Health Monitoring. *Sensors*, 23(3), 1407. <https://doi.org/10.3390/s23031407>

Ruvinga, S., Hunter, G. J. A., Duran, O., & Nebel, J. C. (2021). Use of LSTM Networks to Identify “Queenlessness” in Honeybee Hives from Audio Signals. *2021 17th International Conference on Intelligent Environments, IE 2021 - Proceedings*, 1–4. <https://doi.org/10.1109/IE51775.2021.9486575>

Schöning, C., Gisder, S., Geiselhardt, S., Kretschmann, I., Bienefeld, K., Hilker, M., & Genersch, E. (2012). Evidence for damage-dependent hygienic behaviour towards *Varroa destructor*-parasitised brood in the western honey bee, *Apis mellifera*. *Journal of Experimental Biology*, 215(2), 264–271. <https://doi.org/10.1242/jeb.062562>

Sharif, M. Z., Di, N., & Yu, B. (2023). Honeybee (*Apis* spp.) (Hymenoptera: Apidae) Colony Monitoring Using Acoustic Signals from the Beehive: An Assessment by Global Experts and Our Feedback. *Agriculture (Switzerland)*, 13(4), 769. <https://doi.org/10.3390/agriculture13040769>

Szczurek, A., Maciejewska, M., & Batog, P. (2023). Monitoring System Enhancing the Potential of Urban Beekeeping. *Applied Sciences (Switzerland)*, 13(1), 597. <https://doi.org/10.3390/app13010597>

Tang, J., Ji, C., Shi, W., Su, S., Xue, Y., Xu, J., Chen, X., Zhao, Y., & Chen, C. (2023). Survey Results of Honey Bee Colony Losses in Winter in China (2009–2021). *Insects*, 14(6), 554. <https://doi.org/10.3390/insects14060554>

Terenzi, A., Cecchi, S., & Spinsante, S. (2020). On the importance of the sound emitted by honey bee hives. *Veterinary Sciences*, 7(4), 1–14. <https://doi.org/10.3390/vetsci7040168>

Thapa, R. (2006). Honeybees and other Insect Pollinators of Cultivated Plants: A Review. *Journal of the Institute of Agriculture and Animal Science*, 27, 1–23. <https://doi.org/10.3126/jiaas.v27i0.691>

Tien, J. M. (2017). Internet of Things, Real-Time Decision Making, and Artificial Intelligence. *Annals of Data Science*, 4(2), 149–178. <https://doi.org/10.1007/s40745-017-0112-5>

vanEngelsdorp, D., Evans, J. D., Saegerman, C., Mullin, C., Haubruge, E., Nguyen, B. K., Frazier, M., Frazier, J., Cox-Foster, D., Chen, Y., Underwood, R., Tarpy, D. R., & Pettis, J. S. (2009). Colony collapse disorder: A descriptive study. *PLoS ONE*, 4(8), e6481. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0006481>

VanEngelsdorp, D., Traynor, K. S., Andree, M., Lichtenberg, E. M., Chen, Y., Saegerman, C., & Cox-Foster, D. L. (2017). Colony Collapse Disorder (CCD) and bee age impact honey bee pathophysiology. *PLoS ONE*, 12(7), e0179535. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0179535>

Wardhany, V. A., Hidayat, A., Subono, & Jhoswanda, M. (2020). Temperature and Humidity Control of Smart Cage Bee Honey Based on Internet of Things. *2020 3rd International Conference on Computer and Informatics Engineering, IC2IE 2020*, 467–472. <https://doi.org/10.1109/IC2IE50715.2020.9274620>

Zaman, A., & Dorin, A. (2023). A framework for better sensor-based beehive health monitoring. İçinde *Computers and Electronics in Agriculture* (C. 210, s. 107906). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/j.compag.2023.107906>